



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Carrera de Ingeniería en alimentos

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de

INGENIERO EN ALIMENTOS

TEMA:

Desarrollo de un cake de banano (*Musa × paradisiaca*) y avena (*Avena sativa*), enriquecido con proteína y libre de azúcares añadidos

AUTOR:

García Cedeño Jeremy Xavier

TUTOR:

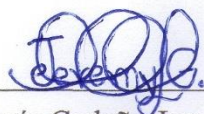
Ing. Mendoza González Aldo Eduardo Mg.

Manta – Manabí – Ecuador

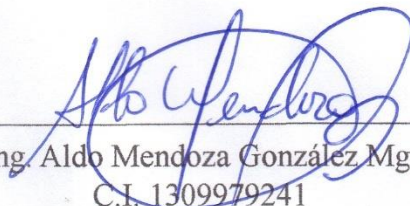
2025 – 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

García Cedeño Jeremy Xavier, estudiante de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Alimentos, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **“Desarrollo de un cake de banano (*Musa × paradisiaca*) y avena (*Avena sativa*), enriquecido con proteína y libre de azúcares añadidos.”** Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Aldo Mendoza González Mg. y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



García Cedeño Jeremy Xavier
C.I. 1315246742



Ing. Aldo Mendoza González Mg.
C.I. 1309979241

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

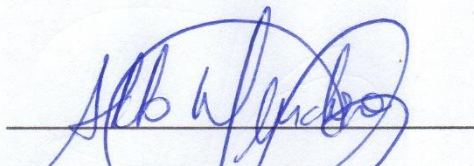
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante García Cedeño Jeremy Xavier, legalmente matriculado en la carrera de Alimentos, período académico 2026-2027, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es "Desarrollo de un cake de banano (*Musa × paradisiaca*) y avena (*Avena sativa*), enriquecido con proteína y libre de azúcares añadidos".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 11 de agosto del 2026.

Lo certifico,



Ing. Aldo Mendoza González Mg.
Docente Tutor
Área: Ingeniería
Agroindustrial

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Fátima Cedeño, por ser mi principal apoyo en todo mi camino universitario, dándome ánimos y ayudándome en todo lo que estuvo a su alcance.

A mi padre, Mario García, por estar siempre dispuesto a ayudarme cuando lo necesité, por transmitirme su vocación por la panadería y ayudarme a sobrellevar mejor esta tesis.

A mi pareja, familia y amigos, por ayudarme a seguir adelante en varios momentos, cuando tal vez ustedes mismos no sabían todo el gran bien que me estaban haciendo.

A la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, por facilitarme las instalaciones del laboratorio de análisis para poder llevar a cabo y obtener mis resultados.

Por último, a los docentes que me impartieron conocimientos valiosos a lo largo de mi formación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por darme la fortaleza, la guía y la sabiduría para llegar hasta este momento y culminar mi carrera.

A mi madre y a mi padre, con la gran esperanza de que se sientan muy orgullosos.

A mi pareja, por ser una parte tan importante de mi vida.

Y a mi familia y amigos, que también fueron parte fundamental para poder alcanzar este logro.

ÍNDICE

1. Antecedentes	
1.1. Marco teórico.....	2
1.1.1. Cakes en la industria alimentaria	2
1.1.2. Banano.....	3
1.1.3. Avena.....	3
1.1.4. Alimentos funcionales.....	4
1.1.5. Azúcares y sustitutos naturales	4
1.1.6. Fibra dietética	5
1.1.7. Proteínas funcionales	5
1.1.8. Harinas alternativas.....	6
1.1.9. Reacciones fisicoquímicas durante el horneado	7
1.1.10. Relación entre alimentación saludable y bienestar	7
2. Planteamiento del problema	8
2.1. Justificación.....	8
3. Pregunta de investigación	9
4. Hipótesis	9
5. Objetivos	9
5.1. Objetivo general.....	9
5.2. Objetivos específicos	9
6. Metodología.....	10
6.1. Métodos de investigación.....	10
6.2. Análisis.....	10
6.2.1. pH.....	10
6.2.2. Humedad.....	11
6.2.3. Cenizas	11
6.2.4. Grasa	11

6.2.5.	Proteína.....	12
6.2.6.	Fibra	12
6.2.7.	Carbohidratos.....	12
6.2.8.	Actividad de agua	13
6.2.9.	Color.....	13
6.2.10.	Textura.....	13
6.3.	Materiales	14
6.3.1.	Materias primas.....	14
6.3.2.	Reactivos y materiales complementarios	14
6.4.	Equipos.....	14
6.5.	Ubicación.....	15
6.6.	Prueba hedónica.....	15
6.7.	Análisis estadístico.....	17
6.8.	Diseño experimental	17
7.	Resultados	19
8.	Discusiones	38
9.	Conclusiones	44
10.	Recomendaciones	45
11.	Referencias bibliográficas	48
	Bibliografía	48
	Anexos	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de prueba hedónica	16
Tabla 2: Tabla de tratamientos	18
Tabla 3: Tabla de fuentes de varianza.....	18
Tabla 4: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para el pH	20
Tabla 5: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la humedad	21
Tabla 6: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para las cenizas	21
Tabla 7: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la grasa	22
Tabla 8: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la proteína	23
Tabla 9: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la fibra.....	24
Tabla 10: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para los carbohidratos.....	25
Tabla 11: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la actividad de agua.....	26
Tabla 12: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la luminosidad (L^*).....	27
Tabla 13: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (a^*)	28
Tabla 14: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (b^*)	29
Tabla 15: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la textura.....	30
Tabla 16: Comparación de medias de los catadores para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida	30
Tabla 17: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida	32

Tabla 18: Comparación de medias de los catadores para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida	32
Tabla 19: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida	34
Tabla 20: Comparación de medias de los catadores para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida	34
Tabla 21: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida	36
Tabla 22: Comparación de medias de los catadores para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida	36
Tabla 23: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	38

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Fotografía de la ubicación.....	15
Ilustración 2: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para el pH.....	20
Ilustración 3: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la humedad	21
Ilustración 4: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para las cenizas.....	22
Ilustración 5: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la grasa	23
Ilustración 6: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la proteína.....	24
Ilustración 7: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la fibra	25
Ilustración 8: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para los carbohidratos.....	26
Ilustración 9: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la actividad de agua.....	27
Ilustración 10: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la luminosidad (L^*).....	28
Ilustración 11: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (a^*)	29
Ilustración 12: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (b^*)	29
Ilustración 13: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la textura.....	30
Ilustración 14: Comparación de medias de los catadores para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	31
Ilustración 15: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	32
Ilustración 16: Comparación de medias de los catadores para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	33

Ilustración 17: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	34
Ilustración 18: Comparación de medias de los catadores para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	35
Ilustración 19: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	36
Ilustración 20: Comparación de medias de los catadores para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	37
Ilustración 21: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida.....	38

1. Antecedentes

Los hábitos de consumo han cambiado radicalmente frente a la creciente preocupación de las personas por su salud y alimentación. Hoy en día, enfermedades no transmisibles como la obesidad, la diabetes tipo 2 y distintos problemas cardiovasculares representan un verdadero desafío para la salud pública a nivel global. Como señala la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), existe una relación directa entre el abuso de azúcares y grasas en los alimentos procesados y el aumento de estas condiciones. Esto ha llevado a que los consumidores busquen opciones mucho más naturales y nutritivas para su día a día.

Ante este panorama, la industria alimentaria se ha enfocado en la reformulación de productos tradicionales. El reto consiste en mejorar el perfil nutricional reduciendo componentes críticos, sin sacrificar las características sensoriales que los hacen atractivos al consumidor. En particular, los postres, históricamente asociados a un alto contenido de azúcar y grasa, han sido objeto de numerosas investigaciones para desarrollar versiones más saludables que mantengan su palatabilidad (Jiménez & González, Tendencias de reformulación en repostería saludable, 2022).

Dentro de la dieta diaria, los productos horneados como pasteles y galletas ocupan un lugar destacado por su versatilidad y aceptación. Sin embargo, su elaboración convencional implica un alto aporte de harinas refinadas y azúcares, cuyo consumo excesivo es perjudicial. Por esta razón, se ha intensificado el estudio de ingredientes funcionales que optimicen el valor nutricional de estos productos, tales como la fibra dietética, las proteínas vegetales y los edulcorantes naturales no calóricos (López, 2024).

La fibra dietética es fundamental para la prevención de enfermedades metabólicas y el correcto funcionamiento del sistema digestivo. Diversos estudios señalan su capacidad para reducir el impacto glucémico y favorecer la saciedad, ayudando así al control del peso corporal (Martínez & Ochoa, 2023). En la panificación, la fibra no solo aporta beneficios fisiológicos, sino que también cumple funciones tecnológicas: modifica la reología de la masa, retiene la humedad y mejora la textura durante el horneado y almacenamiento.

Asimismo, el enriquecimiento con proteínas ha ganado popularidad. La adición de proteínas (ya sea de origen animal o vegetal) no solo incrementa el valor nutricional, sino que aporta propiedades funcionales importantes, como la capacidad de retención de agua, la emulsificación y la elasticidad de la masa.

En cuanto a la sustitución del azúcar, la tendencia se inclina hacia el uso de edulcorantes naturales como la stevia, el eritritol o el fruto del monje. Estos ingredientes

permiten reducir la carga calórica manteniendo el dulzor y, según investigaciones recientes, preservan adecuadamente la textura y el color de los productos horneados (Vallejo y otros, 2023). La combinación de estos ingredientes, sumada a una formulación adecuada, permite crear productos más ligeros y accesibles.

El desarrollo de un pastel funcional, bajo en calorías y enriquecido con fibra y proteínas, se alinea con la tendencia global de "alimentación consciente". Este tipo de propuesta busca no solo nutrir, sino también permitir el disfrute de la repostería sin comprometer la salud. En Ecuador, aunque la inclusión de ingredientes saludables en la panificación es una tendencia creciente, aún existen pocos estudios enfocados en el desarrollo de pasteles que utilicen insumos locales o de fácil acceso con este perfil nutricional. Por consiguiente, esta investigación tiene como objetivo impulsar la innovación alimentaria en el país, creando y validando un producto que satisfaga las demandas actuales de sabor y bienestar.

1.1. Marco teórico

1.1.1. Cakes en la industria alimentaria

En la industria alimentaria, los pasteles o cakes se definen como productos de panificación obtenidos mediante el horneado de una masa compuesta, en su forma base, por harina, agentes leudantes, grasas, azúcares y huevos. Tecnológicamente, se clasifican como sistemas de emulsiones complejas y espumas, donde la estructura final depende de la formación de una red proteica y la gelatinización del almidón que atrapa el aire incorporado durante el batido (Pérez & Sanz, 2021). Su relevancia comercial radica en su versatilidad y en su alta aceptabilidad sensorial, siendo uno de los segmentos de mayor crecimiento en el sector de alimentos listos para el consumo.

Tradicionalmente, la producción industrial de estos artículos se ha centrado en maximizar la vida útil y las propiedades palatables, empleando a menudo harinas refinadas y altos porcentajes de grasas saturadas y azúcares añadidos. No obstante, las tendencias actuales de consumo han obligado a la industria a redefinir estos estándares. Según (González, 2023), la "nueva pastelería" busca el equilibrio entre la funcionalidad tecnológica (volumen, esponjosidad y suavidad) y la calidad nutricional, integrando ingredientes que reduzcan la densidad calórica sin comprometer la estabilidad del producto.

En este contexto, la industria ha adoptado procesos de reformulación que incluyen la sustitución parcial o total de ingredientes críticos. La tendencia hacia el etiquetado limpio ha impulsado el desarrollo de productos donde los aditivos químicos son reemplazados por ingredientes naturales que cumplen funciones técnicas similares, como es el caso de los purés de frutas (como el guineo) que actúan como humectantes naturales, o harinas de cereales integrales (como la avena) que aportan estructura y fibra (Torres & Méndez, 2022).

1.1.2. Banano

El banano es uno de los frutos más utilizados en la reformulación de productos de repostería debido a su composición química rica en carbohidratos, vitaminas y minerales. Desde la perspectiva de la tecnología de alimentos, su maduración es un factor crítico, ya que durante este proceso el almidón se hidroliza en azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), lo que permite que el fruto actúe como un edulcorante intrínseco natural, reduciendo o eliminando la necesidad de azúcares añadidos (Sánchez, 2023).

Además de su aporte sensorial, el banano posee un alto contenido de pectinas y fibra dietética, ingredientes que actúan como hidrocoloides. Estos componentes facilitan la retención de humedad y mejoran la viscosidad de la masa, compensando la ausencia de grasas y contribuyendo a una textura más suave y cohesiva en el producto final (Ramírez & López, 2022). Asimismo, su aporte de potasio y compuestos fenólicos eleva el perfil antioxidante del pastel, posicionándolo como un ingrediente clave en el desarrollo de alimentos funcionales.

1.1.3. Avena

La avena es reconocida en la industria alimentaria como un cereal de alto valor nutricional debido a su contenido de proteínas, lípidos insaturados y, fundamentalmente, por su aporte de fibra soluble en forma de beta glucanos. En el desarrollo de productos horneados, la avena no solo mejora el perfil saludable, sino que actúa como un agente estructurante. Gracias a su capacidad de absorción de agua, ayuda a mantener la hidratación de la masa, proporcionando una textura densa y una miga consistente que compensa la ausencia de gluten en formulaciones alternativas (Castillo, 2023).

Desde el punto de vista metabólico, la inclusión de avena es determinante para reducir el índice glucémico del producto final. Los betaglucanos forman un gel viscoso en el tracto digestivo que ralentiza la absorción de glucosa, lo cual es esencial en la elaboración de cakes diseñados para consumidores que buscan un control de sus niveles de azúcar en sangre

(Paredes F. , 2022). De esta manera, el uso de harina de avena en lugar de harinas refinadas transforma un postre convencional en un vehículo de compuestos bioactivos con beneficios cardiovasculares y digestivos comprobados.

1.1.4. Alimentos funcionales

El concepto de alimentos funcionales surgió en Japón durante la década de 1980, impulsado por iniciativas gubernamentales orientadas a promover el consumo de productos que ofrecieran beneficios fisiológicos más allá de la nutrición básica. Estos alimentos se caracterizan por poseer compuestos bioactivos que contribuyen a optimizar el funcionamiento del organismo o a reducir el riesgo de desarrollar patologías a largo plazo (Torres A. , 2021).

En la actualidad, los alimentos funcionales representan una tendencia consolidada en la industria alimentaria, al integrar valor nutricional, calidad sensorial y beneficios para la salud en un mismo producto. Para su formulación, se emplean ingredientes activos como fibra dietética, proteínas, probióticos, vitaminas y antioxidantes, todos los cuales desempeñan un papel fundamental en la regulación de los procesos metabólicos y fisiológicos (Vallejo y otros, 2023).

1.1.5. Azúcares y sustitutos naturales

El consumo de sacarosa (azúcar común) es actualmente objeto de un intenso debate debido a su implicación en el desarrollo de obesidad, diabetes y otras patologías crónicas. En este contexto, la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2023) recomienda limitar la ingesta de azúcares libres a menos del 10% del aporte calórico total diario. Esta directriz ha impulsado significativamente la búsqueda y adopción de edulcorantes alternativos por parte de los consumidores.

Dentro de la formulación de productos horneados saludables, el uso de edulcorantes naturales como la stevia, el eritritol y el fruto del monje ha cobrado gran relevancia. Estos ingredientes se destacan por ser no calóricos y por no alterar los niveles de glucosa en sangre, constituyendo una alternativa viable para mantener el equilibrio metabólico (Jiménez y otros, 2024).

No obstante, desde una perspectiva tecnológica, la sustitución del azúcar presenta desafíos complejos. La sacarosa no solo aporta dulzor, sino que cumple funciones estructurales críticas: proporciona volumen, contribuye al color (pardeamiento) y retiene la

humedad. Por consiguiente, para replicar la esponjosidad y las características sensoriales de un pastel convencional, las formulaciones actuales combinan estos edulcorantes con agentes de carga y humectantes, tales como la povidona o la glicerina vegetal (Paredes & Gómez, 2022).

1.1.6. Fibra dietética

La fibra dietética es un componente vegetal resistente a la digestión enzimática que desempeña funciones metabólicas esenciales. Esta se clasifica principalmente en dos categorías: fibra soluble (como pectinas, inulina y betaglucanos) y fibra insoluble (como celulosa y lignina). La ingesta adecuada de estos compuestos favorece el tránsito intestinal, contribuye a la reducción de los niveles de colesterol sérico y mejora el control de la respuesta glucémica (Rojas & Martínez, 2023).

En el ámbito de la tecnología de alimentos, la fibra optimiza las propiedades de los productos horneados mediante tres mecanismos: la retención de humedad, la estabilidad térmica durante el horneado y la mejora de las propiedades organolépticas, particularmente la textura. La incorporación de fibra en la repostería funcional no solo incrementa la sensación de saciedad, sino que también permite reducir la densidad calórica de los productos. Investigaciones previas demuestran que la sustitución de harinas refinadas por alternativas como harina integral, avena o salvado puede incrementar el contenido de fibra hasta en un 25%, manteniendo una aceptabilidad sensorial óptima (Quintana y otros, 2022).

Entre las fuentes más empleadas actualmente destacan la inulina de achicoria, la fibra de bambú, la harina de cáscara de banano verde y el psyllium husk. Estos ingredientes, además de aportar beneficios digestivos, actúan como agentes estructurales que preservan la suavidad y esponjosidad de las masas (García y otros, 2023).

1.1.7. Proteínas funcionales

Las proteínas funcionales desempeñan un papel que trasciende el aporte energético y nutricional, ya que influyen directamente en las propiedades organolépticas y el comportamiento fisicoquímico de los alimentos. En la elaboración de productos horneados, estas macromoléculas son fundamentales para desarrollar estructuras con capacidad de extensibilidad y recuperación elástica, así como para la retención de humedad y la emulsificación de grasas. Estas facultades tecnofuncionales son determinantes para asegurar

la calidad final de las masas y su estabilidad durante el proceso de cocción (Morales & Ortega, 2021).

En el ámbito de la repostería saludable, se emplean tanto proteínas de origen animal (suero lácteo, albúmina de huevo) como de origen vegetal (soja, guisante, avena y lenteja). Actualmente, las fuentes vegetales han cobrado mayor relevancia debido a su menor impacto ambiental y su capacidad para complementar el perfil de aminoácidos esenciales en dietas balanceadas.

El enriquecimiento proteico en productos de panificación no solo mejora su valor nutricional, sino que refuerza la red estructural de la masa y reduce la sinéresis (pérdida de agua), evitando que el producto final sea excesivamente seco. Asimismo, la integración sinérgica de proteínas y fibra incrementa el índice de saciedad y optimiza el perfil metabólico del alimento.

1.1.8. Harinas alternativas

Una estrategia eficaz para incrementar el valor nutricional de los productos horneados consiste en la sustitución de harinas convencionales por harinas alternativas. El uso de materias primas derivadas del trigo integral, avena, almendra, banano verde o quinua permite diversificar el aporte de nutrientes y modificar las propiedades funcionales de la masa. A diferencia de las harinas refinadas, estas opciones integrales o alternativas poseen una mayor concentración de fibra dietética, minerales y compuestos antioxidantes (Carrillo y otros, 2023).

Además del impacto nutricional, la incorporación de estas harinas influye significativamente en los atributos sensoriales del producto final, tales como el sabor, la apariencia y la textura. Estas harinas suelen aportar perfiles aromáticos más complejos, coloraciones doradas más intensas y texturas con mayor densidad. Dichas características aumentan el valor percibido del producto, alineándose con las preferencias de los consumidores que buscan alimentos de carácter artesanal o saludable. En última instancia, la selección de los ingredientes dependerá del equilibrio deseado entre las propiedades reológicas, la aceptabilidad sensorial y el perfil nutricional del pastel.

1.1.9. Reacciones fisicoquímicas durante el horneado

El proceso de horneado comprende una serie de transformaciones fisicoquímicas complejas que definen la calidad del producto final, destacando la reacción de Maillard, la gelatinización del almidón y la desnaturalización y coagulación de las proteínas. En formulaciones con contenido reducido de azúcar, la cinética de la reacción de Maillard disminuye significativamente, lo que compromete el desarrollo del color pardo característico y el perfil aromático de los productos horneados (Fernández & Cevallos, 2023).

Para mitigar este efecto, se han propuesto alternativas como la incorporación de miel, melaza o jarabes vegetales de bajo índice glucémico, los cuales aportan azúcares reductores que favorecen la coloración deseada. No obstante, la adición de polímeros como la fibra y las proteínas altera la densidad de la masa y su capacidad de retención de agua (higroscopicidad). Por consiguiente, resulta imperativo ajustar la formulación mediante un diseño experimental riguroso, asegurando que la interacción entre estos ingredientes mantenga la porosidad, la esponjosidad y la estabilidad estructural del pastel (Ortega & Molina, 2022).

1.1.10. Relación entre alimentación saludable y bienestar

Una alimentación equilibrada es fundamental para preservar la salud integral, tanto física como cognitiva. En este sentido, los productos funcionales (especialmente aquellos enriquecidos con proteínas y fibra dietética) contribuyen a estabilizar los niveles de energía postprandial y a optimizar la función digestiva. Investigaciones recientes subrayan que el consumo de alimentos formulados con ingredientes de origen natural favorece la eubiosis de la microbiota intestinal, lo cual es determinante para reducir el riesgo de desarrollar trastornos metabólicos (Santiago y otros, Relación entre alimentación funcional y bienestar metabólico, 2024).

El desarrollo de repostería funcional, como es el caso de pasteles sin azúcares añadidos, ejemplifica la convergencia entre la nutrición, la tecnología de alimentos y la innovación industrial. Este tipo de productos no solo satisface los requerimientos nutricionales del consumidor contemporáneo, sino que también impulsa un cambio cultural hacia la "alimentación consciente". Bajo este enfoque, la salud y el placer sensorial dejan de ser conceptos excluyentes, permitiendo el diseño de alimentos que promueven el bienestar sin sacrificar la aceptabilidad organoléptica.

2. Planteamiento del problema

En la actualidad, gran parte de la población mantiene un consumo elevado de alimentos ultraprocesados, caracterizados por su alto contenido de azúcares, grasas saturadas y harinas refinadas. Como advierte la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), este patrón dietético incide directamente en el aumento de enfermedades no transmisibles.

Dentro de este panorama, los productos de pastelería mantienen una alta demanda gracias a su atractivo sensorial, a pesar de que sus formulaciones tradicionales ofrecen un bajo valor nutricional. Aunque los consumidores buscan cada vez más opciones de repostería con un mejor equilibrio de macronutrientes, existe un reto tecnológico importante: la reducción de azúcares y harinas refinadas suele afectar negativamente la textura, la humedad y el sabor del producto final.

A nivel local, todavía son escasas las alternativas que logren armonizar un perfil nutricional superior (con mayor aporte de fibra y proteína) y una palatabilidad agradable utilizando ingredientes accesibles.

Por consiguiente, el problema central de esta investigación plantea el desarrollo de un cake formulado con edulcorantes naturales, avena y proteína añadida. El propósito es evaluar en qué medida estas sustituciones impactan las propiedades fisicoquímicas del producto, su composición proximal y el nivel de aceptación sensorial por parte del consumidor.

2.1. Justificación

La industria alimentaria actual enfrenta el reto continuo de adaptar sus formulaciones a las nuevas exigencias nutricionales de los consumidores. En este contexto, la presente investigación se justifica desde un enfoque tecnológico y experimental, ya que busca evaluar cómo interactúan ingredientes no convencionales (como la harina de avena, el puré de banano y la proteína aislada de suero) dentro de la matriz alimentaria de un cake libre de azúcares añadidos.

El desarrollo de este producto permitirá documentar el comportamiento reológico, fisicoquímico y sensorial de la masa. Con ello, se generarán datos concretos sobre el impacto que tienen estas sustituciones en parámetros clave como la retención de humedad, el color, la textura y la composición proximal final.

En última instancia, los hallazgos de este estudio aportarán una base de datos técnicos valiosa para el diseño de nuevos productos de panificación a nivel regional. De esta manera, se impulsa la innovación en el campo de la Ingeniería en Alimentos, demostrando que es tecnológicamente viable elaborar repostería que combine una excelente calidad física con un perfil nutricional optimizado.

3. Pregunta de investigación

¿Cómo desarrollar un cake saludable sin azúcares añadidos, con fibra y proteína, que mejore propiedades nutricionales y mantenga características sensoriales agradables para el consumidor?

4. Hipótesis

La preparación de una fórmula de cake sin azúcar, potenciado con fibra y proteínas, demostrará que se pueden mantener características sensoriales agradables y mejorar el aporte nutricional que tendría un cake tradicional, colaborando con una alternativa alimenticia funcional y más nutritiva.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Realizar un cake de banano y avena, enriquecido con proteína y libre de azúcares añadidos, buscando mantener características sensoriales agradables.

5.2. Objetivos específicos

- Formular 4 recetas de cake alternando las cantidades de avena y proteína añadida.
- Evaluar las características sensoriales (sabor, olor, textura y color) de los productos a través de pruebas con un panel de 30 jueces no entrenados.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas del producto, como su acidez (pH), nivel de humedad, actividad de agua, color y textura.
- Analizar las propiedades nutricionales del producto, como cenizas, grasa, proteína, fibra y carbohidratos.

6. Metodología

6.1. Métodos de investigación

Este estudio será de tipo cuantitativo, sensorial y experimental, con el objetivo de crear un alimento sabroso modificando la receta y comprobando cómo se ve, siente y sabe.

El resultado final de la experimentación se dictaminará con un diseño experimental, el cual será completamente aleatorio (DCA), utilizando un método factorial para ver cómo se desarrollan dos factores clave:

A: Cantidad de avena

B: Cantidad de proteína añadida

Con estos factores establecidos, se pueden determinar las siguientes variables independientes y dependientes:

Variables independientes:

- Cantidad de avena
- Cantidad de proteína añadida

Variables dependientes:

- Propiedades fisicoquímicas
- Propiedades sensoriales
- Propiedades nutricionales

Cada fórmula se considerará un tratamiento y se evaluará con 30 jueces no entrenados para garantizar que los resultados son sólidos. De esta forma se formularán 4 recetas para averiguar como ambas variables independientes combinadas cambian las propiedades de un cake saludable.

6.2. Análisis

6.2.1. pH

Para la determinación del pH en productos alimenticios horneados, se establecen los siguientes pasos según métodos estandarizados (AOAC International, 2005) 943.02 para productos de panificación:

- Tomar 10 g del cake y tritularlo hasta obtener una mezcla homogénea.

- Colocar la muestra en un vaso de precipitados y añadir 90 ml de agua destilada.
- Agitar durante 30 segundos para liberar los compuestos solubles.
- Calibrar el pH-metro con soluciones buffer de pH 4.00, 7.00 y 9.00.
- Sumergir el electrodo en la mezcla y esperar a que la lectura se estabilice.
- Registrar el valor final.

6.2.2. Humedad

Para la determinación de humedad en productos alimenticios, se establecen los siguientes pasos según métodos estandarizados (AOAC International, 2005) 925.10:

- Pesar 5 g de muestra en una cápsula previamente secada y tarada.
- Llevar la cápsula a estufa a 105 °C por 3 horas.
- Retirar la cápsula y colocarla en un desecador por 30 min.
- Volver a pesar.
- Repetir secado hasta obtener peso constante.
- Fórmula: $\text{Humedad} = [(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso inicial}] \times 100$

6.2.3. Cenizas

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece los siguientes pasos para la determinación de cenizas en productos alimenticios, según (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) 0382:2013:

- Colocar 3–5 g de muestra en un crisol previamente calcinado y tarado.
- Introducir el crisol en una mufla a 550 °C por 4–6 horas.
- Retirar cuidadosamente y dejar enfriar en desecador.
- Pesar el residuo inorgánico (ceniza).

6.2.4. Grasa

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece los siguientes pasos para la determinación de grasa en productos alimenticios, según (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) 0361:2012:

- Pesar 2–3 g de muestra seca y envolverla en papel filtro.
- Colocarla dentro del cartucho del equipo Soxhlet.

- Añadir éter de petróleo o hexano como solvente extractor.
- Realizar entre 6 y 8 ciclos por hora, durante 4–6 horas.
- Evaporar el solvente para recuperar la grasa.
- Secar, enfriar y pesar el matraz con la grasa extraída.

6.2.5. Proteína

Para la determinación de proteína en productos alimenticios, se establecen los siguientes pasos según el método Kjeldahl (AOAC International, 2005) 920.87:

- Pesar 1 g de muestra y colocarla en un tubo de digestión.
- Añadir catalizador ($\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$) y ácido sulfúrico concentrado.
- Calentar hasta obtener una solución clara (digestión del nitrógeno).
- Neutralizar con hidróxido de sodio.
- Destilar el amoníaco liberado.
- Recoger el destilado en ácido bórico.
- Titular con ácido clorhídrico estándar.
- Fórmula: Proteína = %N x 6.25

6.2.6. Fibra

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece los siguientes pasos para la determinación de fibra en productos alimenticios, según (AOAC International, 2005) 991.43 (adoptada por INEN):

- La muestra se somete a una digestión enzimática triple:
 - α -amilasa (para remover almidones).
 - Proteasa (para eliminar proteínas).
 - Amiloglucosidasa (para degradar carbohidratos restantes).
- Filtrar el residuo.
- Lavar con etanol y secar a 105 °C.
- Pesar el residuo final, que corresponde a la fibra dietética.

6.2.7. Carbohidratos

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece los siguientes pasos para la determinación de carbohidratos en productos alimenticios, según el método (Instituto

Ecuatoriano de Normalización, 2011) por diferencia (método oficial para rotulado en Ecuador):

- Fórmula: Carbohidratos = $100 - (\text{humedad} + \text{cenizas} + \text{grasa} + \text{proteína} + \text{fibra})$

6.2.8. Actividad de agua

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece los siguientes pasos para la determinación de actividad de agua en productos alimenticios, según (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2020) 21807:2020:

- Colocar 2–3 g del cake triturado en la cápsula del equipo.
- Sellar la cámara hermética.
- Esperar la estabilización del sensor higrométrico.
- Registrar la lectura final de aw (actividad de agua).

6.2.9. Color

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece los siguientes pasos para la determinación de color en productos alimenticios, según (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) 2369:2011:

- Colocar el colorímetro sobre la superficie del corte del cake.
- Tomar mínimo 3 lecturas en distintas zonas.
- Registrar los valores:
 - L: luminosidad
 - a: rojo–verde
 - b: amarillo–azul

6.2.10. Textura

Para la determinación de textura en productos alimenticios, se establecen los siguientes pasos según el método estandarizado (AACC International, 2000) 74-09 para firmeza de panificación:

- Cortar un cubo de cake de $2 \times 2 \times 2$ cm.
- Colocar en el texturómetro con un probe cilíndrico.

- Aplicar dos compresiones consecutivas a velocidad constante.
- Registrar los parámetros:
 - Firmeza
 - Cohesividad
 - Elasticidad
 - Masticabilidad

6.3. Materiales

6.3.1. Materias primas

- Banano.
- Avena en hojuelas.
- Harina integral.
- Clara de huevos.
- Aceite de coco.
- Leche entera.
- Proteína en polvo (aislado de suero).
- Edulcorante natural (stevia).
- Bicarbonato.
- Nuez.

6.3.2. Reactivos y materiales complementarios

- Agua destilada.
- Papel aluminio, moldes para horneado, espátulas, vasos de precipitados y balanza analítica.

6.4. Equipos

- Horno eléctrico.
- Batidora.
- pH-metro calibrado con soluciones buffer 4.0, 7.0 y 9.0.
- Colorímetro (escala CIELAB L*, a*, b*).
- Texturómetro (para análisis de firmeza y cohesividad).
- Balanza analítica de precisión (0.001 g).

- Estufa de secado y desecador.

6.5. Ubicación

La presente investigación se realizará en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí en los laboratorios del edificio de Agropecuaria el cual pertenece a la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías en la ciudad de Manta.

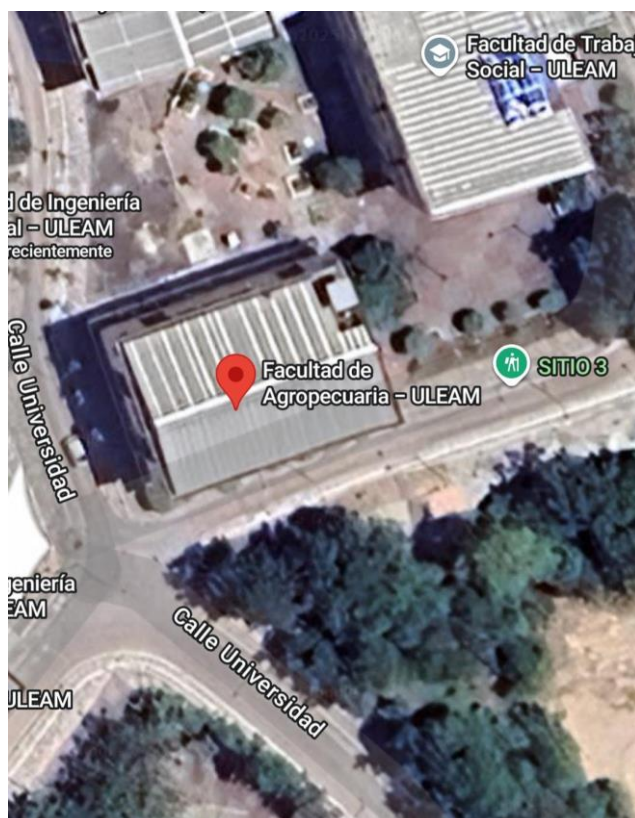


Ilustración 1: Fotografía de la ubicación

Fuente: Google Maps

6.6. Prueba hedónica

El análisis sensorial se realizará con un panel de 30 consumidores no entrenados, seleccionados entre estudiantes y personal universitario, quienes evaluarán los atributos:

- Color
- Aroma
- Sabor
- Textura

Se aplicará una escala hedónica de 5 puntos (1 = muy desagradable, 5 = muy agradable) evaluando las características sensoriales de cada atributo (apariencia, olor, sabor y textura) del cake. Los resultados se tabularán en hojas de evaluación individuales y se calcularán promedios de aceptación para cada tratamiento. Además, se recopilarán comentarios cualitativos sobre percepción de dulzura y textura, a fin de complementar los datos cuantitativos.

Tabla 1: Tabla de prueba hedónica

Atributo	Descripción (referencia sensorial)	P1F1	P1F2	P2F1	P2F2
Color	1 = Color apagado o poco atractivo; aspecto seco o irregular 2 = Color aceptable pero poco uniforme; aspecto algo seco 3 = Color y forma aceptables; apariencia promedio 4 = Buen color y aspecto húmedo; apariencia atractiva 5 = Color muy apetitoso, aspecto fresco, húmedo y uniforme				
Aroma	1 = Olor débil o desagradable; notas de guineo poco perceptibles 2 = Aroma bajo; el guineo u otros aromas son poco claros 3 = Aroma moderado; agradable pero poco definido 4 = Buen aroma a guineo y avena; intensidad adecuada 5 = Aroma fresco, intenso y claramente definido a guineo y avena				
Sabor	1 = Sabor débil o desagradable; guineo poco presente o artificial 2 = Sabor aceptable pero poco definido; dulzor o guineo insuficiente				

	3 = Sabor equilibrado, pero podría tener más presencia de guineo 4 = Buen sabor a guineo y avena; dulzor adecuado y agradable 5 = Sabor intenso, natural y bien balanceado; guineo y avena claramente presentes y armoniosos				
Textura	1 = Seca, dura o demasiado densa 2 = Algo seca o poco esponjosa 3 = Consistencia aceptable; humedad y esponjosidad promedio 4 = Suave, esponjosa y con buena humedad 5 = Muy suave, húmeda y esponjosa; textura óptima y agradable en boca				
Total					

6.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se procesarán mediante análisis descriptivo (media, desviación estándar) y análisis de varianza ANOVA ($p < 0.05$), para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Cuando existan diferencias, se aplicará la prueba de Tukey para comparar medias.

El software estadístico utilizado será InfoStat versión 2020.

6.8. Diseño experimental

La presente investigación aplicó un Diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial 2x2. Se evaluaron dos factores principales con dos niveles cada uno:

Factor A: Cantidad de fibra

A1: 150 g de avena

A2: 200 g de avena

Factor B: Cantidad de proteína añadida

B1: 10 g de proteína añadida

B2: 15 g de proteína añadida

La interacción de estos factores generó de manera inequívoca 4 tratamientos experimentales:

Tabla 2: Tabla de tratamientos

Tratamiento	Factor A	Factor B
T1	A1: 150 g de avena	B1: 10 g de proteína añadida
T2	A1: 150 g de avena	B2: 15 g de proteína añadida
T3	A2: 200 g de avena	B1: 10 g de proteína añadida
T4	A2: 200 g de avena	B2: 15 g de proteína añadida

Tabla 3: Tabla de fuentes de varianza

Fuentes de Varianza	Fórmula	Grados de libertad
Tratamientos	T - 1	3
Repetición	R - 1	2
Error	(T - 1) (R-1)	6
Total	(T * R) - 1	11

Unidad experimental:

Se definió como unidad experimental cada cake de banano y avena horneado. Para garantizar la máxima uniformidad en las evaluaciones posteriores, cada muestra se elaboró depositando un volumen estandarizado y exacto de masa cruda en moldes individuales de dimensiones idénticas.

Repeticiones:

Se llevaron a cabo tres repeticiones independientes por cada tratamiento evaluado. De esta manera, el diseño experimental quedó conformado por una muestra total de 12 unidades ($n = 12$).

Aleatorización:

Con el propósito de suprimir cualquier sesgo sistemático durante la fase experimental, se aplicó un método de sorteo aleatorio simple. Este procedimiento garantizó que la asignación de las unidades a cada tratamiento (así como el orden secuencial para las etapas de batido, horneado y la posterior evaluación instrumental) se realizara de manera objetiva y estadísticamente imparcial.

Modelo estadístico:

Se empleó el siguiente modelo matemático para el análisis de varianza (ANOVA):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta evaluada

μ = Media general del experimento

α_i = Efecto del i -ésimo nivel del Factor A (Avena)

β_j = Efecto del j -ésimo nivel del Factor B (Proteína)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el Factor A y el Factor B

ϵ_{ijk} = Error experimental

7. Resultados

7.1. Análisis de pH

Al revisar los datos de acidez, quedó en evidencia que mezclar distintas cantidades de avena y proteína altera significativamente el pH final del producto. Si observamos de cerca la Tabla 4 y la Ilustración 2, vemos que las masas con apenas 10 g de proteína se volvieron mucho más alcalinas. De hecho, el pico máximo se lo llevó la combinación de 200 g de avena con esta dosis baja de proteína, alcanzando un valor de 8,77, mientras que la variante con 150 g de avena le siguió muy de cerca con un 8,67.

La situación cambia drásticamente cuando la formulación recibe una mayor carga de aislado proteico. Al incorporar los 15 g de proteína, el pH sufre una caída que estadísticamente posiciona a estas muestras en un grupo completamente distinto (el Grupo B). Bajo estas condiciones, las lecturas descendieron a 7,63 y 7,33 respectivamente.

Numéricamente, esto nos confirma que la proporción de estos ingredientes tiene un peso decisivo sobre la acidez que termina desarrollando la masa.

Tabla 4: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para el pH

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
200 g de avena	10 g de proteína	8,77	3	0,07	A
150 g de avena	10 g de proteína	8,67	3	0,07	A
200 g de avena	15 g de proteína	7,63	3	0,07	B
150 g de avena	15 g de proteína	7,33	3	0,07	B

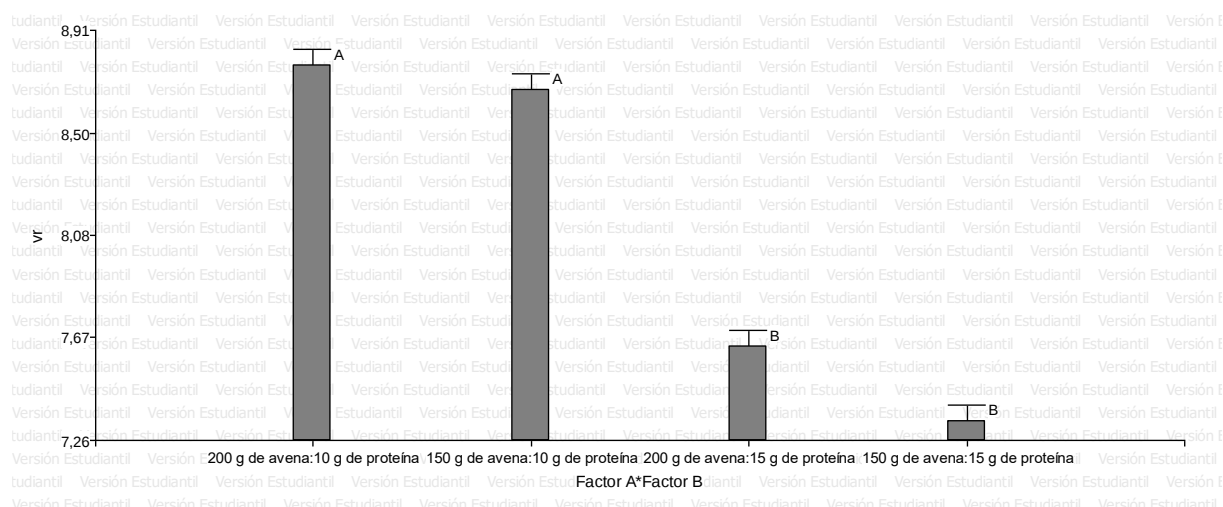


Ilustración 2: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para el pH

7.2. Análisis de humedad

Un aspecto que llama bastante la atención de estos resultados es la gran uniformidad en la retención de agua. A diferencia de lo que pasó con el pH, el análisis de varianza nos dice que la interacción de los ingredientes no provocó saltos estadísticos importantes en este parámetro. Prácticamente, todas las pruebas se quedaron dentro de la misma categoría estadística, algo que se puede constatar fácilmente revisando la Tabla 5 y la Ilustración 3.

Para hacernos una idea, los promedios se movieron en un margen sumamente estrecho. El techo de humedad lo marcó la receta que combinó 200 g de avena y 15 g de proteína, con un 43,67 %. En el otro extremo, la masa con 200 g de avena y 10 g de proteína apenas bajó hasta un 41,33 %. Tener cifras tan pegadas nos indica que, aunque movamos las cantidades de los insumos secos, la fracción de agua del pastel se mantiene muy estable.

Tabla 5: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la humedad

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
200 g de avena	15 g de proteína	43,67	3	1,19	A
150 g de avena	15 g de proteína	43,33	3	1,19	A
150 g de avena	10 g de proteína	42,00	3	1,19	A
200 g de avena	10 g de proteína	41,33	3	1,19	A

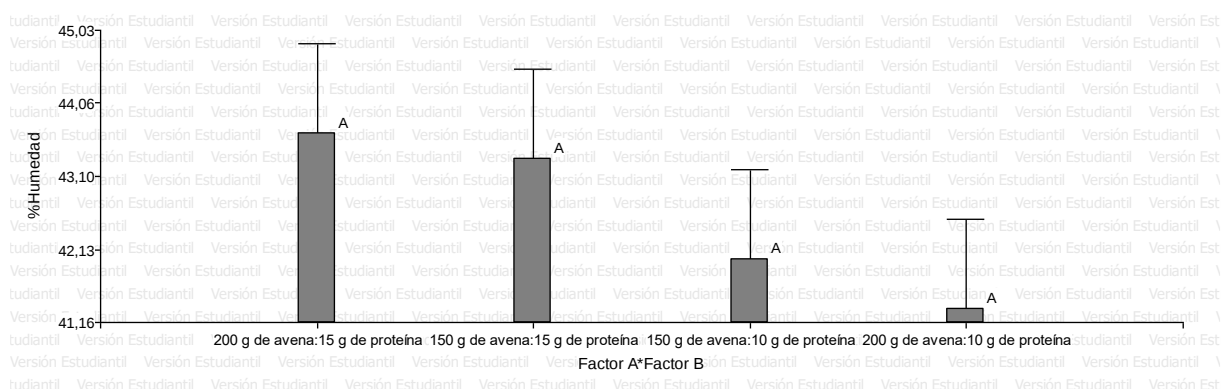


Ilustración 3: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la humedad

7.3. Análisis de cenizas

La evaluación del residuo inorgánico sí arrojó fluctuaciones que estadísticamente resultan importantes. Apoyándonos en los datos de la Tabla 6 y la Ilustración 4, notamos que el valor más alto de cenizas se presentó de manera muy puntual en el tratamiento elaborado con 150 g de avena y 10 g de proteína, el cual llegó a un 1,88 %.

A medida que fuimos jugando con las cantidades, esta concentración empezó a bajar. Por ejemplo, cuando mantuvimos los 150 g de avena, pero le sumamos los 15 g de proteína, el porcentaje de cenizas cayó hasta tocar el fondo de la tabla con un 1,43 %. Las dos formulaciones restantes se acomodaron en un punto intermedio, lo que nos demuestra que modificar ambos ingredientes al mismo tiempo altera el contenido mineral del alimento de una forma bastante escalonada.

Tabla 6: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para las cenizas

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.			
150 g de avena	10 g de proteína	1,88	3	0,05	A		
200 g de avena	10 g de proteína	1,77	3	0,05	A	B	
200 g de avena	15 g de proteína	1,56	3	0,05		B	C

150 g de avena	15 g de proteína	1,43	3	0,05	C
----------------	------------------	------	---	------	---

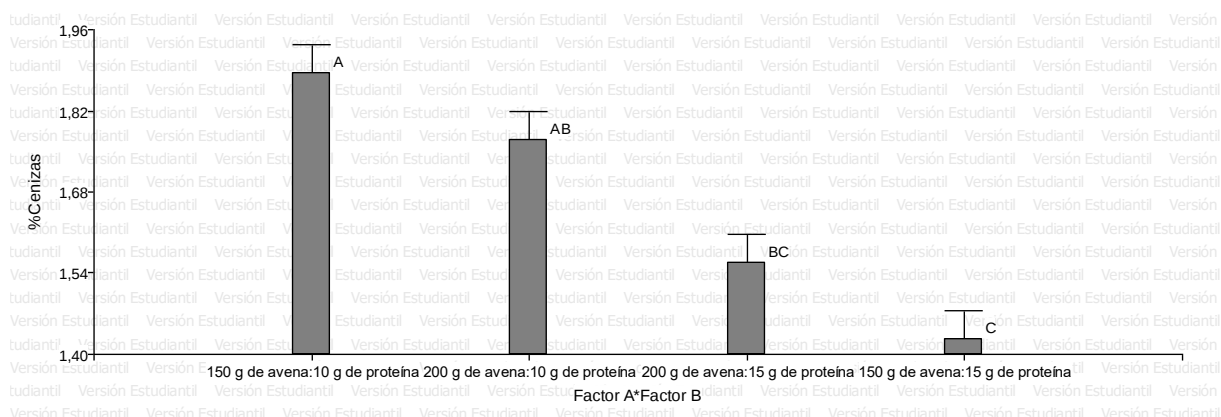


Ilustración 4: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para las cenizas

7.4. Análisis de grasa

En el caso de los lípidos, los números marcan una pauta muy clara y con diferencias significativas entre las medias. Tanto la Tabla 7 como la Ilustración 5 exponen que la receta preparada con 150 g de avena y 15 g de proteína acaparó la mayor cantidad de grasa de todo el bloque, registrando un 12,85 %.

Por el contrario, cuando las masas se prepararon con una base más pesada de avena (es decir, los 200 g), los porcentajes de grasa se vinieron abajo, sin importar cuánta proteína se le añadiera, situándose en 10,41 % y 10,17 %. Este comportamiento sitúa a estas últimas muestras en un grupo estadístico independiente, confirmándonos que la fracción grasa del producto horneado es súper sensible a los ajustes que hagamos en las materias primas.

Tabla 7: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la grasa

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
150 g de avena	15 g de proteína	12,85	3	0,45	A
150 g de avena	10 g de proteína	11,97	3	0,45	A
200 g de avena	15 g de proteína	10,41	3	0,45	B
200 g de avena	10 g de proteína	10,17	3	0,45	B

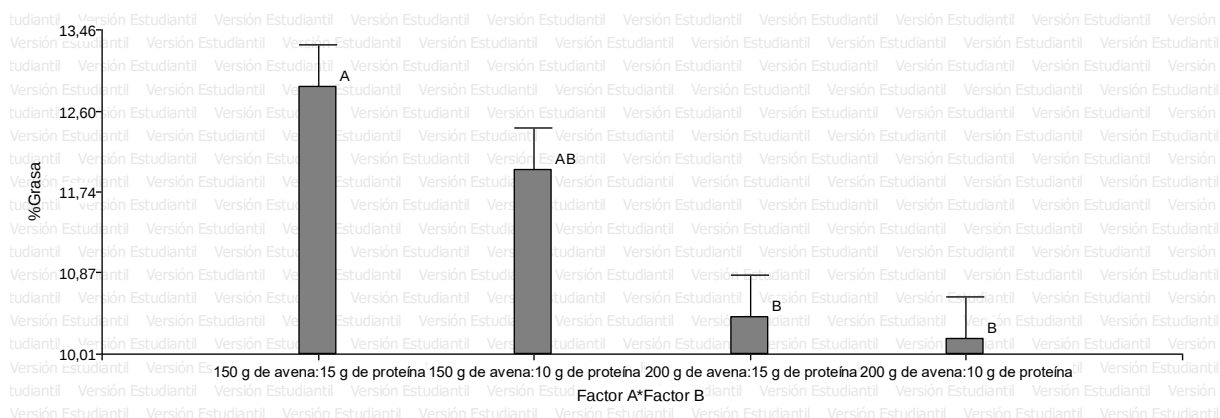


Ilustración 5: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la grasa

7.5. Análisis de proteína

Tal como cabía esperar por el diseño de las fórmulas, el contenido proteico final estuvo estrechamente ligado a la cantidad de aislado de suero que se incluyó en la batidora. Aquellas masas enriquecidas con 15 g de proteína se separaron del resto de forma muy nítida en el análisis estadístico, aportando un 9,45 % (en el caso de los 200 g de avena) y un 9,37 % (para los 150 g de avena). Esta tendencia se observa sin problemas en la Tabla 8 y la Ilustración 6.

Desde la otra orilla, los cakes que apenas recibieron 10 g de este suplemento pasaron a formar el segundo grupo estadístico (Grupo B). Lógicamente, estos reportaron concentraciones menores que anduvieron por el 7,58 % y el 7,31 %. Todo esto avala que la mezcla de ingredientes que planteamos logró modificar el perfil del macronutriente exactamente como queríamos.

Tabla 8: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la proteína

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
200 g de avena	15 g de proteína	9,45	3	0,13	A
150 g de avena	15 g de proteína	9,37	3	0,13	A
200 g de avena	10 g de proteína	7,58	3	0,13	B
150 g de avena	10 g de proteína	7,31	3	0,13	B

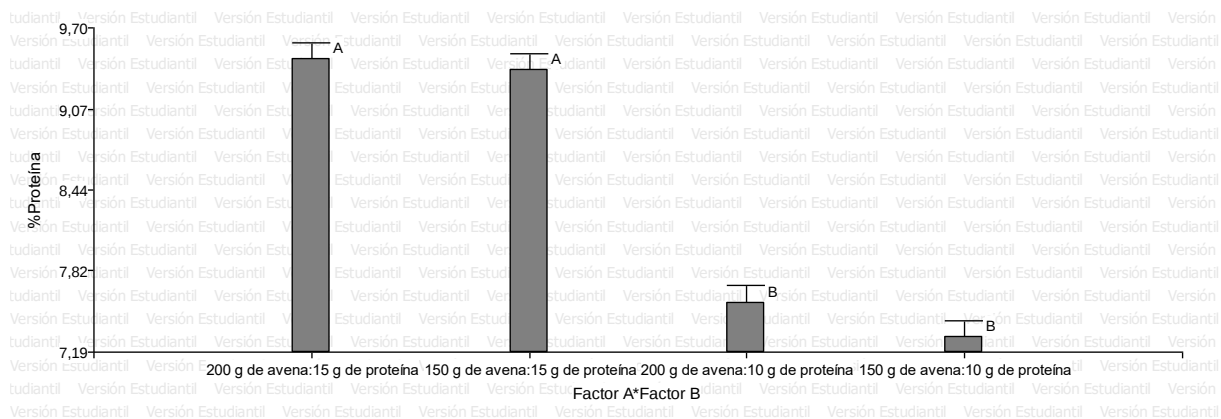


Ilustración 6: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la proteína

7.6. Análisis de fibra

El porcentaje de fibra dietética tampoco fue ajeno a los cambios en la formulación, mostrando variaciones significativas provocadas por la interacción de los componentes. El nivel más alto para este parámetro se clavó en un 3,84 %, y correspondió a la matriz que llevaba 200 g de avena junto con 10 g de proteína.

Este comportamiento genera un contraste estadístico bastante directo si lo comparamos con el valor más bajo de la prueba, que fue de solo 3,26 % para la masa de 150 g de avena con 15 g de proteína (tal y como se desglosa en la Tabla 9 y la Ilustración 7). Las mezclas restantes se quedaron en una zona gris de transición, pero en general nos sugieren que la cantidad de avena es la que lleva la batuta en este análisis.

Tabla 9: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la fibra

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
200 g de avena	10 g de proteína	3,84	3	0,09	A
150 g de avena	10 g de proteína	3,58	3	0,09	A B
200 g de avena	15 g de proteína	3,48	3	0,09	A B
150 g de avena	15 g de proteína	3,26	3	0,09	B

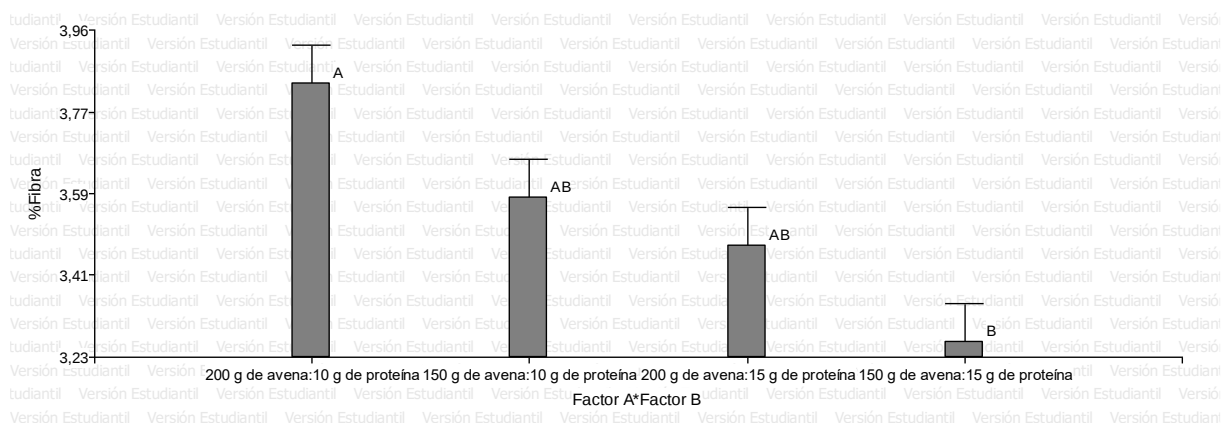


Ilustración 7: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la fibra

7.7. Análisis de carbohidratos

Al calcular los hidratos de carbono por diferencia, nos encontramos con un contraste estadístico bastante notorio entre las distintas recetas. Revisando la Tabla 10 y la Ilustración 8, salta a la vista que el tratamiento más cargado de carbohidratos fue el que combinó la cuota alta de avena (200 g) con la cuota baja de proteína (10 g), marcando un 39,15 %.

Si miramos la otra cara de la moneda, al quitarle peso a la avena (150 g) y subirle a la proteína (15 g), la fracción de carbohidratos sufrió un bajón importante hasta quedarse en un 33,02 %. Estos desniveles son el claro reflejo del balance de masa y de cómo un ingrediente va desplazando al otro dentro de la composición final.

Tabla 10: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para los carbohidratos

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
200 g de avena	10 g de proteína	39,15	3	1,31	A
150 g de avena	10 g de proteína	36,84	3	1,31	A B
200 g de avena	15 g de proteína	34,92	3	1,31	A B
150 g de avena	15 g de proteína	33,02	3	1,31	B

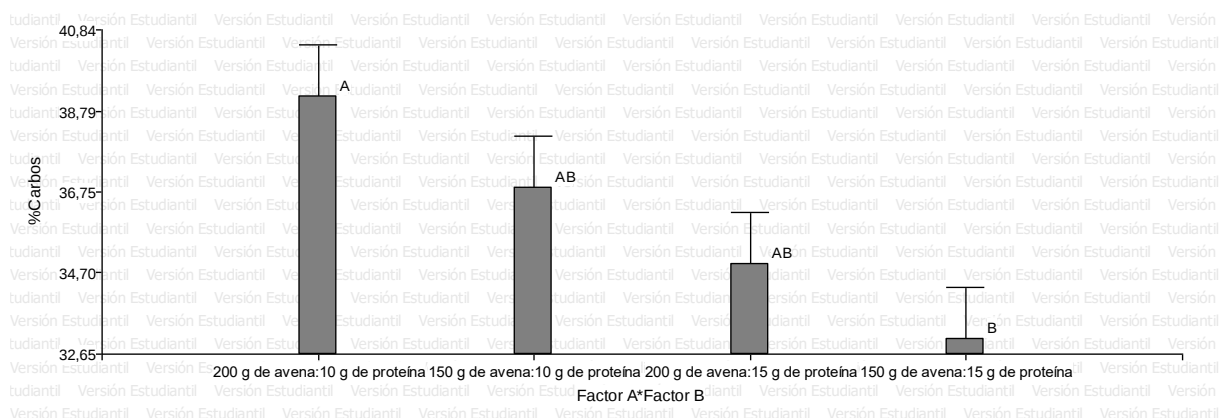


Ilustración 8: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para los carbohidratos

7.8. Análisis de actividad de agua

Si algo se mantuvo constante de principio a fin durante las pruebas, fue el agua libre disponible en el producto. El tratamiento estadístico de los datos no fue capaz de encontrar ninguna diferencia significativa al cruzar los factores.

Como bien respaldan la Tabla 11 y la Ilustración 9, las lecturas se quedaron congeladas en un margen mínimo. Todas las preparaciones que llevaron 15 g de proteína clavarón un 0,96, mientras que las de 10 g marcaron 0,95. En términos prácticos, esto nos indica que por más que alteremos las cantidades de materia seca, la estabilidad del agua dentro de la estructura no se ve comprometida.

Tabla 11: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la actividad de agua

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
200 g de avena	15 g de proteína	0,96	3	4,3E-03	A
150 g de avena	15 g de proteína	0,96	3	4,3E-03	A
200 g de avena	10 g de proteína	0,95	3	4,3E-03	A
150 g de avena	10 g de proteína	0,95	3	4,3E-03	A

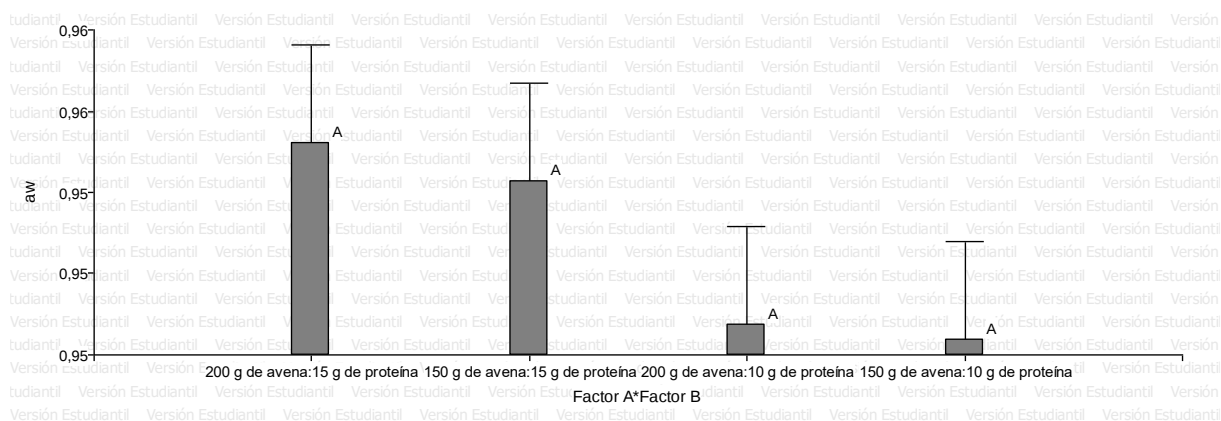


Ilustración 9: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la actividad de agua

7.9. Análisis de color

7.9.1. Luminosidad (L^*)

Pasando a la evaluación visual, nos dimos cuenta de que la claridad de la superficie de los cakes está súper condicionada por los ingredientes. Las recetas que llevaron los 15 g de proteína terminaron siendo las más claras y luminosas, con valores L^* de 51,09 y 49,51. A nivel estadístico, estos números superan por mucho a las muestras de 10 g de proteína, las cuales salieron del horno con un aspecto considerablemente más oscuro, cayendo a lecturas de 45,58 y 43,03 (Tabla 12, Ilustración 10).

Tabla 12: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la luminosidad (L^*)

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
150 g de avena	15 g de proteína	51,09	3	0,70	A
200 g de avena	15 g de proteína	49,51	3	0,70	A
150 g de avena	10 g de proteína	45,58	3	0,70	B
200 g de avena	10 g de proteína	43,03	3	0,70	B

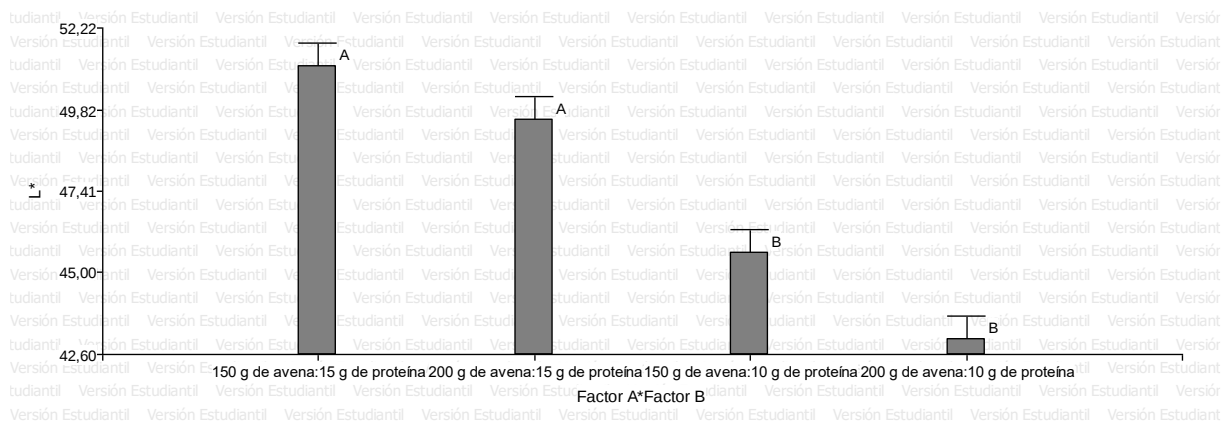


Ilustración 10: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la luminosidad (L^*)

7.9.2. Coordinada (a^*)

A la hora de medir cómo se inclina el color en el espectro que va del verde al rojo (la coordenada a^*), hubo una masa en específico que se separó del rebaño. Hablamos de la formulación de 150 g de avena y 10 g de proteína, que se disparó hasta alcanzar un 4,08, denotando tonos mucho más cálidos y rojizos (Tabla 13, Ilustración 11). Los otros tratamientos formaron su propio grupo estadístico más abajo, con medias que solo variaron entre un 2,01 y un 2,72.

Tabla 13: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (a^*)

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
150 g de avena	10 g de proteína	4,08	3	0,08	A
200 g de avena	15 g de proteína	2,72	3	0,08	B
150 g de avena	15 g de proteína	2,28	3	0,08	C
200 g de avena	10 g de proteína	2,01	3	0,08	C

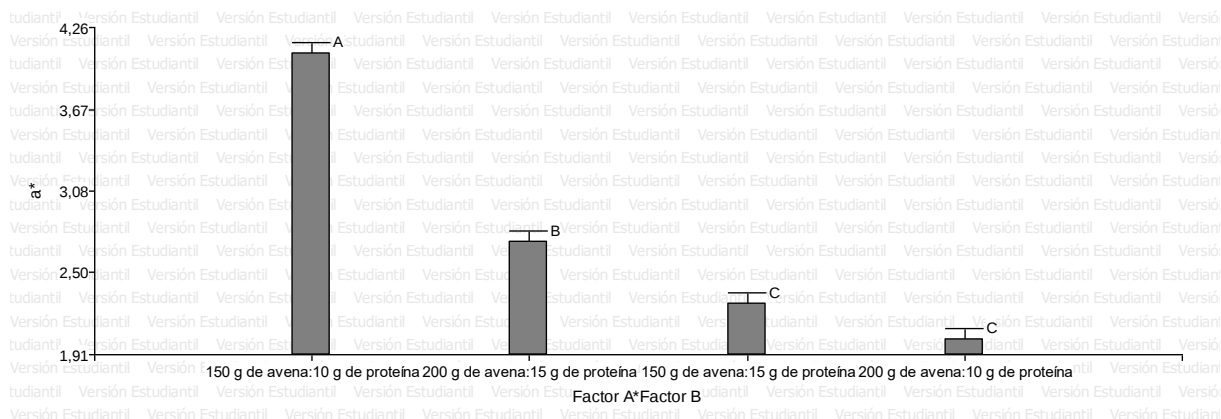


Ilustración 11: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (a*)

7.9.3. Coordenada (b*)

Para la coordenada b^* , encargada de rastrear los tonos amarillentos, la historia se repitió casi a la perfección. Nuevamente, la mezcla de 150 g de avena con 10 g de proteína sacó la puntuación más alta (16,65), alejándose con diferencias significativas del resto de las pruebas (Tabla 14, Ilustración 12). Las masas competidoras generaron niveles menores y muy parecidos entre ellas, con promedios que apenas se movieron del 13,85 al 15,03.

Tabla 14: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (b*)

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.	
150 g de avena	10 g de proteína	16,65	3	0,27	A
200 g de avena	15 g de proteína	15,03	3	0,27	B
200 g de avena	10 g de proteína	13,88	3	0,27	B
150 g de avena	15 g de proteína	13,85	3	0,27	B

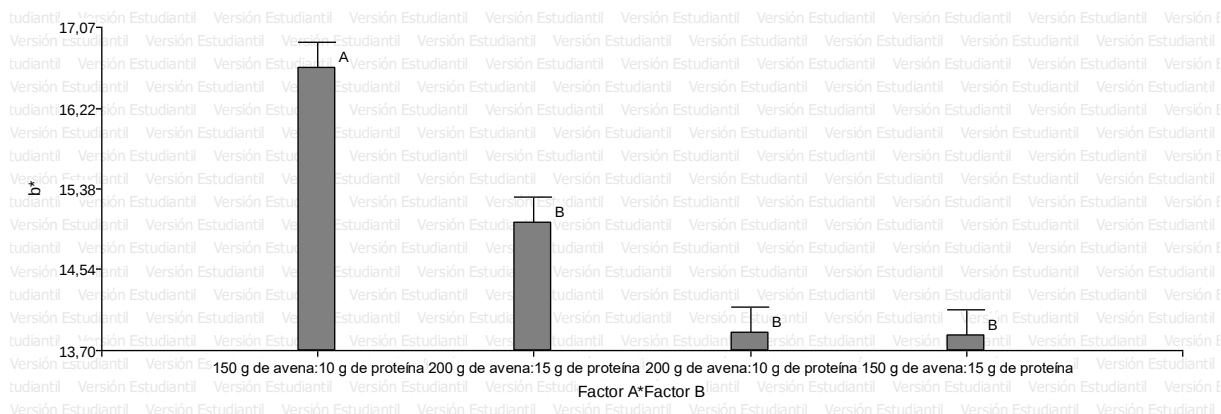


Ilustración 12: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la coordenada (b*)

7.10. Análisis de textura

En el plano instrumental, la resistencia física que opusieron los distintos bloques de masa al texturómetro fue bastante similar. Los números fueron desde un 0,95 (en la receta con menor carga de avena y proteína) hasta un 1,21 (cuando se usaron 150 g de avena y 15 g de proteína). Aunque a simple vista parece haber un aumento, el análisis de varianza determinó que estas fluctuaciones no tienen peso estadístico. Por ende, todas las muestras terminaron

agrupándose en la misma categoría de medias, como se observa en la Tabla 15 y la Ilustración 13, sugiriendo que la consistencia base del producto se mantiene bastante uniforme.

Tabla 15: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la textura

Factor A	Factor B	Medias	n	E.E.
150 g de avena	15 g de proteína	1,21	3	0,06 A
200 g de avena	15 g de proteína	1,20	3	0,06 A
200 g de avena	10 g de proteína	1,00	3	0,06 A
150 g de avena	10 g de proteína	0,95	3	0,06 A

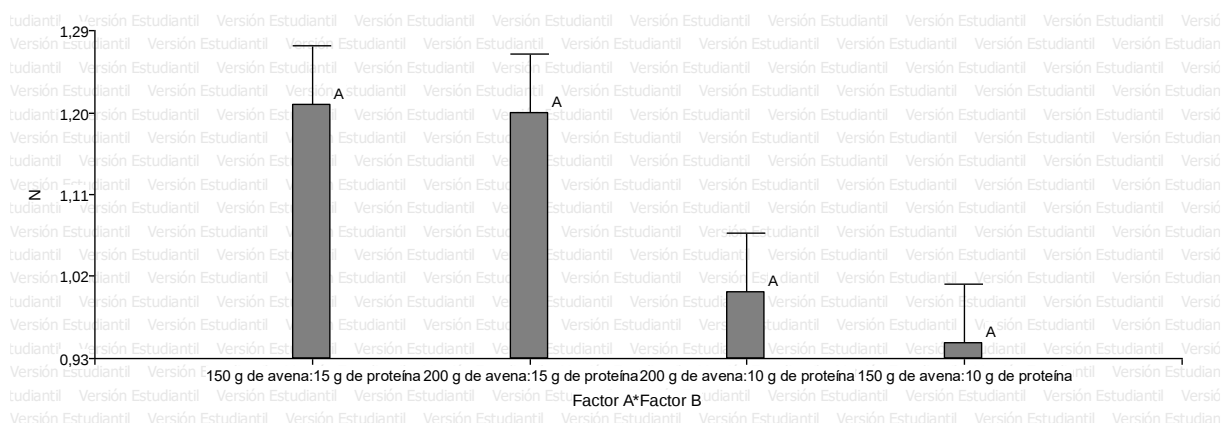


Ilustración 13: Comparación de medias de la interacción entre la cantidad de avena y la cantidad de proteína añadida para la textura

7.11. Prueba hedónica

7.11.1. Color

Antes de analizar qué pastel le gustó más a la gente, es importante revisar cómo se comportó el panel de evaluación. Si observamos las calificaciones individuales que otorgaron los jueces al color, los datos de la Tabla 16 y la Ilustración 14 nos confirman que no hubo diferencias estadísticas significativas entre ellos, ya que todos se agruparon en la misma categoría (Grupo A). Esto es una excelente noticia, pues demuestra que los catadores mantuvieron un criterio bastante uniforme y objetivo, sin presentar sesgos personales marcados al momento de observar las muestras.

Tabla 16: Comparación de medias de los catadores para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Catador	Medias	n	E.E.
---------	--------	---	------

11	3,75	4	0,36	A
22	3,75	4	0,36	A
14	3,75	4	0,36	A
18	3,75	4	0,36	A
2	3,75	4	0,36	A
23	3,50	4	0,36	A
10	3,50	4	0,36	A
13	3,50	4	0,36	A
26	3,50	4	0,36	A
27	3,50	4	0,36	A
30	3,50	4	0,36	A
25	3,50	4	0,36	A
7	3,50	4	0,36	A
6	3,50	4	0,36	A
19	3,25	4	0,36	A
29	3,25	4	0,36	A
15	3,25	4	0,36	A
3	3,25	4	0,36	A
1	3,25	4	0,36	A
8	3,00	4	0,36	A
24	3,00	4	0,36	A
5	3,00	4	0,36	A
4	3,00	4	0,36	A
20	3,00	4	0,36	A
16	3,00	4	0,36	A
17	3,00	4	0,36	A
21	3,00	4	0,36	A
9	3,00	4	0,36	A
28	2,75	4	0,36	A
12	2,25	4	0,36	A

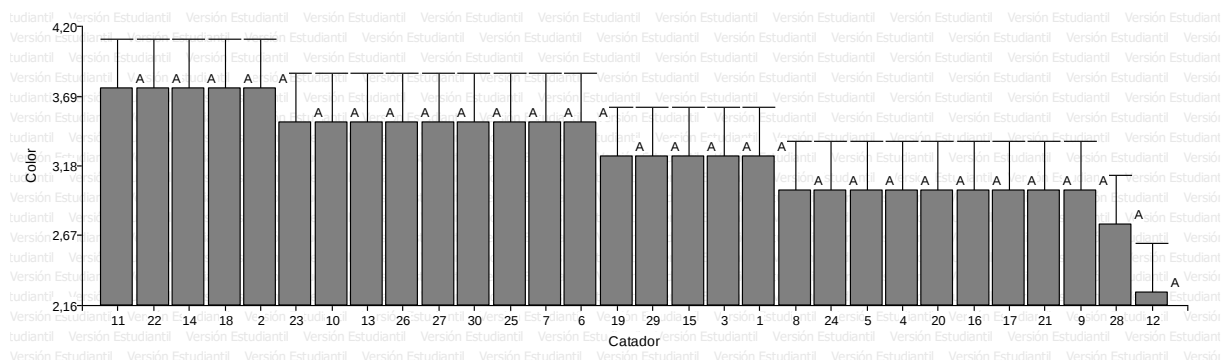


Ilustración 14: Comparación de medias de los catadores para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Ya entrando en la preferencia del producto, las preferencias visuales se inclinaron claramente hacia una opción. El Tratamiento 3 (T3), formulado con 200 g de avena y 10 g de proteína, fue el favorito del grupo. Consiguió una nota media de 4,00 sobre los 5,00 posibles, como lo detallan la Tabla 17 y la Ilustración 15. Esta puntuación le permitió despegarse con facilidad de las demás recetas, las cuales fueron percibidas como menos atractivas, quedándose estancadas en calificaciones que apenas variaron entre los 3,00 y 3,13 puntos.

Tabla 17: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T3	4,00	30	0,13	A
T4	3,13	30	0,13	B
T2	3,00	30	0,13	B
T1	3,00	30	0,13	B

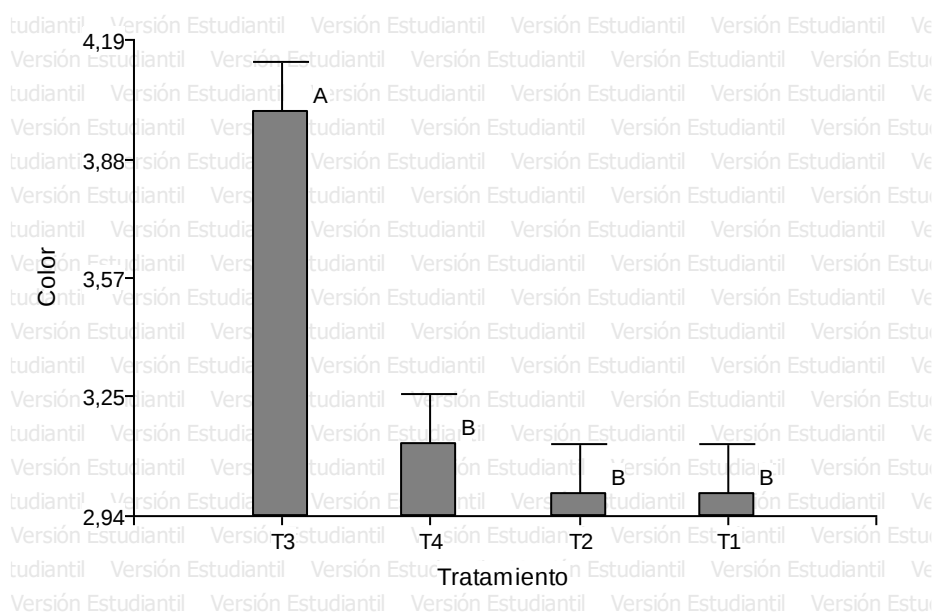


Ilustración 15: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo color de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

7.11.2. Aroma

Pasando a la prueba olfativa, un detalle que no podemos pasar por alto es la consistencia de los evaluadores. Nuevamente, la Tabla 18 y la Ilustración 16 evidencian que no existieron diferencias de criterio estadísticamente relevantes entre los 30 catadores. Al igual que en la evaluación del color, todos los participantes mostraron un consenso generalizado (clasificados en el Grupo A), lo que le otorga una gran validez a los resultados que veremos a continuación.

Tabla 18: Comparación de medias de los catadores para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Catador	Medias	n	E.E.	
29	4,25	4	0,33	A

21	3,75	4	0,33	A
23	3,75	4	0,33	A
19	3,75	4	0,33	A
11	3,75	4	0,33	A
17	3,75	4	0,33	A
7	3,75	4	0,33	A
26	3,75	4	0,33	A
25	3,75	4	0,33	A
5	3,75	4	0,33	A
16	3,50	4	0,33	A
15	3,50	4	0,33	A
28	3,50	4	0,33	A
24	3,50	4	0,33	A
10	3,50	4	0,33	A
6	3,50	4	0,33	A
3	3,50	4	0,33	A
1	3,50	4	0,33	A
13	3,50	4	0,33	A
30	3,50	4	0,33	A
12	3,25	4	0,33	A
27	3,25	4	0,33	A
2	3,25	4	0,33	A
14	3,25	4	0,33	A
4	3,25	4	0,33	A
9	3,25	4	0,33	A
20	3,25	4	0,33	A
8	3,25	4	0,33	A
18	3,00	4	0,33	A
22	2,75	4	0,33	A

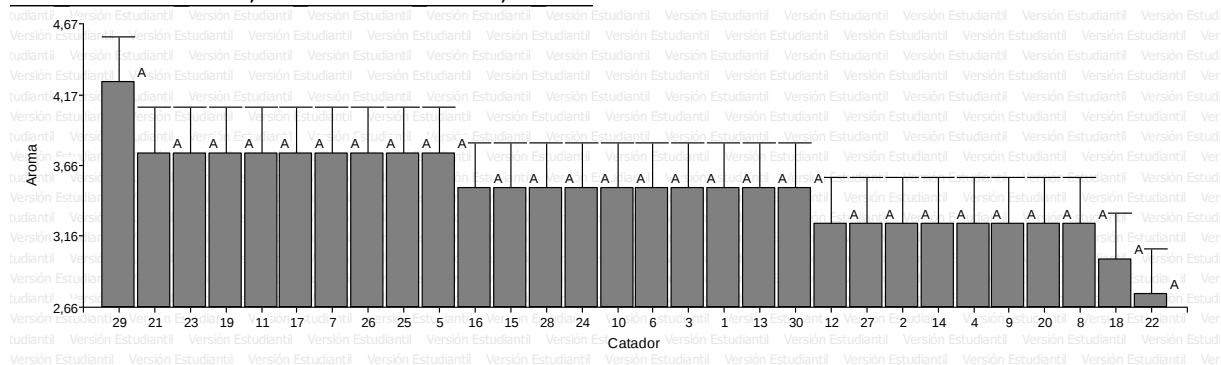


Ilustración 16: Comparación de medias de los catadores para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Al momento de elegir el aroma más agradable, el escenario cambió por completo respecto al aspecto visual y dejó a un nuevo protagonista en la pista. El Tratamiento 4 (T4), elaborado con 200 g de avena y 15 g de proteína, fue un éxito rotundo entre los panelistas, alcanzando un sobresaliente 4,67 (Tabla 19, Ilustración 17). Las diferencias estadísticas aquí no dejaron lugar a dudas: los tres tratamientos restantes empataron en un promedio idéntico de 3,10, dejando clarísimo que el T4 es inmensamente superior en su perfil aromático.

Tabla 19: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	4,67	30	0,12	A
T3	3,10	30	0,12	B
T2	3,10	30	0,12	B
T1	3,10	30	0,12	B

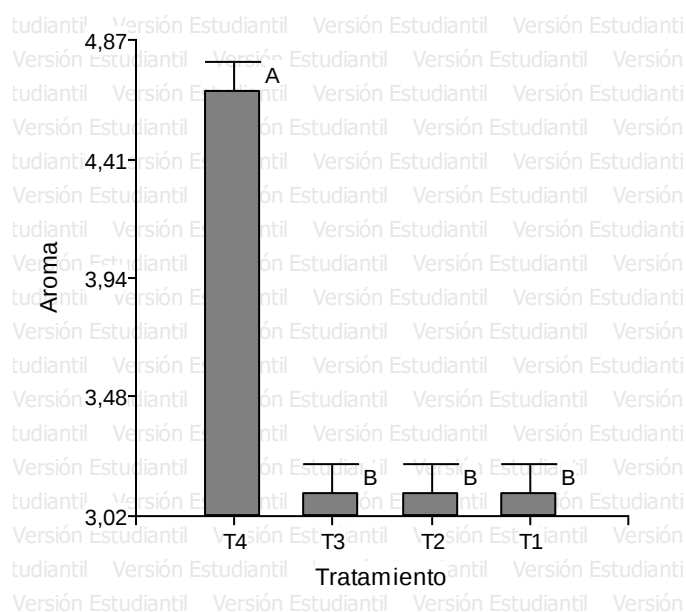


Ilustración 17: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo aroma de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

7.11.3. Sabor

Llegamos al parámetro que prácticamente define el éxito de cualquier alimento, y aquí la dinámica del panel se mantuvo impecable. Si revisamos las puntuaciones individuales de la Tabla 20 y la Ilustración 18, comprobamos una vez más que el grupo mantuvo un criterio muy homogéneo para juzgar el sabor, sin que las percepciones personales generaran desviaciones estadísticas significativas.

Tabla 20: Comparación de medias de los catadores para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Catador	Medias	n	E.E.	
6	3,75	4	0,36	A
2	3,75	4	0,36	A
10	3,75	4	0,36	A

28	3,75	4	0,36	A
29	3,50	4	0,36	A
25	3,50	4	0,36	A
13	3,50	4	0,36	A
11	3,50	4	0,36	A
3	3,50	4	0,36	A
19	3,25	4	0,36	A
17	3,25	4	0,36	A
20	3,25	4	0,36	A
1	3,25	4	0,36	A
23	3,25	4	0,36	A
22	3,25	4	0,36	A
16	3,25	4	0,36	A
7	3,25	4	0,36	A
30	3,25	4	0,36	A
14	3,25	4	0,36	A
27	3,25	4	0,36	A
24	3,00	4	0,36	A
8	3,00	4	0,36	A
26	3,00	4	0,36	A
18	3,00	4	0,36	A
21	3,00	4	0,36	A
5	3,00	4	0,36	A
15	2,75	4	0,36	A
9	2,75	4	0,36	A
12	2,50	4	0,36	A
4	2,50	4	0,36	A

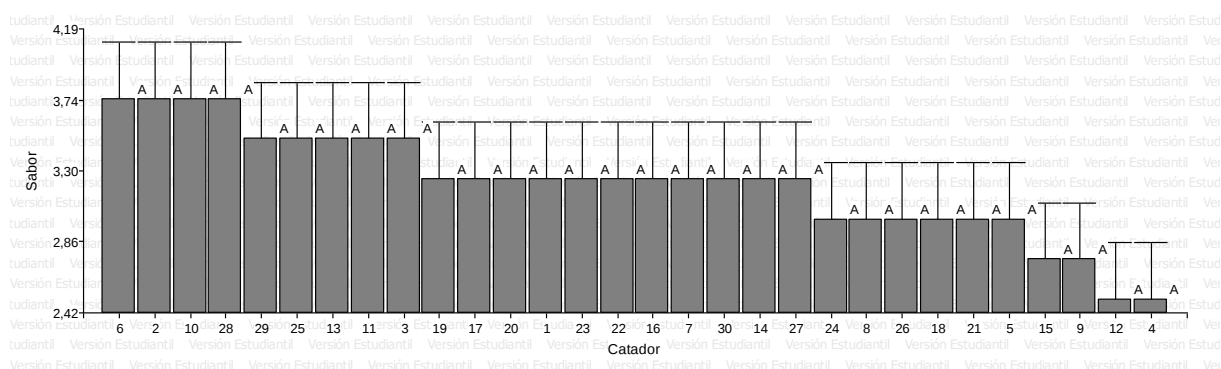


Ilustración 18: Comparación de medias de los catadores para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

En cuanto a la degustación propiamente dicha, el sabor terminó respaldando lo que ya nos había adelantado el olfato. Otra vez, el Tratamiento 4 (T4) se apoderó del primer lugar con una calificación envidiable de 4,60 sobre 5,00, según consta en la Tabla 21 y la Ilustración 19. Su perfil gustativo sacó una enorme ventaja estadística sobre el Tratamiento 3 (3,10) y el Tratamiento 1 (3,03). Mención aparte merece el Tratamiento 2, que definitivamente no fue del agrado de los catadores y terminó hundiéndose con la puntuación más baja de la prueba, un 2,17.

Tabla 21: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	4,60	30	0,13	A
T3	3,10	30	0,13	B
T1	3,03	30	0,13	B
T2	2,17	30	0,13	C

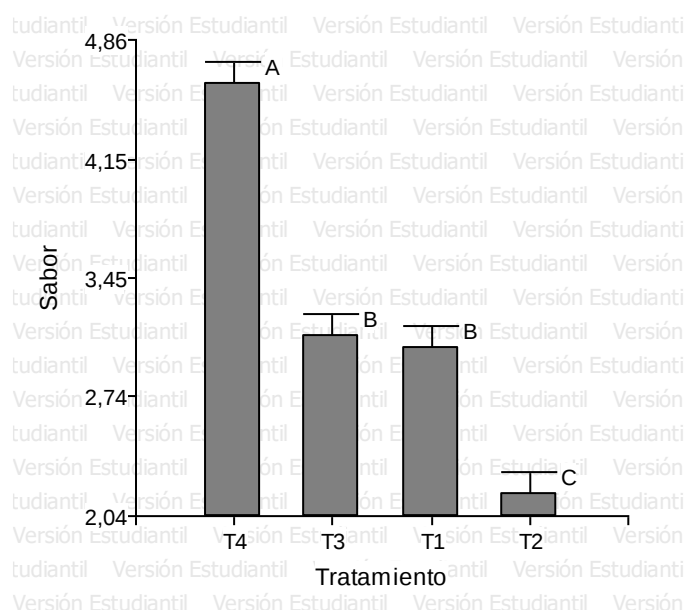


Ilustración 19: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo sabor de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

7.11.4. Textura

Para cerrar la cata, los jueces se enfocaron en qué tal se sentía la masa al masticarla (su esponjosidad, suavidad y humedad en boca). Como ocurrió en todos los parámetros anteriores, la Tabla 22 y la Ilustración 20 nos ratifican que los catadores evaluaron la textura bajo un mismo estándar de calidad, coincidiendo estadísticamente en sus valoraciones generales y agrupándose en una única categoría.

Tabla 22: Comparación de medias de los catadores para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Catador	Medias	n	E.E.	
25	4,00	4	0,32	A
19	4,00	4	0,32	A
13	4,00	4	0,32	A

22	3,75	4	0,32	A
10	3,75	4	0,32	A
29	3,75	4	0,32	A
23	3,75	4	0,32	A
24	3,75	4	0,32	A
16	3,50	4	0,32	A
28	3,50	4	0,32	A
1	3,50	4	0,32	A
6	3,50	4	0,32	A
17	3,25	4	0,32	A
27	3,25	4	0,32	A
9	3,25	4	0,32	A
7	3,25	4	0,32	A
3	3,25	4	0,32	A
5	3,25	4	0,32	A
14	3,25	4	0,32	A
30	3,25	4	0,32	A
4	3,00	4	0,32	A
26	3,00	4	0,32	A
2	3,00	4	0,32	A
18	3,00	4	0,32	A
20	3,00	4	0,32	A
11	2,75	4	0,32	A
21	2,75	4	0,32	A
8	2,75	4	0,32	A
15	2,50	4	0,32	A
12	2,50	4	0,32	A

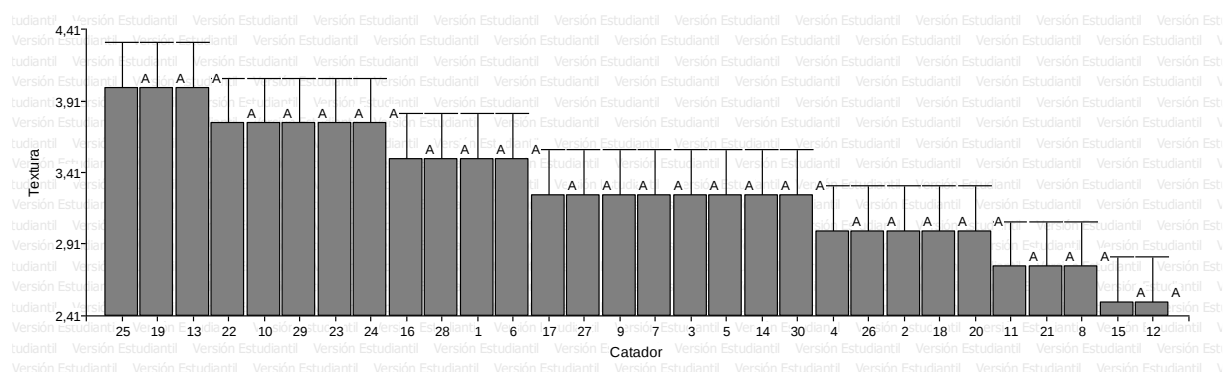


Ilustración 20: Comparación de medias de los catadores para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Al dar su veredicto sobre las masas, el panel volvió a darle su voto de confianza al Tratamiento 4 (T4), regalándole una nota casi perfecta de 4,63, como se expone en la Tabla 23 y la Ilustración 21. Las otras recetas simplemente no lograron brindar la misma sensación reconfortante al paladar, llevándose puntajes mucho menores y estadísticamente inferiores (3,17, 3,13 y 2,27).

Tabla 23: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	4,63	30	0,12	A
T1	3,17	30	0,12	B
T3	3,13	30	0,12	B
T2	2,27	30	0,12	C

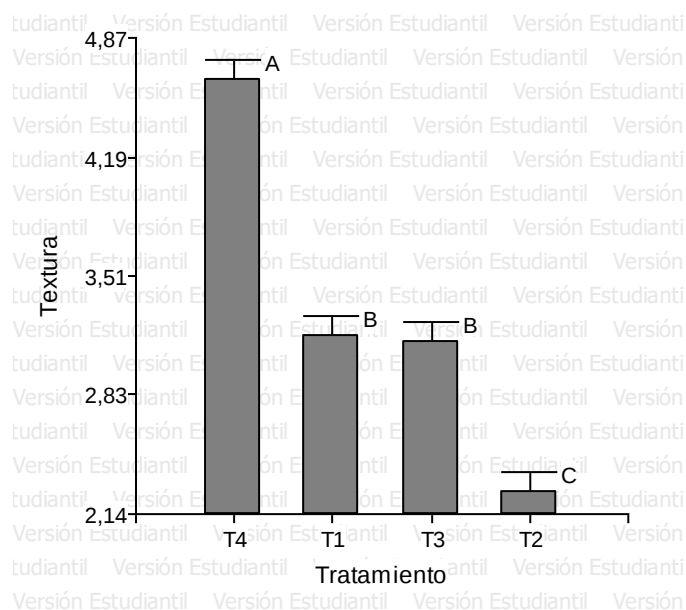


Ilustración 21: Comparación de medias de los tratamientos para el atributo textura de los cakes con 150 g de avena, 200 g de avena y 10 g de proteína añadida, 15 g de proteína añadida

8. Discusiones

8.1. pH

Al medir el pH de los diferentes tratamientos, encontramos que los valores oscilaron entre 7,33 y 8,77, ubicando al producto en un rango de neutro a ligeramente alcalino. En la práctica, este comportamiento es totalmente previsible en productos de panificación que utilizan polvo de hornear (agentes leudantes químicos), ya que, al liberar dióxido de carbono, estos ingredientes dejan residuos salinos que naturalmente tienden a elevar el pH de la masa.

Sin embargo, el hallazgo más significativo a nivel estadístico ($p < 0,0001$) fue el marcado descenso del pH que ocurrió al incrementar la dosis de proteína de 10 g a 15 g. Desde la química de alimentos, este fenómeno se explica por la capacidad amortiguadora (o

efecto buffer) propia de las proteínas. Básicamente, los aminoácidos que las componen tienen grupos funcionales (unos básicos y otros ácidos) que interactúan directamente con la humedad de la masa.

Al aumentar la concentración de proteína, logramos que el sistema tuviera una mayor capacidad para neutralizar de forma parcial la alcalinidad provocada por el agente leudante. Además, este comportamiento evidenció una compleja interacción con los ácidos orgánicos naturales aportados por el puré de banano. En conclusión, esto nos confirma que la incorporación de esta carga proteica no solo cumple un objetivo estrictamente nutricional, sino que actúa de manera activa como un regulador fisicoquímico, estabilizando el pH del pastel hacia niveles mucho más cercanos a la neutralidad durante todo el proceso de batido y horneado.

8.2. Humedad y actividad de agua

Al realizar el análisis estadístico, observamos una notable estabilidad en la capacidad de retención de agua de las muestras. De hecho, al variar las proporciones de avena y proteína, no encontramos diferencias significativas ni en el porcentaje de humedad (que se mantuvo en un promedio de 42,58 %) ni en la actividad de agua (0,95).

Si consideramos que, en la repostería tradicional, el azúcar (sacarosa) y las grasas saturadas son los principales encargados de retener la humedad y darle suavidad a la miga (Paredes & Gómez, 2022), lograr una humedad superior al 42 % en un pastel sin azúcares añadidos y con un bajo perfil lipídico representa un verdadero éxito tecnológico. En la práctica, este resultado nos permite validar la excelente sinergia que alcanzamos al utilizar nuestros ingredientes sustitutos.

Este comportamiento respalda lo expuesto por autores como (Torres & Méndez, 2022) y (Ramírez & López, 2022), quienes destacan que el puré de banano funciona como un humectante natural sumamente eficiente. Lo que ocurre en la masa es que las pectinas y las fibras dietéticas del banano maduro actúan como hidrocoloides naturales; es decir, se encargan de atrapar las moléculas de agua libre e incrementan la viscosidad de la mezcla, compensando a la perfección la ausencia de grasas.

Por su parte, la avena cumplió un rol estructural que resultó irremplazable, un aspecto que también subraya (Castillo, 2023). Gracias a su gran aporte de betaglucanos (fibra soluble), la harina de avena nos brindó una capacidad excepcional para absorber humedad. Al

final, esta doble red de hidrocoloides (formada por las pectinas del banano y los betaglucanos de la avena) logró inmovilizar el agua dentro de la matriz del pastel. Esto nos garantizó mantener una actividad de agua alta y constante, logrando una textura húmeda y cohesiva que evitará que el producto se reseque de forma prematura durante su tiempo de almacenamiento,

8.3. Proteína y fibra

Al evaluar los macronutrientes críticos, pudimos confirmar la viabilidad de nuestro diseño como un verdadero alimento funcional, alineándonos a la perfección con las exigencias de lo que (González, 2023) describe como la "nueva pastelería". Como era de esperarse, la formulación en la que incorporamos la mayor dosis de proteína (15 g) alcanzó un valor significativamente superior en este macronutriente (9,41 %).

De acuerdo con (Morales & Ortega, 2021), el enriquecimiento proteico trasciende la simple mejora del perfil nutricional para ofrecer ventajas tecnológicas significativas. Los resultados obtenidos en el texturómetro demostraron una mayor firmeza en las masas elaboradas con 15 g de proteína, lo que sugiere que este aporte adicional cumplió una función estructural clave. Específicamente, la proteína actuó como un estabilizador que compensó la ausencia de la red de gluten característica del trigo tradicional. Gracias a este efecto, fue posible preservar la integridad de la miga y asegurar la retención de humedad, dando como resultado un cake estable y perfectamente cohesionado.

Por otro lado, el análisis de fibra dietética evidenció que las formulaciones preparadas con 200 g de avena lograron maximizar este componente, alcanzando niveles de hasta un 3,84 %. Este incremento respalda de forma directa las investigaciones de (Quintana y otros, 2022) y (García y otros, 2023), quienes sostienen que sustituir las harinas refinadas por fuentes alternas como la avena y el banano aumenta sustancialmente el valor funcional del producto.

Al evaluar los resultados del análisis proximal, el contenido de fibra alcanzado se ajusta a los parámetros que (Paredes F. , 2022) asocia con los alimentos de bajo impacto glucémico. Si bien el alcance de esta investigación no incluyó ensayos fisiológicos en vivo para corroborar clínicamente este efecto, la composición final obtenida es lo suficientemente sólida. Desde un enfoque tecnológico, estos datos permiten categorizar al producto como un claro exponente de la nueva panadería funcional, diseñada específicamente para ofrecer perfiles nutricionales optimizados.

8.4. Grasa, carbohidratos y cenizas

El análisis proximal arrojó resultados que demuestran una mejora sustancial en el perfil calórico de nuestro producto. Observamos que el contenido de grasa disminuyó de manera significativa al elevar la proporción de avena a 200 g, cayendo a un promedio de 10,29 %. En la práctica, esto ratifica que la matriz compleja formada por la avena y el banano nos permite reducir en gran medida la dependencia de las materias grasas convencionales. Gracias a sus propiedades reológicas, el puré de banano logró emular a la perfección esa sensación de lubricidad y palatabilidad (la agradable sensación en boca) que tradicionalmente aportan las grasas saturadas, dando como resultado un producto mucho más ligero, pero igualmente satisfactorio a nivel sensorial.

En cuanto al contenido de carbohidratos, determinado mediante el método de diferencia, notamos una disminución lógica a medida que incrementamos la fracción de proteína. Sin embargo, resulta imperativo destacar que los carbohidratos presentes en la formulación provienen exclusivamente de fuentes complejas (como los almidones de la avena) y de los azúcares intrínsecos que se generan de forma natural por la hidrólisis del banano durante su maduración (Sánchez, 2023).

Por otro lado, al evaluar el nivel de cenizas (parámetro que nos permite cuantificar el contenido mineral del alimento), registramos valores que fluctuaron entre un 1,43 % y un 1,88 %. Estos porcentajes, que son notablemente superiores a los de un pastel elaborado con harina de trigo refinada, nos permiten confirmar lo expuesto por (Carrillo y otros, 2023). De este modo, comprobamos que el uso de harinas alternativas e integrales no solo diversifica, sino que incrementa de manera significativa el aporte de micronutrientes en la receta, destacando muy especialmente la retención de minerales esenciales como el potasio, aportado de forma directa por el banano.

8.5. Color

El análisis colorimétrico nos reveló una marcada dependencia entre los ingredientes funcionales utilizados y las reacciones fisicoquímicas que tienen lugar durante el horneado. En la repostería clásica, el característico color pardo dorado de la corteza es el resultado directo de la caramelización de la sacarosa y de la reacción de Maillard (es decir, la interacción entre azúcares reductores y aminoácidos). Sin embargo, tal como lo señalan (Fernández & Cevallos, 2023), cuando desarrollamos formulaciones sin azúcares añadidos, la

cinética de esta reacción disminuye de manera drástica, lo cual compromete inevitablemente tanto el desarrollo del color como el perfil aromático.

Los resultados instrumentales que obtuvimos confirmaron esta teoría a la perfección. Observamos que las formulaciones en las que utilizamos la dosis más alta de proteína (15 g) generaron masas significativamente más claras y luminosas (alcanzando un valor L^* de 50,30). Esto contrastó fuertemente con el tratamiento que llevaba menor cantidad de proteína y avena, el cual exhibió los valores más altos en las coordenadas a^* (marcando una tendencia hacia el rojo/pardo) y b^* (con tendencia al amarillo).

Desde un punto de vista técnico, (Fernández & Cevallos, 2023) explican que este fenómeno obedece a la ausencia de sacarosa añadida, lo que deja a los azúcares intrínsecos del puré de banano como únicos agentes reductores en la matriz. Además, al aumentar el contenido proteico, la alta capacidad de estas macromoléculas para retener agua restringe el desarrollo óptimo de la reacción de Maillard en la corteza. Esto se reflejó directamente en las lecturas del colorímetro, donde el cake enriquecido presentó una mayor luminosidad (un valor L^* más alto), luciendo visualmente más pálido. Aunque el pardeamiento suele ser un desafío recurrente en la repostería funcional, los resultados del panel de 30 jueces ratificaron que esta particularidad estética no mermó en absoluto la aceptación general del producto.

8.6. Textura

La textura representa uno de los atributos reológicos más críticos al momento de eliminar la sacarosa de la formulación, dado que, en la repostería tradicional, el azúcar actúa como un agente ablandador clave y es fundamental para proporcionar volumen. Los resultados arrojados por el texturómetro demostraron de manera objetiva que la incorporación de la dosis más alta de proteína (15 g) generó una estructura significativamente más firme y densa, alcanzando un valor de compresión de 1,20, en marcado contraste con el 0,97 registrado en las muestras elaboradas con solo 10 g.

Este incremento en la firmeza concuerda plenamente con lo descrito por (Morales & Ortega, 2021) respecto al comportamiento termodinámico de las proteínas. Durante el horneado, al hidratarse y desnaturalizarse, la proteína añadida forma una red altamente cohesionada. A este fenómeno estructural se suma la ausencia de sacarosa, un ingrediente que en la repostería tradicional actúa como el principal agente ablandador. Como resultado de esta combinación, la matriz alimentaria registró una mayor resistencia a la compresión en el

texturómetro. En consecuencia, el cake presentó una miga más densa en comparación con un bizcocho de harina refinada; sin embargo, esta es una característica tecnológicamente previsible y bien documentada cuando se formulan productos con un alto aporte de fibra dietética y proteínas (Carrillo y otros, 2023).

8.7. Prueba hedónica

La aplicación de la prueba hedónica a un panel compuesto por 30 jueces no entrenados representó la etapa de validación final de nuestro producto frente al consumidor. De manera concluyente, los resultados permitieron consolidar al Tratamiento 4 (elaborado con 200 g de avena y 15 g de proteína) como la formulación ampliamente superior, logrando obtener las calificaciones más altas en los atributos de Aroma (4,67), Sabor (4,60) y Textura (4,63).

Estos excepcionales resultados sensoriales nos permiten validar la premisa planteada por (Jiménez & González, 2022), demostrando que en la práctica es completamente factible desarrollar versiones saludables de productos horneados manteniendo un altísimo nivel de palatabilidad. El rotundo éxito en la evaluación del sabor evidenció que la gran sinergia entre el dulzor intrínseco del banano maduro y el uso de edulcorantes naturales no calóricos (stevia) logró enmascarar por completo cualquier nota astringente proveniente de la proteína o de la avena. De este modo, logramos proporcionar un perfil dulce, armonioso y natural, eliminando ese clásico regusto amargo que a menudo suele caracterizar a los postres dietéticos convencionales (Pérez y otros, 2023).

Resulta de especial interés analizar el evidente contraste que se presentó entre los resultados del análisis instrumental y la percepción sensorial en cuanto a la textura. Como vimos previamente, aunque el texturómetro clasificó de forma objetiva al Tratamiento 4 como la formulación más firme y densa, los consumidores terminaron otorgándole la puntuación máxima de agrado en boca. Esto nos demuestra que la alta retención de humedad (aportada en conjunto por la fibra de la avena y el puré de banano) generó una excelente sensación de jugosidad y lubricación durante la masticación, lo cual logró contrarrestar con gran eficacia la densidad física real de la miga.

Finalmente, al evaluar el atributo visual de Apariencia y Color, el Tratamiento 3 (formulado con la dosis menor de proteína) fue el que obtuvo el mayor nivel de preferencia, alcanzando un promedio de 4,00 puntos. Este resultado se correlaciona a la perfección con los datos previos del colorímetro, ya que precisamente este tratamiento fue el que logró un mayor

pardeamiento en el horno (registrando los valores a^* y b^* más altos), acercándose mucho más a la estética dorada tradicional que el consumidor espera visualizar.

En síntesis, la evaluación integral de todos estos resultados demuestra el cumplimiento absoluto de la hipótesis que planteamos al inicio. La sustitución inteligente de harinas refinadas y azúcares por ingredientes como la avena, el banano y las proteínas funcionales no solo nos permitió optimizar de forma drástica el perfil nutricional del producto, sino que logró impulsar una experiencia organoléptica verdaderamente superior. Este desarrollo tecnológico logra materializar el concepto de "alimentación consciente" y bienestar metabólico que describen (Santiago y otros, 2024), demostrando de manera fehaciente que el cuidado de la salud y el placer sensorial pueden coexistir de forma exitosa dentro de la industria alimentaria ecuatoriana.

9. Conclusiones

En conclusión, los resultados obtenidos en la formulación del cake de banano y avena demostraron la viabilidad tecnológica de prescindir de harinas refinadas y azúcares añadidos, logrando un producto con excelentes características fisicoquímicas y sensoriales. Tras la evaluación del panel hedónico conformado por 30 jueces, el Tratamiento 4 (T4) —elaborado con 200 g de harina de avena y 15 g de proteína— se posicionó de manera concluyente como la formulación óptima. Este tratamiento superó al resto de las alternativas del diseño experimental, alcanzando los niveles máximos de aceptación con puntuaciones sobresalientes en aroma (4,67), sabor (4,60) y textura (4,63).

Los resultados del análisis fisicoquímico revelaron un comportamiento interesante en la matriz alimentaria: la adición de proteína tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) sobre el pH de la masa. Específicamente, las formulaciones enriquecidas con 15 g de proteína funcionaron como un sistema amortiguador, logrando mitigar la alcalinidad producida por los agentes leudantes y estabilizando el pH entre 7,33 y 7,63. Por otro lado, la capacidad de retención de agua se mantuvo constante, sin presentar diferencias significativas entre los tratamientos. Al promediar un 42,58 % de humedad y una actividad de agua de 0,95, quedó validada la eficacia de los hidrocoloides presentes en el banano y la avena. Estos componentes actuaron como excelentes agentes humectantes, capaces de suplir estructuralmente la función que habitualmente desempeña la sacarosa.

Los resultados del análisis proximal confirmaron que la interacción entre las proporciones evaluadas (Factores A y B) tuvo un impacto directo y cuantificable en la composición final del producto. Específicamente, el Tratamiento 4 (T4) logró el perfil más eficiente: permitió maximizar el aporte de proteína, alcanzando un 9,45 %, y al mismo tiempo logró reducir el porcentaje de grasa a un 10,41 % frente a las formulaciones que contenían una menor cantidad de avena. Esto demuestra que la combinación exacta de estos factores optimiza significativamente el valor nutricional del cake.

A través de la evaluación instrumental, se determinó que la ausencia de azúcares reductores añadidos y el incremento en el aporte proteico alteraron la cinética térmica durante el horneado. Físicamente, esto se tradujo en cortezas visualmente más luminosas (debido a un menor pardeamiento) y en una miga que presentó mayor resistencia a la compresión. Sin embargo, lo más destacable de esta investigación fue que, de acuerdo con los resultados del panel hedónico de 30 jueces, estas modificaciones estructurales y visuales no penalizaron en absoluto la experiencia sensorial, logrando una excelente percepción por parte del consumidor.

10. Recomendaciones

- Tomando en cuenta que la sustitución total de la sacarosa y el incremento en la concentración de proteína funcional (particularmente en el Tratamiento 4) modificaron la cinética de la reacción de Maillard (dando como resultado una miga más clara y con un menor pardeamiento superficial), resulta pertinente plantear nuevas líneas de estudio. Para futuras investigaciones, se recomienda evaluar la adición de otros ingredientes de origen natural que tengan la capacidad de actuar como azúcares reductores, siempre bajo la condición estricta de no elevar el índice glucémico del producto. En este sentido, se sugiere ensayar con la incorporación de pequeñas proporciones de jarabes vegetales funcionales o melazas derivadas de leguminosas. De manera complementaria, resultaría de gran valor extender el estudio hacia la optimización técnica de las curvas de temperatura y tiempo durante las etapas iniciales del horneado. El objetivo técnico de estas modificaciones será favorecer el desarrollo de ese característico color pardo dorado en la corteza, logrando así que el aspecto visual del pastel funcional se acerque mucho más a la expectativa estética tradicional que demanda el consumidor.

- Considerando que las formulaciones evaluadas mantuvieron un porcentaje de humedad bastante elevado (con un promedio del 42,58 %) y una actividad de agua considerable (0,95), es un hecho que esta matriz alimentaria presenta una alta susceptibilidad al deterioro microbiológico y fisicoquímico a mediano plazo. Por lo tanto, como un siguiente paso en la investigación, resulta altamente recomendable diseñar y ejecutar un estudio riguroso de vida útil en percha. Este futuro análisis deberá enfocarse en evaluar a detalle el comportamiento y la posible proliferación de mohos, levaduras y bacterias aerobias mesófilas bajo diferentes condiciones de almacenamiento. Asimismo, para asegurar la viabilidad comercial del producto, es muy aconsejable estudiar el comportamiento de este cake funcional utilizando diversos materiales de empaque que ofrezcan propiedades de barrera de alta eficiencia. De manera complementaria, la incorporación de tecnologías de conservación modernas, como el envasado en atmósferas modificadas, podría ser la clave para prolongar su frescura y garantizar su total estabilidad en el mercado.
- Con el objetivo de profundizar aún más en el carácter funcional del producto, sugerimos que en futuras investigaciones se realice un análisis cromatográfico completo. Esta prueba nos permitirá determinar con exactitud el perfil de aminoácidos del pastel ya horneado, logrando cuantificar así el verdadero valor biológico que alcanzamos gracias a la excelente complementación proteica entre la harina de avena y la proteína en polvo que añadimos a la formulación. Adicionalmente, y con miras a validar de forma definitiva sus propiedades metabólicas beneficiosas, resulta altamente recomendable llevar a cabo ensayos clínicos in vivo. Estos estudios nos permitirán medir con total precisión el índice glucémico (IG) y la respuesta insulinémica directamente en grupos reales de consumidores. Cumplir con esta rigurosa fase de investigación será el paso definitivo para consolidar científicamente la viabilidad de este desarrollo tecnológico como un alimento seguro y completamente apto para personas que requieren regímenes dietéticos especiales.
- Habiendo determinado de manera concluyente que el Tratamiento 4 (T4) ofrece el mayor nivel de aceptabilidad sensorial en atributos tan importantes como el aroma, el sabor y la textura en boca, el siguiente paso lógico y altamente recomendable es trasladar esta fórmula ya estandarizada en el laboratorio hacia ensayos a nivel de planta piloto. Resulta fundamental llevar a cabo este proceso de escalamiento, ya que nos permitirá calibrar con precisión las variables operacionales críticas utilizando equipos de mayor capacidad. En la práctica, esto implica ajustar factores

determinantes como las velocidades y los tiempos de mezclado en batidoras industriales, así como optimizar la distribución del calor y las tasas de transferencia de masa dentro de hornos de convección a escala industrial. Cumplir con esta etapa de validación técnica será la clave para garantizar que la porosidad de la miga, la excelente retención de humedad y todos los atributos organolépticos que ya validamos con éxito en esta investigación se mantengan completamente intactos y sean reproducibles al momento de fabricar el producto en grandes volúmenes.

11. Referencias bibliográficas

Bibliografía

- AACC International. (2000). *Approved Method 74-09.01. Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine*. AACC.
- AOAC International. (2005). *Official Method 920.87. Protein (Total) in Flour*. AOAC.
- AOAC International. (2005). *Official Method 925.10. Solids (Total) and Moisture in Flour*. AOAC.
- AOAC International. (2005). *Official Method 943.02. pH of Baked Products*. AOAC.
- AOAC International. (2005). *Official Method 991.43. Total, Soluble, and Insoluble Dietary Fiber in Foods*. AOAC.
- Carrillo, D., Santos, P., & Vélez, C. (2023). Efecto de harinas alternativas en productos horneados. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 15(1), 44-59.
- Castillo, M. (2023). La avena (*Avena sativa*) como agente estructurante en masas libres de gluten: Retención hídrica y reología. *Revista Iberoamericana de Cereales*, 16(2), 112-125.
- Fernández, L., & Cevallos, R. (2023). Reacciones químicas en la panificación sin azúcar: Análisis sensorial y colorimétrico. *Revista Tecnología Alimentaria Andina*, 6(4), 91-103.
- García, P., Mendoza, V., & Andrade, E. (2023). García, P.; Mendoza, V.; Andrade, E. *Nutrivida*, 18(3), 33-49.
- González, A. (2023). La nueva pastelería: Equilibrio entre funcionalidad tecnológica y perfil nutricional en productos horneados. *Tendencias en Panificación y Repostería*, 5(1), 12-28.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 1334-2. Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 2: Rotulado nutricional*. INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 2369:2011. Alimentos. Determinación del color*. INEN.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). *NTE INEN 0361:2012. Determinación de grasa*. INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 0382:2013. Determinación de cenizas*. INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2020). *NTE INEN-ISO 21807:2020. Microbiología de alimentos y productos para alimentación animal - Determinación de la actividad de agua*. INEN.
- Jiménez, R., & González, F. (2022). Tendencias de reformulación en repostería saludable. *Innovación Alimentaria*, 14(2), 65-80.
- Jiménez, R., Ochoa, D., & Lozano, J. (2024). Evaluación del uso de edulcorantes naturales en productos de repostería artesanal. *Revista de Investigación en Ciencia de Alimentos*, 5(1), 24-39.
- López, A. (2024). Sustitución de ingredientes críticos: El rol de las proteínas vegetales y edulcorantes no calóricos en la panificación funcional. *Revista de Innovación Nutricional*, 11(2), 45-58.
- Martínez, C., & Ochoa, L. (2023). Efectos metabólicos de la fibra dietética: Reducción del impacto glucémico y control de la saciedad. *Avances en Nutrición y Metabolismo*, 9(4), 112-126.
- Morales, L., & Ortega, A. (2021). Propiedades funcionales de proteínas aplicadas en la panificación moderna. *Revista Científica de Tecnología Alimentaria*, 9(1), 12-29.
- OMS. (2023). Obtenido de Guía sobre reducción de azúcares libres en la dieta:
<https://www.who.int/publications>
- OPS. (2023). Obtenido de Recomendaciones de ingesta de azúcares libres para América Latina: <https://www.paho.org/es>
- Ortega, V., & Molina, P. (2022). Impacto del horneado en la calidad sensorial de productos con bajo contenido de azúcar. *Revista Ecuatoriana de Ciencia de Alimentos*, 12(3), 77-89.
- Paredes, A., & Gómez, J. (2022). Propiedades tecnológicas de los edulcorantes naturales en la repostería. *Ciencia y Desarrollo Alimentario*, 11(1), 20-35.

- Paredes, F. (2022). Beneficios metabólicos de los betaglucanos de avena: Reducción del índice glucémico en productos horneados funcionales. *Nutrición Clínica y Alimentación Funcional*, 7(3), 22-38.
- Pérez, J., & Sanz, M. (2021). Fisicoquímica de las masas batidas: Emulsiones y gelatinización del almidón en la panificación. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 12(3), 45-60.
- Pérez, S., Ramírez, T., & León, D. (2023). Comparación de la dulzura y textura en bizcochos con diferentes edulcorantes naturales. *Ciencia y Tecnología Culinaria*, 10(2), 48-61.
- Quintana, E., Bravo, M., & Llor, G. (2022). Impacto de la sustitución parcial de harina en la calidad sensorial de cakes funcionales. *Revista Investigación Alimentaria*, 9(3), 98-110.
- Ramírez, C., & López, H. (2022). Propiedades reológicas de los hidrocoloides del banano: Pectinas y su impacto en la retención de humedad en masas libres de grasa. *Ciencia y Desarrollo Culinario*, 8(1), 55-70.
- Rojas, P., & Martínez, G. (2023). Fibra dietética: importancia nutricional y tecnológica en la industria de alimentos. *Revista Latinoamericana de Nutrición Funcional*, 13(2), 44-59.
- Sánchez, R. (2023). Efecto de la maduración en el perfil de carbohidratos del banano (*Musa paradisiaca*) y su aplicación como edulcorante natural. *Boletín de Investigación Agroalimentaria*, 14(4), 34-49.
- Santiago, L., Méndez, F., & Cuenca, P. (2024). Relación entre alimentación funcional y bienestar metabólico. *Revista Ciencia y Salud*, 17(1), 60-72.
- Santiago, L., Méndez, F., & Cuenca, P. (2024). Relación entre alimentación funcional y bienestar metabólico. *Revista Ciencia y Salud*, 17(1), 60-72.
- Torres, A. (2021). Alimentos funcionales y salud pública en el siglo XXI. *Revista Nutrición Integral*, 5(1), 13-26.
- Torres, D., & Méndez, L. (2022). Sustitutos naturales en panificación: Uso de purés de frutas y cereales integrales para el etiquetado limpio. *Ingeniería y Procesos Alimentarios*, 9(2), 88-104.

Vallejo, N., Pérez, H., & Zambrano, D. (2023). Innovaciones en alimentos funcionales para la salud metabólica. *Ciencia Alimentaria Contemporánea*, 8(2), 112-127.

Anexos

