

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DEL PERFIL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CONVOCATORIA 2024

- Nombre del proyecto de investigación:** Análisis multimodal y aprendizaje automático aplicados en la evaluación reológica de galletas sin gluten, enriquecidas con chocho (*Lupinus mutabilis*), amaranto (*Amaranthus spp.*) y nanopartículas de carbonato de calcio.

- Tipo de proyecto:**

☐

Proyecto de Investigación Básica

☒

Proyecto de Investigación y Desarrollo (I+D)

☐

Proyecto de Investigación y Desarrollo (I+D+I)

- Grupos de investigación**

- Ciencia, Tecnología y Gestión en el Procesamiento de Alimentos (CITEGPA)
- FoodOhmicGroup (grupo externo)

- Líneas de investigación y campos del conocimiento**

Línea 1	Tecnología, biotecnología, calidad e inocuidad en el procesamiento de alimentos
Sublínea 1	Calidad, inocuidad y gestión en el proceso de diseño, desarrollo e innovación de alimentos.

Línea 2	Agroecología
Sublínea 2	Producción animal y vegetal.

- Especialidad del campo**

Campo Amplio	Ingeniería, industria y construcción
--------------	--------------------------------------

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

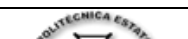
Campo Específico	Industria y producción
Campo Detallado	Procesamiento de alimentos

6. Eje y sub-eje de la propuesta

Eje	Reactivación económica sostenible de la Zona I
Sub-eje	Economía circular en la actividad agrícola, ganadera y agroindustrial

7. Director del proyecto, integrantes internos y/o externos (coautores, o colaboradores), todos son participantes en la investigación

Nombre del integrante	Rol en el proyecto	Institución	Actividades a cargo del investigador	Tiempo en el que participará en el proyecto	Productos que generará el participante	Correo electrónico	Teléfono
Marco Rubén Burbano Pulles	Director	UPEC	Dirección de actividades. Administración de recursos. Caracterización reológica de las matrices.	01/03/2024 – 28/02/2027	Informe final del proyecto Informe y data de características reológicas de las matrices evaluadas	marco.burbano@upec.edu.ec	098 533 206 7
Maldonado Alvarado Pedro Gustavo	Coautor externo	EPN	Diseño de formulaciones de masas Procesamiento de galletas Caracterización farinográfica de las matrices	01/03/2024 – 28/02/2027	Harinas con base en los tratamientos formulados Productos elaborados a partir de las formulaciones	pedro.maldonado@epn.edu.ec	099 879 891 1

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

					desarrolladas Informe y data de características farinográficas y funcionales de las matrices evaluadas		
Santiago Alexander Rojas Porras	Coautor	UPEC	Procesamiento estadístico de la información recolectada	01/03/2024 – 28/02/2027 (8 horas semanales)	Limpieza de la data Exploración y análisis de la data Diseño y entrenamiento del modelo de aprendizaje automático Evaluación del modelo	santiago.rojas@upec.edu.ec	099 802 172 3

8. Fecha de entrega del perfil: 21 de noviembre de 2023

9. Fecha planificada de finalización del proyecto: 28/02/2027

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

10. Introducción

Los productos andinos como pseudocereales y leguminosas son un grupo de plantas alimenticias cultivadas en los Andes de América del Sur, como la quinua, el amaranto, el chocho y la cañahua. Aunque no pertenecen a la familia de las gramíneas como los cereales, comparten similitudes en su uso (Mir et al., 2018). Estos cultivos son fundamentales para la economía circular por diversas razones. En primer lugar, su adaptabilidad y resistencia a condiciones climáticas extremas y suelos poco fértiles los convierten en una opción valiosa para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria. Su capacidad para prosperar en áreas donde otros cultivos podrían tener dificultades los hace esenciales en términos de diversidad y adaptación agrícola. Además, son altamente nutritivos, siendo ricos en proteínas de alta calidad, minerales como el hierro y el calcio, así como en vitaminas y antioxidantes. Esta riqueza nutricional los hace importantes para comunidades con dietas limitadas y para aquellos que buscan alimentos más saludables. (Graziano et al., 2022)

De acuerdo con Nhamo y Talabi (2023), estos cultivos también son sostenibles, ya que requieren menos agua y pueden crecer en suelos menos fértiles, reduciendo así la presión sobre los recursos naturales. Esto los convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente y en línea con las preocupaciones actuales sobre la sostenibilidad agrícola.

Para Cancino-Espinoza et al. (2018), en los últimos años, los productos andinos han ganado popularidad debido a la creciente demanda de alimentos nutritivos y saludables a nivel global. Su percepción como superalimentos, junto con la tendencia hacia dietas alternativas como el veganismo, ha aumentado su presencia en los mercados internacionales. Además, la conciencia ambiental creciente ha impulsado su preferencia, ya que se consideran cultivos respetuosos con el medio ambiente.

En la industria de la panificación, estos productos se han utilizado en la

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

formulación de panes, tortillas y productos similares, ya sea como harina o como un ingrediente complementario. La harina de quinua, por ejemplo, se ha incorporado en la elaboración de panes sin gluten o se ha mezclado con harinas convencionales para aumentar el valor nutricional del producto final. Además, aportan textura y sabor característicos, lo que puede resultar en productos finales más variados y atractivos para los consumidores. (Graziano et al., 2022)

En la producción de galletas, los pseudocereales y leguminosas andinos han sido utilizados de diversas maneras. La harina de amaranto o quinua puede sustituir parcial o totalmente a la harina de trigo en la elaboración de galletas, lo que no solo agrega nutrientes sino también diversifica el sabor y la textura de estos productos horneados. De acuerdo con Schoenlechner (2016), las galletas que contienen pseudocereales suelen comercializarse como opciones más saludables, libres de gluten o con un perfil nutricional mejorado, lo que las hace atractivas para un segmento creciente de consumidores preocupados por la alimentación saludable.

Según Angeli et al. (2020), la adición de productos andinos en la industria de la panificación y las galletas ha permitido a los fabricantes diversificar sus ofertas, atendiendo la demanda de productos más saludables y nutritivos por parte de los consumidores. Además, su introducción ha abierto oportunidades para la innovación en la formulación de productos alimenticios, adaptándose a las necesidades dietéticas y preferencias cambiantes de los clientes.

El análisis multimodal y el aprendizaje automático se destacan como herramientas innovadoras y prometedoras dentro de la industria alimentaria debido a su capacidad para procesar grandes cantidades de datos y extraer información significativa para mejorar la calidad de los productos (Zhu et al., 2021). En el contexto del proyecto, estas técnicas se presentan como elementos clave para comprender las propiedades reológicas de las galletas sin gluten enriquecidas. El análisis multimodal abarca la integración de múltiples técnicas

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

de medición y análisis que permiten capturar una diversidad de información sobre las muestras (Poria et al., 2017). Esto posibilita obtener datos detallados sobre las interacciones entre los ingredientes, la estructura molecular y las propiedades reológicas de las galletas. Por otro lado, el aprendizaje automático, una rama de la inteligencia artificial, ofrece la capacidad de desarrollar modelos predictivos a partir de conjuntos complejos de datos (Gupta et al., 2021). En este proyecto específico, el aprendizaje automático se emplea para correlacionar las características de las formulaciones con las propiedades reológicas de las galletas, lo que brinda una comprensión más profunda de cómo los ingredientes y procesos impactan en dichas propiedades.

11. El problema

La industria de alimentos horneados busca innovar para satisfacer las cambiantes demandas nutricionales y funcionales de los consumidores. Las galletas sin gluten han ganado atención y poseen gran potencial para innovar mediante cambios en ingredientes y la adición de elementos bioactivos (Fiallos et al., 2022). La intolerancia al gluten es común, impulsando la necesidad de galletas libres de gluten para ampliar su mercado. El uso de ingredientes puede mejorar el valor nutricional de las galletas, añadiendo proteínas, fibra, minerales y compuestos bioactivos (Sammán et al., 2023). Además, la introducción de nanopartículas inorgánicas como el carbonato de calcio puede mejorar la disponibilidad de minerales, presentando una interesante oportunidad para los horneados (Mohammed et al., 2022). Sin embargo, estas modificaciones en la fórmula pueden afectar el comportamiento de la masa y, por ende, la calidad final del producto (Korus et al., 2020).

Investigaciones actuales buscan comprender cómo la sustitución de ingredientes y la inclusión de nanopartículas afectan los alimentos (Giaconia et al., 2020). Estos cambios pueden generar alteraciones físico-químicas y sensoriales, donde la reología está directamente relacionada con la calidad (Mironeasa et al., 2019). Mediante análisis micrométricos, de textura, pruebas funcionales y de viscoelasticidad, se puede caracterizar el comportamiento de diferentes masas. Los

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

resultados podrían facilitar la transición del proceso de laboratorio a escala industrial. El conocimiento generado sobre los nuevos ingredientes y su impacto en las propiedades fundamentales de los horneados sería un avance en la industria de alimentos en la búsqueda de alternativas sostenibles y viables. El uso combinado del análisis multimodal y el aprendizaje automático en este contexto ofrece un camino prometedor hacia la comprensión integral de los procesos de formulación y su impacto en la calidad de los productos horneados. La integración de técnicas avanzadas de medición con algoritmos de aprendizaje automático proporciona una oportunidad única para analizar datos complejos y modelar relaciones multifacéticas (L'Heureux et al., 2017), entre ingredientes, propiedades reológicas y características finales de las galletas sin gluten. Esta metodología podría allanar el camino hacia el desarrollo de nuevas formulaciones, optimizadas en términos de calidad, sostenibilidad y respuesta a las necesidades del mercado actual.

12. Objetivos

Objetivo general

Caracterizar propiedades reológicas de galletas libres de gluten, enriquecidas con chocho (*Lupinus mutabilis*), amaranto (*Amaranthus spp.*) y nanopartículas de carbonato de calcio, utilizando análisis multimodal y aprendizaje automático

Objetivos específicos

1. Establecer las características fisicoquímicas, funcionales y microbiológicas de las harinas a ser empleadas en las formulaciones.
2. Valorar las características reológicas, fisicoquímicas y funcionales de las masas y las galletas obtenidas a partir de los tratamientos establecidos.
3. Relacionar las características de las formulaciones con las propiedades reológicas de las galletas sin gluten por medio de

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

modelos de aprendizaje automático

4. Validar los modelos de aprendizaje automático por medio de técnicas de validación cruzada y comparación.

13. Justificación y alcance territorial

Actualmente el 25% de las personas consumen alimentos sin gluten, no solamente los celíacos, sino también los sensibles al gluten y otro segmento de población que los consume como un estilo de vida (Molina-Rosell, 2013). La intolerancia al gluten, que incluye la enfermedad celíaca y la sensibilidad al gluten no celíaca, afecta aproximadamente al 1% de la población mundial (Jiménez et al., 2016), lo cual ha generado una creciente demanda de productos libres de gluten. Sin embargo, la exclusión del gluten en alimentos horneados como galletas presenta diversos desafíos tecnológicos. El gluten forma una red de proteínas que otorga viscosidad, elasticidad y habilidad de retención de gas a la masa, todas propiedades fundamentales para la calidad final (Ortolan y Steel, 2017). Al eliminarlo, las masas sin gluten suelen tener menor consistencia y las galletas resultantes tienden a ser más duras y quebradizas, con altas tasas de rechazo por los consumidores (Martínez et al., 2022).

Por ello, se requiere investigar el efecto de ingredientes alternativos sobre las propiedades reológicas de masas y productos horneados sin gluten. Los pseudocereales y legumbres andinos poseen un alto potencial en este contexto. Aportan proteínas de alta calidad, fibra dietética, compuestos bioactivos y una notable capacidad de retención de agua (Paucar et al., 2022), lo que podría mejorar la consistencia y palatabilidad. No obstante, su efecto sobre parámetros reológicos clave como la viscosidad, elasticidad y comportamiento viscoelástico no ha sido suficientemente estudiado. Las nanopartículas inorgánicas también pueden interactuar con otros componentes de la matriz alimentaria, alterando el comportamiento reológico a través de mecanismos como la inhibición de la movilidad molecular (McClements et al., 2017).

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

Caracterizar en profundidad estos efectos sobre la reología permitirá ajustar las formulaciones y condiciones de procesamiento para lograr productos horneados libres de gluten sensorialmente aceptables, nutricionalmente superiores y con la calidad necesaria para posibilitar su escalamiento industrial. Sin estos conocimientos, las innovaciones en ingredientes no podrán implementarse exitosamente a nivel comercial debido a problemas tecnológicos.

Metodológicamente, el proyecto empleará un conjunto integrado de técnicas reológicas avanzadas, como reometría rotacional, análisis de perfil de textura, pruebas empíricas en masas y análisis viscoelástico dinámico. Esto entregará una caracterización multifásica y multimodal de los efectos reológicos. Además, se implementarán herramientas de aprendizaje automático para modelar las complejas interrelaciones entre formulación, procesamiento y propiedades finales de las galletas. El contexto de aplicabilidad del proyecto se enmarca en la provincia del Carchi para lo cual se emplearán productos propios de la región como el chocho y el amaranto, no obstante, se espera que los resultados puedan tener aplicaciones en escalas territoriales mayores.

14. Sostenibilidad

Este proyecto ha sido diseñado considerando su continuidad y proyección a futuro. Los resultados sentarán las bases para una segunda fase de investigación aplicada, enfocada en el desarrollo de productos. Esta siguiente etapa se podría financiar con fondos sectoriales o en alianza con la industria, dado el alto potencial de aplicación comercial.

La generación de modelos predictivos de aprendizaje automático facilitará esta transición, guiando el desarrollo eficiente de nuevos productos horneados libres de gluten. Además, los modelos tendrían aplicaciones directas para la industria en el

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

monitoreo y control de calidad en línea. Esto incentivaría la participación del sector productivo en las siguientes fases.

Paralelamente, se podría buscar establecer convenios de colaboración con centros tecnológicos y empresas del rubro de alimentos, tanto a nivel nacional como internacional. Ello permitiría dar continuidad a la investigación, acceder a financiamiento conjunto y facilitar la transferencia de los resultados.

A largo plazo, la generación de conocimientos sobre ingredientes alternativos y sus efectos reológicos tendría un impacto en el desarrollo de alimentos más saludables y sostenibles. Los beneficios para la seguridad alimentaria, la nutrición y la reducción del desperdicio se extenderían mucho más allá del período inicial de la investigación.

Este proyecto se enmarca en los ODS, específicamente en los objetivos 2 (Hambre cero), 3 (Salud y bienestar) y 12 (Producción y consumo responsables). El desarrollo de alimentos horneados más nutritivos y seguros para la población celíaca contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional. El uso de cultivos andinos promueve la diversificación agrícola y valoración de biodiversidad local. La investigación de ingredientes de origen vegetal favorece dietas sostenibles con menor huella ambiental. Finalmente, el proyecto fomenta la innovación para lograr productos alimenticios de calidad, inocuos y nutritivos, acorde con las demandas de los consumidores y las necesidades ambientales y sociales. De esta forma, se alinea completamente con la visión de desarrollo sostenible planteada por los ODS.

15. Marco Teórico

Productos andinos y su importancia

Los pseudocereales y leguminosas andinos han ganado una significativa atención en el sector alimentario debido a sus propiedades nutricionales y

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (Alandia et al., 2020). Estos productos, que incluyen la quinua, el amaranto, el chocho, la cañihua y otros, son considerados como cultivos ancestrales valiosos por su capacidad de crecer en regiones con suelos poco fértiles y climas desafiantes, donde otros cultivos convencionales podrían tener dificultades. (Gasimova et al., 2020)

Estos productos andinos no solo poseen un perfil nutricional valioso, sino que también ofrecen alternativas interesantes para la diversificación de productos alimentarios (Alandia et al., 2020). Su capacidad para ser utilizados en la elaboración de harinas, cereales de desayuno, barras energéticas, y otros productos horneados o procesados, ha despertado el interés de la industria alimentaria en busca de opciones más saludables y nutritivas.

Además, su creciente popularidad está relacionado con la demanda actual de alimentos funcionales y dietas especializadas, como las dietas libres de gluten. Los pseudocereales andinos, al ser naturalmente libres de gluten, han encontrado un lugar destacado en el mercado como una alternativa atractiva para personas con sensibilidad o intolerancia al gluten (Martínez et al., 2020).

La riqueza nutricional y la versatilidad de estos cereales andinos han motivado la investigación continua en torno a su utilización en la industria alimentaria. Se han llevado a cabo estudios para entender mejor sus propiedades funcionales, su comportamiento en formulaciones alimenticias y sus efectos en la calidad de los productos finales. Estos esfuerzos no solo buscan diversificar la oferta alimentaria, sino también contribuir a la mejora de la seguridad alimentaria y promover prácticas agrícolas sostenibles en diferentes regiones del mundo.

De acuerdo a Rosas y Mejía (2021), el "*Lupinus mutabilis*", comúnmente conocido como chocho, representa un grano leguminoso nativo de los Andes, especialmente cultivado en regiones de Ecuador, Perú y Bolivia. Este cultivo ancestral ha atraído la atención debido a sus propiedades nutricionales

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

excepcionales y su adaptabilidad a una amplia gama de condiciones climáticas y de suelo.

El chocho se caracteriza por su perfil nutricional notablemente alto, siendo una fuente significativa de proteínas, fibra dietética, vitaminas y minerales. Esencialmente, contiene aminoácidos esenciales y una proporción adecuada de carbohidratos, convirtiéndolo en un alimento valioso desde el punto de vista nutricional. Además, es reconocido por su contenido de lípidos saludables, especialmente ácidos grasos omega-3 y omega-6. (Grygier y Siger, 2021)

Su papel como un "súper alimento" radica en su densidad nutricional excepcional. Según Shrestha et al. (2021), el chocho es una fuente significativa de proteínas de alta calidad, comparables en calidad a las proteínas de la soja. Esta característica lo posiciona como un componente importante en dietas vegetarianas y veganas, así como en la lucha contra la malnutrición, particularmente en regiones donde el acceso a fuentes de proteínas es limitado.

Además, su contenido en fibra dietética y micronutrientes como hierro, calcio, fósforo y magnesio contribuyen a su consideración como un alimento funcional (Sen et al., 2021). Estos componentes tienen impactos positivos en la salud, como la regulación del sistema digestivo, fortalecimiento óseo y cardiovascular, y apoyo al sistema inmunológico.

La capacidad del chocho para crecer en condiciones ambientales variadas, incluyendo suelos poco fértiles y altitudes elevadas, lo convierte en un cultivo adaptable y sostenible (Simioniuc et al., 2021). Esta cualidad, junto con su valor nutricional excepcional, lo posiciona como un recurso alimentario clave para comunidades que enfrentan desafíos de seguridad alimentaria y nutricional.

Por otra parte, el amaranto, perteneciente al género *Amaranthus* spp., representa un pseudocereal con propiedades nutricionales notables que lo

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

posicionan como un recurso valioso en la dieta humana. Este cultivo destaca por su destacado contenido de aminoácidos esenciales, elementos fundamentales en la formación de proteínas. La singularidad del amaranto radica en su perfil proteico altamente equilibrado, ofreciendo una amplia gama de aminoácidos esenciales en cantidades significativas. Específicamente, el amaranto sobresale por su contenido de lisina, un aminoácido esencial limitado en muchos cereales. Esta particularidad lo distingue como una fuente excepcional de proteínas completas y de alta calidad (Szabóová et al., 2020).

De acuerdo con Olusanya et al. (2021), este pseudocereal también se caracteriza por ser una fuente significativa de otros aminoácidos esenciales como la metionina, triptófano y treonina, complementando así la variedad y proporciones necesarias para una nutrición óptima. Su perfil nutricional equilibrado y completo de aminoácidos esenciales lo convierte en una opción atractiva para aquellos que buscan una fuente confiable de proteínas en su dieta.

Además, el amaranto es valorado por ser un cultivo adaptable y resiliente, capaz de crecer en diversos entornos y condiciones climáticas, lo que lo hace accesible para su cultivo en áreas con recursos limitados. Esta capacidad de adaptación, combinada con su valor nutricional, lo posiciona como un recurso alimenticio relevante en la lucha contra la malnutrición y la promoción de una dieta equilibrada (Umesh et al., 2019).

El uso de los cultivos andinos en la industria alimentaria

Los pseudocereales como la quinoa, el amaranto y el trigo sarraceno están cobrando popularidad en los últimos años debido a su alto contenido proteico y nutricional en comparación con los cereales tradicionales. Estas semillas sin

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

gluten son una excelente opción para elaborar productos libres de gluten destinados a personas con intolerancia al gluten o con enfermedad celíaca. Por ello, en los últimos años se han intensificado las investigaciones sobre el uso de harinas de pseudocereales en la elaboración de galletas, bizcochos y otros productos de panadería (Fabio y Parraga, 2017).

Varios estudios han evaluado el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de pseudocereales en las propiedades físico-químicas y sensoriales de las galletas (Abu y Maruf, 2021), determinando algunas características reológicas importantes como dureza, fracturabilidad, elasticidad o cohesividad a fin de presentar productos que tecnológica y sensorialmente sean atractivos para el consumidor,

Por otro lado, el empleo de *Lupinus mutabilis*, conocido comúnmente como chocho o tarwi, en la industria de la panificación ha suscitado un creciente interés, especialmente en la elaboración de galletas. Esta leguminosa andina ha demostrado ser una alternativa valiosa y versátil para enriquecer productos horneados, ofreciendo ventajas nutricionales significativas y mejorando la calidad de estos alimentos (Gulisano et al., 2022).

De acuerdo con Sanaguano et al. (2017), la inclusión de harina de chocho en la formulación de galletas ha permitido potenciar su valor nutricional, añadiendo un perfil proteico notable, contenido elevado de fibra dietética y la presencia de minerales esenciales como hierro y calcio. Estas características nutricionales, sumadas a la ausencia de gluten de forma natural en el chocho, hacen que las galletas elaboradas con esta leguminosa sean una opción atractiva para consumidores con sensibilidades al gluten o en búsqueda de alternativas nutritivas.

La harina de chocho también influye en las propiedades reológicas de la masa utilizada en la preparación de galletas. Su capacidad de absorción de agua y su

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

comportamiento durante el proceso de horneado pueden afectar la textura, la consistencia y la estructura final de las galletas. Sin embargo, con ajustes apropiados en las formulaciones, se logra obtener productos horneados con una textura agradable y una consistencia satisfactoria (Carvajal, 2019).

La incorporación de *Lupinus mutabilis* en la industria de las galletas no solo responde a la búsqueda de opciones alimenticias más saludables, sino que también representa un impulso hacia la diversificación de productos y la introducción de ingredientes tradicionales de alto valor nutricional en la dieta moderna. A medida que se profundiza la investigación sobre sus beneficios y se perfeccionan las técnicas de formulación, se espera que el chocho juegue un papel cada vez más relevante en la innovación de la panificación, particularmente en la producción de galletas más nutritivas y adaptadas a las necesidades de los consumidores contemporáneos.

El enriquecimiento de alimentos con nanopartículas

Las nanopartículas han captado la atención en la industria alimentaria debido a sus notables propiedades y aplicaciones en la modificación de alimentos. Estas diminutas estructuras ofrecen una perspectiva innovadora en la mejora de características y funciones en una amplia gama de productos alimenticios (Nile et al., 2020). En la industria de la panificación y horneado, las nanopartículas han mostrado un potencial significativo para transformar las propiedades reológicas, texturales y funcionales de los productos finales (Perumal et al., 2022). En el caso específico de las galletas sin gluten, la introducción de nanopartículas como el carbonato de calcio puede desempeñar un papel crucial. Estas nanopartículas pueden influir en la cohesión de la masa, mejorando su manipulación y procesabilidad durante la producción. Además, tienen la capacidad de reforzar la estructura de las galletas, contribuyendo a su textura, esponjosidad y vida útil.

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

De acuerdo con Delfanian y Sahari (2020), la utilización estratégica de nanopartículas no solo se limita a aspectos estructurales, sino que también abarca mejoras en la calidad nutricional. Al incorporar nanopartículas en la formulación de alimentos horneados, se ha observado un aumento en la biodisponibilidad de ciertos nutrientes, fortaleciendo así el valor nutricional de los productos finales. Esta mejora en la bioaccesibilidad de minerales esenciales, como el calcio, puede ser especialmente relevante en alimentos destinados a poblaciones con necesidades nutricionales específicas, como las personas que siguen dietas libres de gluten.

Deep Learning y su aplicación en las innovaciones de la industria alimentaria

El análisis multimodal y el aprendizaje automático han emergido como herramientas fundamentales en la transformación de la industria alimentaria. El empleo de análisis multimodal, que combina múltiples técnicas de evaluación de las características físicas y químicas de los ingredientes y productos alimenticios, proporciona una visión integral y detallada de la interacción entre los componentes (Atrey et al., 2010). La integración de aprendizaje automático permite modelar y predecir las propiedades reológicas de las galletas sin gluten, facilitando así la toma de decisiones más precisas y fundamentadas en la formulación y procesamiento.

El enfoque de Deep Learning se convierte en una herramienta poderosa para comprender la complejidad de los ingredientes utilizados y su interacción durante la elaboración de las galletas. Al emplear algoritmos sofisticados y modelos de redes neuronales, se pueden identificar patrones y correlaciones complejas entre los componentes, las características de las formulaciones y las propiedades reológicas deseadas (Liu et al., 2021). Estos sistemas de aprendizaje automático ofrecen la capacidad de analizar grandes cantidades de

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

datos de manera eficiente y precisa, lo que permite una optimización continua de las formulaciones para lograr las propiedades deseadas en las galletas sin gluten. En última instancia, la aplicación de análisis multimodal y aprendizaje automático en este proyecto representa un avance significativo en la mejora de la calidad, funcionalidad y eficiencia en la producción de galletas sin gluten en la industria alimentaria.

Los enfoques de aprendizaje autónomo emplean muestras de entrenamiento, basándose en dichas muestras descubren patrones que en última instancia predicen los futuros datos y tendencias. (Alpaydin, 2020). En última instancia, la aplicación de análisis multimodal y aprendizaje automático en este proyecto representa un avance significativo en la mejora de la calidad, funcionalidad y eficiencia en la producción de galletas sin gluten en la industria alimentaria. Como técnica de Deep Learning, para el aprendizaje autónomo se utilizará el algoritmo de Redes Neuronales Artificiales, debido a que es de simple implementación, considerando sus tres capas, en la cual la primera etapa es el registro de entradas, en la segunda etapa se hará un barrido y depuración de datos y en su última etapa generará los valores óptimos. (Zhu et al., 2021)

16. Marco Metodológico

Área de la investigación

El área de investigación de este estudio se sitúa dentro de la ciencia y tecnología de los alimentos. Específicamente, se enfoca en la formulación y evaluación de galletas sin gluten enriquecidas con productos andinos y nanopartículas de carbonato de calcio, centrándose en las propiedades reológicas y la textura de estos productos horneados.

Dentro del campo de la ciencia y tecnología de los alimentos, esta investigación aborda el desarrollo de alimentos aptos para personas con intolerancia al gluten, así como la mejora nutricional de estos productos a través de la inclusión de ingredientes

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

como los productos andinos y las nanopartículas de carbonato de calcio. El estudio también se centra en la caracterización de las propiedades reológicas de las galletas, lo que se relaciona estrechamente con la ciencia de la textura de los alimentos y la ingeniería de alimentos.

Enfoque de la investigación

La presente investigación maneja un enfoque cuantitativo. En primer lugar, la investigación se basa en la utilización de métodos y técnicas cuantitativas para recolectar información específica y precisa. Los datos obtenidos se centran en mediciones tangibles de propiedades físicas y reológicas de las galletas, como la dureza, la elasticidad, la adhesividad, entre otras, utilizando instrumentos de medición y equipos especializados.

Asimismo, el estudio aplica herramientas de análisis estadístico y aprendizaje automático para procesar los datos recopilados. Estos métodos permiten la interpretación cuantitativa de los resultados, identificando patrones, correlaciones y relaciones entre las variables medidas. El enfoque cuantitativo se refleja en la utilización de algoritmos y modelos matemáticos para analizar y predecir las propiedades reológicas de las galletas en función de las variaciones en la formulación y los ingredientes empleados.

Además, se espera que la investigación genere resultados numéricos, tablas, gráficos y modelos cuantitativos que respalden y fundamenten las conclusiones extraídas. La recolección sistemática de datos numéricos, su análisis cuantitativo y la aplicación de métodos estadísticos y computacionales para la interpretación de

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

resultados son características esenciales que identifican a este estudio como de naturaleza cuantitativa.

Tipo de investigación

El estudio propuesto es de tipo experimental debido a su diseño metodológico orientado a manipular variables y observar los efectos producidos en las galletas sin gluten enriquecidas con productos andinos y nanopartículas de carbonato de calcio.

En primer lugar, este estudio implica la aplicación de tratamientos controlados y específicos a las galletas sin gluten, utilizando diferentes formulaciones que varían en la presencia y cantidad de productos andinos y nanopartículas de carbonato de calcio. Estos elementos constituyen las variables independientes que son manipuladas deliberadamente por los investigadores para analizar su impacto en las propiedades reológicas de las galletas.

Además, se lleva a cabo un proceso de medición y registro sistemático de múltiples variables dependientes, como la textura, la elasticidad, la adhesividad, entre otras propiedades reológicas, para evaluar los efectos de las variables independientes sobre las galletas. Esta recolección de datos experimentales se realiza bajo condiciones controladas y replicables, permitiendo la comparación entre diferentes formulaciones y la obtención de resultados cuantificables.

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

Asimismo, se adopta un enfoque científico riguroso al realizar pruebas y análisis estadísticos para validar la significancia de las diferencias observadas entre los grupos experimentales y de control. La investigación experimental se caracteriza por su capacidad para establecer relaciones de causa y efecto entre las variables manipuladas, lo cual es el propósito central de este estudio al determinar cómo los ingredientes específicos afectan las propiedades reológicas de las galletas sin gluten.

Procedimientos de la investigación

Preparación de las masas

Se tomará como referencia el estudio llevado a cabo por Inglett et al. (2015), se establecerán cinco tratamientos para las harinas base:

F1 - 100% harina de *Amaranthus* spp.

F2 - 75% harina de *Amaranthus* spp. + 25% harina de *Lupinus mutabilis*

F3 - 50% harina de *Amaranthus* spp. + 50% harina de *Lupinus mutabilis*

F4 - 25% harina de *Amaranthus* spp. + 75% harina de *Lupinus mutabilis*

F5 - 100% harina de *Lupinus mutabilis*

Se medirá las cantidades específicas de cada componente según las formulaciones predefinidas. Los azúcares, la sal y los agentes leudantes se pasarán por un tamiz individualmente con el fin de eliminar cualquier posible formación de grumos, para luego ser combinados en un recipiente fabricado en acero inoxidable.

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

Por otro lado, en un recipiente separado se llevará a cabo el proceso de batido de la manteca vegetal durante un lapso de 2 minutos, hasta lograr una textura suave y esponjosa. Posteriormente, se integrará esta manteca con la mezcla previa de los ingredientes secos y se batirá a una velocidad media durante 5 minutos, asegurándose de raspar periódicamente los costados del recipiente.

Además, se procederá a preparar una solución combinando agua y bicarbonato de amonio en un recipiente aparte. Esta solución será añadida gradualmente a la mezcla seca mientras se continúa batiendo a velocidad media durante aproximadamente 3 minutos más.

Asimismo, se llevará a cabo la dispersión de las nanopartículas de carbonato de calcio en una pequeña cantidad de agua mediante ultrasonido. Posteriormente, esta dispersión será incorporada a las formulaciones previas, mezclándolas durante un minuto adicional.

Las masas resultantes serán amasadas sobre una superficie espolvoreada con harina para asegurar su homogeneidad. Luego, se extenderán en láminas con un espesor de 7 mm utilizando rodillos, y se dejarán reposar en un ambiente con temperatura controlada durante un tiempo determinado para su procesamiento ulterior.

Caracterización reológica de las masas

Las masas que carecen de gluten plantean desafíos específicos en términos reológicos, ya que no contienen las proteínas del gluten, las cuales son fundamentales para conferir propiedades viscoelásticas esenciales en las masas con gluten. En este estudio en particular, se emplearán distintos métodos reológicos, tanto empíricos como fundamentales, con el objetivo de caracterizar las propiedades

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

mecánicas de las masas libres de gluten y establecer conexiones con la calidad del producto final (Lazaridou y Costas., 2009).

Dentro de los métodos empíricos, se utilizarán dispositivos como el farinógrafo para determinar aspectos como la absorción de agua, el tiempo de desarrollo de la masa y su elasticidad. Además, se empleará el mixógrafo para evaluar la consistencia de la masa. Asimismo, se recurrirá al amilógrafo y al analizador rápido de viscosidad para analizar las propiedades de gelatinización y retrogradación del almidón. Se llevarán a cabo también análisis de texturometría para medir la consistencia de las masas.

Por otro lado, en el ámbito de los métodos fundamentales, se llevarán a cabo pruebas oscilatorias dinámicas en el rango viscoelástico lineal con el fin de obtener los módulos elástico y viscoso. Se realizarán experimentos de fluencia y recuperación para estudiar el comportamiento viscoelástico, así como pruebas de compresión lubricada para evaluar la deformación biaxial y determinar la viscosidad extensional y el endurecimiento por deformación. Otras pruebas de extensión, como la tracción uniaxial y la expansión de burbujas, brindarán información acerca de la capacidad de retención de gas. Además, se aplicarán ensayos de relajación de esfuerzos para caracterizar la elasticidad.

Se buscará correlacionar los resultados obtenidos de las pruebas reológicas con los atributos de calidad de los productos finales, tales como volumen, textura, densidad y diámetro. Se espera que las masas sin gluten presenten una mayor consistencia y una menor elasticidad en comparación con aquellas que contienen gluten. La inclusión de ingredientes como almidones, proteínas, grasas, hidrocoloides y carbonato de calcio modificará las propiedades reológicas, lo cual se reflejará en la calidad del producto. Un mayor entendimiento de las relaciones entre la reología de

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

la masa y los atributos de calidad permitirá optimizar las formulaciones sin gluten y los procesos de fabricación.

Evaluación reológica de las galletas

El estudio de las propiedades mecánicas y de textura de las galletas sin gluten resulta crucial para comprender su comportamiento final. Las galletas, después de ser horneadas, experimentan cambios en sus características respecto a la masa cruda. En este trabajo de investigación, se emplearán varios enfoques tanto empíricos como fundamentales para analizar la elasticidad, la fracturabilidad y la textura de las galletas sin gluten ya preparadas.

Dentro de los métodos empíricos, se utilizará un instrumento de análisis de textura para obtener perfiles detallados de las galletas, evaluando su dureza, elasticidad, cohesividad, grado de gomosidad y facilidad para ser masticadas. Se aplicará también este instrumento para medir la fracturabilidad, ejerciendo una fuerza de compresión hasta lograr la rotura de la muestra. Asimismo, se empleará en un modo de penetración, registrando la fuerza máxima aplicada y la distancia recorrida por una sonda al penetrar la galleta.

En relación con los métodos fundamentales, se llevarán a cabo pruebas de baja deformación y oscilación dinámica para obtener los módulos viscoelásticos. También se explorará la deformación en función del tiempo bajo una carga constante mediante pruebas de fluencia y recuperación. Se realizarán análisis de relajación de esfuerzos para entender cómo se disipa la fuerza durante la deformación constante de la muestra.

La evaluación de la fracturabilidad de las galletas también se realizará mediante métodos fundamentales. Se analizará la curva de fuerza-deformación durante el

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

proceso de fractura para calcular parámetros como la fuerza máxima, la deformación en el punto de fractura y el trabajo total requerido. Además, se determinará la resistencia a la fractura.

Se buscará correlacionar los resultados obtenidos de estas pruebas con las percepciones sensoriales relacionadas con la textura y la fracturabilidad de las galletas ya terminadas. Se anticipan diferencias significativas entre las muestras sin gluten y aquellas con gluten, ya que la inclusión de diferentes ingredientes influirá en las propiedades mecánicas finales. Un entendimiento detallado de estas relaciones permitirá ajustar las formulaciones y los procesos para obtener las características deseadas.

Construcción de los modelos de aprendizaje automático

En una primera etapa, se procederá a recopilar y procesar los datos experimentales generados durante la investigación. Las variables independientes abarcarán características como la geometría y tamaño de las nanopartículas, las proporciones de los ingredientes en cada formulación y los resultados obtenidos en las pruebas reológicas realizadas tanto en las masas como en el producto final. Mientras tanto, las variables dependientes consistirán en parámetros clave relacionados con la reología, tales como la viscosidad, elasticidad, consistencia y fracturabilidad.

Una vez recolectados, los datos serán sometidos a un proceso de preprocesamiento para identificar y corregir valores atípicos, registros faltantes o cualquier inconsistencia presente. Además, se aplicarán técnicas de normalización y escalado para garantizar una contribución equitativa de todas las variables en los modelos. (Singh y Singh, 2019)

Posteriormente, se dividirá el conjunto de datos en segmentos de entrenamiento, validación y prueba, con el propósito de entrenar, ajustar y validar los modelos

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

desarrollados. En la selección de variables, se emplearán enfoques como el análisis de componentes principales y la selección recursiva de características.

Se procederá a entrenar y comparar distintos algoritmos de aprendizaje supervisado, como regresión lineal, máquinas de vectores de soporte (SVM), árboles de decisión, bosques aleatorios y redes neuronales. Los parámetros se ajustarán utilizando métodos de validación cruzada con el fin de optimizar la capacidad predictiva de los modelos.

La evaluación de los modelos se realizará mediante métricas como el coeficiente de determinación (R cuadrado), el error cuadrático medio y el error absoluto medio. Se llevará a cabo un análisis gráfico comparativo entre los valores predichos y observados. Aquellos modelos más efectivos se interpretarán con el objetivo de comprender las relaciones existentes entre las variables independientes y dependientes.

Como fase final de este proceso, se implementará un sistema de inferencia que permita la utilización de los modelos previamente entrenados para realizar predicciones con nuevos datos. Estos resultados proporcionarán información crucial para la optimización de formulaciones y procesos, asegurando así la obtención de las propiedades reológicas deseadas en las galletas sin gluten.

Validación de los modelos de aprendizaje automático

Durante la fase de entrenamiento de los modelos, se aplicará un método conocido como validación cruzada k-fold para evaluar el rendimiento utilizando datos que no han sido utilizados en la etapa de entrenamiento (Wong, 2015). Este procedimiento implica dividir los datos en k grupos o particiones, empleando k-1 de ellas para entrenar el modelo y reservando una única partición para su validación, rotando

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

sucesivamente la partición de validación. Esto permitirá obtener métricas de desempeño más precisas y fiables.

Además, se separará un conjunto de datos de prueba que no se utilizará en ninguna fase del entrenamiento o ajuste de parámetros. El rendimiento de los modelos en este conjunto determinará su capacidad de generalización final en situaciones reales.

Para comparar los resultados con las mediciones experimentales, se elegirán muestras al azar del conjunto de prueba y se emplearán los modelos para predecir varios parámetros reológicos, tales como viscosidad, elasticidad y fracturabilidad. Estas predicciones se contrastarán tanto visual como estadísticamente con las mediciones de laboratorio correspondientes.

Se emplearán métricas como el error cuadrático medio, el coeficiente de determinación (R^2) y el error absoluto medio para evaluar la discrepancia entre los valores predichos y los observados experimentalmente. También se generarán gráficos de dispersión y se llevarán a cabo pruebas de hipótesis para identificar posibles sesgos y evaluar la concordancia entre ambos conjuntos de datos.

Los resultados obtenidos de estas comparaciones permitirán identificar los modelos que mejor se alinean con los datos experimentales, demostrando así su capacidad para realizar inferencias precisas y su idoneidad para su implementación en sistemas de predicción destinados a nuevas muestras y formulaciones.

Consideraciones bioéticas de la investigación

Es importante destacar que, en este estudio, no se aborda el análisis de la asimilación o los posibles efectos en el consumo posterior del alimento. Se centra

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

específicamente en el análisis de las propiedades mecánicas y texturales de las galletas sin gluten, sin considerar su interacción con el sistema digestivo humano ni sus posibles implicaciones fisiológicas tras su ingesta.

Las consideraciones bioéticas en esta investigación se concentran en la manipulación de ingredientes y la evaluación de propiedades físicas, mecánicas y reológicas de las galletas sin gluten, asegurando la calidad y seguridad del producto desde una perspectiva tecnológica y de procesamiento alimentario. No se contempla en el alcance de este estudio la valoración de aspectos relacionados con la absorción, metabolismo o efectos fisiológicos posteriores a la ingesta de las galletas.

En consecuencia, la investigación se enfoca en aspectos tecnológicos y de formulación, proporcionando información valiosa para el desarrollo y la optimización de galletas sin gluten en términos de su estructura, consistencia y comportamiento mecánico, pero no se involucra en la evaluación de los efectos biológicos o nutricionales una vez que estas galletas son consumidas. Este enfoque del estudio busca asegurar la integridad y el análisis riguroso de las propiedades físicas y mecánicas del producto alimentario, sin entrar en consideraciones biológicas o de salud asociadas con su consumo posterior.

Adicionalmente la investigación planificada se compromete a considerar detenidamente los aspectos éticos vinculados al uso de productos andinos como el *Amaranthus spp* y el *Lupinus mutabilis*. Se tomarán en cuenta procedimientos que no trastoquen la diversidad genética de los cultivos, respetando los conocimientos tradicionales de las comunidades que los han cultivado durante generaciones y garantizando su sostenibilidad. Se implementarán prácticas de investigación que promuevan el respeto por las comunidades locales, evitando cualquier impacto negativo en el entorno ambiental y en la vida cotidiana de estos grupos. Además, se establecerán protocolos para asegurar que el desarrollo científico sea conducido de manera ética, considerando la integridad cultural y el cuidado del medio ambiente relacionados con el uso de estos productos andinos. La investigación se llevará a cabo bajo un marco de responsabilidad y respeto hacia las comunidades y los recursos

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

naturales involucrados, con el objetivo de contribuir al conocimiento científico de manera ética y sostenible

17. Las variables

Variables independientes

Proporción de *Lupinus M.*
Proporción de *Amaranthus Spp.*

Variables dependientes:

Características fisicoquímicas de las harinas
Características funcionales de las harinas
Características microbiológicas de las harinas
Características funcionales de las masas
Características reológicas de las masas
Características reológicas del producto elaborado
Características fisicoquímicas del producto elaborado
Características sensoriales del producto elaborado
Características microbiológicas del producto terminado

18. Operacionalización de las variables de la investigación

Tabla 1

Matriz de operacionalización de las variables para el primer diseño experimental

Variable	Concepto	Dimensión	Instrumentos
Variables independientes			
Proporción de <i>Lupinus M.</i>		Gravimetría	(Melo et al., 2023)
Proporción de <i>Amaranthus Spp.</i>		Gravimetría	(Melo et al., 2023)
Variables dependientes			
Características fisicoquímicas de las harinas		Humedad	NTE INEN 518
		Proteína (base seca)	NTE INEN 519

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

Características funcionales de las harinas Características microbiológicas de las harinas	Cenizas (base seca)	NTE INEN 520
	Acidez (Exp.en ácido sulfúrico)	NTE INEN 521
	Glúten húmedo	NTE INEN 529
	Capacidad de absorción de agua	(Melo et al., 2023)
	Estabilidad	NTE INEN 1
	Aerobios mesófilos	529-5
	Coliformes	NTE INEN 1
	<i>E. Coli</i>	529-7
	<i>Salmonella</i>	NTE INEN 1
		529-8
		NTE INEN 1
		529-15
	Mohos y levaduras	NTE INEN 1
Características funcionales de las masas Características reológicas de las masas Características reológicas del producto elaborado		529-10
	Temperatura de gelatinización	(Melo et al., 2023)
	Tiempo de gelatinización	(Melo et al., 2023)
	Perfil de viscosidad de las masas	(Melo et al., 2023)
	Dureza	(Melo et al., 2023)
	Fracturabilidad	(Melo et al., 2023)
	Elasticidad	(Melo et al., 2023)
	Cohesividad	(Melo et al., 2023)
	Gomosidad	(Melo et al., 2023)
	Masticabilidad	(Melo et al., 2023)
	pH en solución acuosa al 10%	NTE INEN 526
	Proteína % (%N x 5,7)	NTE INEN 519
	Humedad	NTE INEN 518
Características sensoriales del producto elaborado	Aspecto visual	(Ervina, 2023)
	Sabor	(Ervina, 2023)
	Aroma	(Ervina, 2023)
	Crujencia	(Ervina, 2023)
	Consistencia	(Ervina, 2023)

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

Características microbiológicas del
producto terminado

R.E.P. ufc/g
Mohos y levaduras
upc/g

NTE INEN 1529-
5
NTE INEN 1529-
10

19. Componente estadístico de la investigación (*muestreo, diseño experimental y pruebas a realizarse*)

Para la caracterización del producto terminado se aplicará un diseño completamente al azar (DCA) asignando las unidades experimentales a los tratamientos al azar con la única restricción del número de observaciones a tomar para cada tratamiento. El modelo tiene la siguiente estructura:

Factores:

Porcentaje de sustitución de harina de chocho

Porcentaje de sustitución de harina de amaranto

Tratamientos:

T1 - 100% harina de *Amaranthus* spp.

T2 - 75% harina de *Amaranthus* spp. + 25% harina de *Lupinus mutabilis*

T3 - 50% harina de *Amaranthus* spp. + 50% harina de *Lupinus mutabilis*

T4 - 25% harina de *Amaranthus* spp. + 75% harina de *Lupinus mutabilis*

T5 - 100% harina de *Lupinus mutabilis*

Repeticiones

5 repeticiones por tratamiento

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

En el marco de la investigación, se empleará el análisis de varianza (ANOVA) con una y dos fuentes de variación como una herramienta estadística fundamental para evaluar la significancia de las variaciones observadas en las propiedades evaluadas, así como sus posibles interacciones, basadas en las distintas proporciones de ingredientes y los variados parámetros del proceso. Posteriormente, se realizarán pruebas post hoc, como el test de Tukey y Scheffe, con un nivel de confiabilidad del 95%, para identificar las diferencias significativas entre los diferentes tratamientos y determinar cuáles de ellos generan alteraciones relevantes en las características reológicas de las galletas. Esta metodología estadística permitirá no solo detectar las variaciones entre los grupos experimentales, sino también discernir las combinaciones específicas de ingredientes y procesos que conduzcan a propiedades reológicas destacadas en las galletas sin gluten en estudio.

Como parte del diseño con dos fuentes de variación se analizará la posible interacción entre los factores partiendo del modelo completo y el interés de evaluar la contribución individual de cada factor tratamiento sobre la variable respuesta.

En el contexto de la investigación, se plantea un enfoque metodológico para establecer la relación entre las características de las formulaciones de galletas sin gluten y sus propiedades reológicas mediante modelos de aprendizaje automático. Se procederá recopilando datos experimentales que abarquen una amplia gama de variables, incluyendo los ingredientes empleados, las proporciones utilizadas y los parámetros del proceso de elaboración. Estos datos se utilizarán para construir modelos predictivos utilizando técnicas como regresión lineal, máquinas de vectores de soporte y árboles de decisión. Estos modelos buscarán predecir las propiedades reológicas de las galletas en función de las formulaciones empleadas, permitiendo así entender cómo los distintos ingredientes y procesos influyen en sus características reológicas.

Además, para validar los modelos, se llevará a cabo un proceso de validación cruzada, dividiendo los datos en múltiples subconjuntos para entrenar y evaluar repetidamente los modelos. Esta técnica permitirá examinar la precisión y robustez

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

de los modelos de aprendizaje automático. Posteriormente, se compararán los modelos generados utilizando métricas de desempeño, como R cuadrado y errores medios, matriz de confusión con los índices de sensibilidad y especificidad, así como la curva de características operativas del receptor (ROC), con el objetivo de seleccionar el mejor modelo para predecir las propiedades reológicas de las galletas sin gluten con base en las formulaciones empleadas. Este enfoque metodológico integral busca no solo comprender la influencia de las formulaciones en las propiedades reológicas, sino también validar la efectividad de los modelos predictivos desarrollados.

20. Impactos esperados

Matriz de impactos	
Social	Este estudio tiene el potencial de ofrecer alternativas alimentarias más saludables y variadas para las personas con intolerancia al gluten, ampliando así las posibilidades de elección y bienestar en la sociedad. Además, al integrar productos andinos, se promueve el reconocimiento y valorización de cultivos ancestrales, contribuyendo a la preservación de tradiciones alimentarias locales y fortaleciendo la diversidad cultural. Esta investigación también puede impactar positivamente en las comunidades agrícolas que cultivan estos cereales, ofreciendo oportunidades económicas a través de la promoción y comercialización de sus productos en el mercado alimentario.
Científico	Esta investigación presenta una oportunidad para profundizar en el entendimiento de las propiedades reológicas y la interacción entre ingredientes en productos alimenticios específicos, como las galletas sin gluten. El empleo de técnicas avanzadas, como el análisis multimodal y el aprendizaje automático, podría ofrecer nuevos enfoques metodológicos para la evaluación y optimización de características mecánicas y texturales en productos alimentarios. Además, este estudio podría abrir el camino hacia la formulación de modelos predictivos más precisos y eficientes para comprender y mejorar la calidad de estos productos sin gluten, facilitando así el desarrollo de futuros productos alimenticios funcionales y nutricionalmente

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

	enriquecidos.
Económico	La inclusión de productos andinos en la formulación de alimentos funcionales y libres de gluten podría impulsar la demanda y comercialización de estos productos andinos, generando oportunidades económicas para las comunidades agrícolas que los cultivan. Esta investigación podría contribuir al aumento de la producción y comercialización de cultivos andinos, diversificando las opciones de alimentos en el mercado y, potencialmente, generando empleo en áreas rurales. Además, al desarrollar galletas sin gluten mejoradas en términos de propiedades mecánicas y nutricionales, se podría abrir un mercado potencialmente lucrativo para productos alimentarios adaptados a necesidades dietéticas específicas, capturando segmentos de consumidores con demandas particulares. En resumen, esta investigación no solo podría beneficiar a las comunidades agrícolas a través del impulso económico en la producción y comercialización de cultivos andinos, sino que también podría ofrecer oportunidades en el mercado de alimentos funcionales y libres de gluten, generando potenciales beneficios económicos a través de la innovación alimentaria.
Político	Esta investigación podría contribuir al desarrollo de políticas alimentarias más inclusivas y orientadas a la salud, promoviendo la diversificación de la oferta de alimentos adaptados a necesidades dietéticas específicas. El enfoque en productos sin gluten enriquecidos con ingredientes andinos podría fomentar políticas que impulsen la preservación y promoción de cultivos locales y tradicionales, beneficiando a comunidades agrícolas y promoviendo la seguridad alimentaria. Además, al mejorar la disponibilidad de opciones alimentarias para personas con intolerancia al gluten, esta investigación podría respaldar políticas públicas orientadas a garantizar el acceso equitativo a alimentos saludables para grupos con necesidades dietéticas especiales. En resumen, este estudio podría influir en la formulación de políticas sociales y alimentarias más inclusivas, promoviendo la diversificación alimentaria, la conservación de cultivos locales y la atención a las necesidades dietéticas de diversos grupos de la población.
Actividad I+D+i	Se espera que los resultados sean publicables en revistas de alto impacto científico, contribuyendo así al avance del conocimiento en el campo de la ciencia alimentaria y la nutrición. Además, en caso de obtener resultados innovadores y

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

	únicos, existe la posibilidad de que estos sean considerados como productos susceptibles de registro de propiedad intelectual ante el SENADI
ODS	Al incluir productos andinos en la formulación de alimentos, se fomenta la preservación y uso sostenible de la biodiversidad agrícola (ODS 2), así como el fortalecimiento de la agricultura sostenible (ODS 12). El uso de ingredientes locales puede reducir la dependencia de importaciones y promover prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente. Además, la investigación podría contribuir a la producción de alimentos más saludables y nutritivos, lo que se alinea con el ODS 3 (Salud y Bienestar). La diversificación de la oferta de alimentos, ofreciendo alternativas para personas con intolerancia al gluten, promueve la inclusión alimentaria y la equidad en el acceso a dietas saludables (ODS 10). Asimismo, el desarrollo de prácticas alimentarias más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente podría contribuir a la mitigación del cambio climático (ODS 13). El enfoque en ingredientes locales y tradicionales podría fortalecer la cultura alimentaria y promover la integración de prácticas sostenibles en la industria alimentaria, lo que se alinea con el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables).
Otro (especifique) Sostenibilidad institucional	El enfoque en la inclusión de ingredientes locales y sostenibles en la formulación de alimentos resalta el apoyo a prácticas agrícolas sostenibles en la región, promoviendo así la biodiversidad agrícola y el desarrollo local. Al fortalecer y fomentar el uso de cultivos locales como el amaranto y el chocho en productos alimentarios, esta investigación se alinea con los valores del Green Metric, incentivando la conservación de recursos naturales y la reducción de la huella ambiental. Asimismo, el impulso a la innovación alimentaria sostenible en la universidad a través de esta investigación puede servir como un ejemplo en la promoción de prácticas alimentarias responsables. El estudio de alternativas de alimentos saludables y sostenibles, como las galletas sin gluten enriquecidas, no solo fortalece la posición de la UPEC en el Green Metric, sino que también evidencia su liderazgo en la adopción de enfoques sostenibles en la investigación y

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

	desarrollo de alimentos.
--	--------------------------

21. Transferencia de resultados

Se planea utilizar una variedad de medios de comunicación para difundir los resultados obtenidos. Se contempla la publicación de artículos científicos en revistas de alto impacto, así como la participación en conferencias y eventos académicos nacionales e internacionales para compartir los hallazgos con la comunidad científica. Además, se pretende elaborar informes técnicos y resúmenes ejecutivos accesibles al público en general, con el fin de difundir los resultados a una audiencia más amplia.

En el caso de que los resultados de la investigación se traduzcan en un desarrollo tecnológico, como un nuevo producto alimenticio o un proceso innovador, con la ayuda del Departamento de Investigación y la Unidad de Producción y Difusión Académica y Científica, se plantea la posibilidad de la presentación de propuestas para la protección de la propiedad intelectual, como patentes o derechos de autor, que aseguren la valorización y el uso efectivo de los resultados.

Asimismo, se contempla la posibilidad de realizar talleres, seminarios o capacitaciones dirigidas a profesionales, productores y tomadores de decisiones del sector alimentario para presentar los resultados de la investigación y promover su adopción e implementación.

Productos de investigación

Tipo de producto	Cantidad
Artículos científicos publicados en revistas SJR (Q1 o Q2) o WOS (Factor de impacto igual o superior a 2)	1
Artículos científicos publicados en revistas SJR (Q3 o Q4) o WOS (Factor de impacto inferior a 2)	1
Artículo científico de impacto regional	1

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

Además, se prevé la participación en eventos científicos internacionales y el proyecto dará lugar a una formación doctoral así como a la estructuración de por lo menos 3 trabajos de titulación de grado

22. Cronograma

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

		2024										2025												2026												2027		
No	Actividades	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
1	Construcción del estado del arte																																					
2	Desarrollo de las harinas																																					
4	Caracterización de las harinas																																					
5	Preparación y presentación del primer artículo científico																																					
6	Caracterización de masas																																					
7	Caracterización de las galletas																																					
8	Generación de modelos de aprendizaje automático																																					
9	Validación de modelos de aprendizaje automático																																					
10	Preparación y presentación del segundo artículo																																					
12	Elaboración de informe final del proyecto																																					

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

23. Recursos y presupuesto *(Indicar de una manera general los recursos materiales, talento humano, tecnológicos, de producción científica, entre otros).*

Tabla 2

Presupuesto para el desarrollo de la investigación

ACTIVIDADES	RECURSOS	PARTIDA	CANTIDAD	cpc	PRESUPUESTO (\$)		Fecha de ejecución
					PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL	
Construcción del estado del arte	Bases de datos de alto impacto	530702	3	843000011	2000	6000	Marzo 2024
Desarrollo de las harinas	Quintal de amaranto en grano	530829	3	011900031	150	450	Mayo 2024
Desarrollo de las harinas	Quintal de Chocho en grano	530829	3	011900031	150	450	Mayo 2024
Desarrollo de las harinas	Frascos de Nanopartículas de carbonato de calcio grado alimenticio libre de gluten	530829	2	342404911	60	120	Mayo 2024
Caracterización de harinas	Hidróxido de sodio ACS (enavase dev 1 kg)	530829	10	342304011	40	400	agosto 2024
Caracterización de harinas	Ácido bórico (envase de 1 kg)	530829	3	161901311	75	225	agosto 2024
Caracterización de harinas	Ácido sulfúrico 98% (2.5L)	530829	5	342302111	65	325	agosto 2024
Caracterización de harinas	Ácido clorhídrico 37% (2.5L)	530829	3	342302011	65	195	agosto 2024
Caracterización de harinas	Pastillas catalizadoras de Kjeldahl (Frasco de 500 pastillas)	530829	1	354901911	1200	1200	agosto 2024
Caracterización de harinas	Kit Elisa para cuantificación de gluten	530829	3	354400111	1200	3600	agosto 2024
Caracterización de harinas	Papel de filtro Whatman No 1 (caja de 100 unidades)	530829	5	452901091	25	125	agosto 2024
Caracterización de harinas	Dedales de extracción de celulosa (tamaño 26X60 mm)(caja de 25 unidades)	530810	2	449290211	165	330	agosto 2024
Caracterización de harinas	Electrodos para pHmetro (Pro pH 0-14; 100 oC)	840104	4	482530511	380	1520	agosto 2024
Caracterización de harinas	Cloranfenicol 98% (envase de 25 g)	530829	2	352501311	60	120	agosto 2024
Caracterización de harinas	Cápsulas de porcelana 50 ml, de 50 x45 mm	530829	20	37193001	20	400	agosto 2024
Caracterización de harinas	Kit placas para aerobios mesófilos (placas rápidas) (Envase de 50 unidades)	530810	4	354400011	100	400	agosto 2024
Caracterización de harinas	Kit placas para mohos y levaduras (placas rápidas)(Envase de 25 unidades)	530810	7	354400011	100	700	agosto 2024
Caracterización de harinas	Kit Petrifilm para E.coli/Coliformes (placas rápidas)(Envase de 25 unidades)	530810	4	354400011	150	600	agosto 2024
Caracterización de harinas	Kit Petrifilm para Salmonella spp (placas rápidas)(Envase de 25 unidades)	530810	4	354400011	140	560	agosto 2024
Caracterización de harinas	Kit Petrifilm para Enterobacterias (placas rápidas)(Envase de 25 unidades)	530810	4	354400011	150	600	agosto 2024
Caracterización de harinas	Micropipeta de 0,5 a 10 microlitros	840104	3	48265.02.2	180	540	agosto 2024
Caracterización de harinas	Micropipeta volumen variable de 10 a 100 microlitros	840104	3	48265.02.2	140	420	agosto 2024
Caracterización de harinas	Micropipeta volumen variable de 100 a 1000 microlitros.	840104	3	48265.02.2	210	630	agosto 2024
Caracterización de harinas	Crisoles con tapa de 30 mL	840104	20	48265.02.2	30	600	agosto 2024
Caracterización de harinas	Puntas para micropipeta de 100-1000 microlitros (fundas de 1000 unidades)	530810	5	48265.02.2	55	275	agosto 2024

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

Caracterización de harinas	Puntas para micropipeta de 10-100 microlitros (fundas de 1000 unidades)	530810	5	48265.02.2	55	275	agosto 2024
Caracterización de harinas	Puntas para micropipeta de 0.5-10 microlitros (fundas de 1000 unidades)	530810	5	48265.02.2	55	275	agosto 2024
Caracterización de harinas	Soporte para micropipetas 6P. Tipo carrusel	840104	2	48265.02.2	140	280	agosto 2024
Caracterización de las harinas	Caracterizador de masas	840104	1	48265.02.2	80000	80000	agosto 2024
Caracterización de las harinas	Celda de pasteado	840104	1	48265.02.2	13000	13000	agosto 2024
Caracterización de harinas, masas y producto final	Viáticos para viajes al interior	530301	66	63110.00.1	90	5940	agosto 2024 - diciembre 2025
Caracterización de masas	Batidora semiindustrial para galletería	840104	1	44512.00.1	2000	2000	noviembre 2024
Caracterización de las galletas	Moldes de silicona para galletas	530820	10	44521.00.1	40	400	junio 2025
Caracterización de las galletas	Quintal de azúcar	530829	1	23510.00.1	45	45	junio 2025
Caracterización de las galletas	Saco de almidón de maíz de 25 kg	530829	1	23220.01.1	100	100	junio 2025
Caracterización de las galletas	Balde de mantequilla de 3000 g	530829	3	22940.00.1	20	60	junio 2025
Caracterización de las galletas	Polvo leudante de 5kg	530829	6	23996.00.1	30	180	junio 2025
Caracterización de las galletas	Esencia de vainilla (1 L)	530829	1	35410.02.1	6	6	junio 2025
Caracterización de las galletas	Cubetas de huevos	530829	6	62122.00.1	5	30	junio 2025
Generación de modelos de aprendizaje automático	Curso de Deep Learning	530612	3	92900.00.1	400	1200	septiembre 2025
Socialización de resultados	Pasajes al exterior	530302	3	67813.02.1	2000	6000	julio 2026
Socialización de resultados	Viáticos al exterior	530304	3	63110.00.1	800	2400	julio 2026
TOTAL						132976	

20. Referencias bibliográficas

- Abu, S., & Maruf, A. (2021). A Review on Effects of Pseudo Cereals Flour on Quality Properties of Biscuit, Cookies and Cake. *Intechopen*.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.94972>
- Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26(August), 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- Angeli, V., Silva, P. M., Massuela, D. C., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Grae, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the “Golden Grain” and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods*, 9(216), 31.
- Atrey, P. K., Hossain, M. A., El Saddik, A., & Kankanhalli, M. S. (2010). Multimodal fusion for multimedia analysis: A survey. In *Multimedia Systems* (Vol. 16, Issue 6). <https://doi.org/10.1007/s00530-010-0182-0>

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

- Cancino-Espinoza, E., Vázquez-Rowe, I., & Quispe, I. (2018). Organic quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) production in Peru: Environmental hotspots and food security considerations using Life Cycle Assessment. *Science of the Total Environment*, 637–638, 221–232.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.029>
- Carvajal-larenas, F. E. (2019). Nutritional , rheological and sensory evaluation of *Lupinus mutabilis* food products – a Review. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(5), 301–311. <https://doi.org/https://doi.org/10.17221/4/2019-CJFS>
- Delfanian, M., & Sahari, M. A. (2020). Improving functionality, bioavailability, nutraceutical and sensory attributes of fortified foods using phenolics-loaded nanocarriers as natural ingredients. *Food Research International*, 137(July), 109555. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109555>
- Ervina, E. (2023). The sensory profiles and preferences of gluten-free cookies made from alternative flours sourced from Indonesia. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 33, 100796.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100796>
- Fabio, A. Di, & Parraga, G. (2017). Origin , Production and Utilization of Pseudocereals. *Pseudocereals: Chemistry and Technology*, 1–27.
<https://doi.org/10.1002/9781118938256.ch1>
- Fiallos-Vinueza, M. E., V'asquez-Poveda, V. D., Castro-Medina, O. R., & Jaramillo-Burgos, M. F. (2022). Desarrollo de galletería a base de quinua, avena y miel sin gluten. *CIENCIAMATRIA Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educaci{\'o}n, Ciencia y Tecnolog{\'i}a*, 8(4), 1018–1028. <https://doi.org/DOI10.35381/cm.v8i4.906>
- Gasimova, K. H., Ali-zade, V. M., & Toderich, K. (2020). *Emerging Research in Alternative Crops* (Issue January 2021). Springer.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-90472-6>
- Giaconia, M. A., Ramos, S. dos P., Pereira, C. F., Lemes, A. C., De Rosso, V. V., & Braga, A. R. C. (2020). Overcoming restrictions of bioactive compounds biological effects in food using nanometer-sized structures. *Food Hydrocolloids*, 107(March), 105939. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105939>

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

- Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N., & Gull`i, M. (2022). Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 125, 154–165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.007>
- Grygier, A., & Siger, A. (2021). Journal of Food Composition and Analysis Lupinus mutabilis seed composition and its comparison with other lupin species. *Journal of Food Composition*, 99(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103875>
- Gulisano, A., Alves, S., Rodriguez, D., Murillo, A., Dinter, B. Van, Torres, A. F., Gordillo-romero, M., Torres, M. D. L., Neves-martins, J., Paulo, M., & Trindade, L. M. (2022). *Diversity and Agronomic Performance of Lupinus mutabilis Germplasm in European and Andean Environments*. 13(June), 0–1. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.903661>
- Gupta, R., Srivastava, D., Sahu, M., Tiwari, S., Ambasta, R. K., & Kumar, P. (2021). Artificial intelligence to deep learning: machine intelligence approach for drug discovery. In *Molecular Diversity* (Vol. 25, Issue 3). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s11030-021-10217-3>
- Inglett, G. E., Chen, D., & Liu, S. X. (2015). Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth-oat composites. *Lwt*, 63(1), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.056>
- Jiménez Ortega, A. I., Martínez García, R. M., Quiles Blanco, M. J., Majid Abu Naji, J. A., & González Iglesias, M. J. (2016). Enfermedad celíaca y nuevas patologías relacionadas con el gluten. *Nutricion Hospitalaria*, 33, 44–48. <https://doi.org/10.20960/nh.345>
- Korus, J., Juszczak, L., Witczak, M., & Ziobro, R. (2020). Effect of citrus fiber on the rheological properties of dough and quality of the gluten-free bread. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(19). <https://doi.org/10.3390/APP10196633>
- L'Heureux, A., Grolinger, K., Elyamany, H. F., & Capretz, M. A. M. (2017). Machine Learning with Big Data: Challenges and Approaches. *IEEE Access*, 5, 7776–7797. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2696365>
- Lazaridou, A., & Costas G., B. (2009). Gluten-Free Doughs: Rheological Properties,

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

- Testing Procedures –Methods and Potential Problems. In E. Gallagher (Ed.), *Gluten-Free Food Science and Technology* (pp. 52–82). Wiley Blackwell.
- Liu, Y., Pu, H., & Sun, D. W. (2021). Efficient extraction of deep image features using convolutional neural network (CNN) for applications in detecting and analysing complex food matrices. *Trends in Food Science and Technology*, 113(April), 193–204. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.042>
- Martínez-villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137, 111178. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- Martínez, E., Álvarez-Ortí, M., Rabadán, A., Millán, C., & Pardo, J. E. (2022). Elaboration of Cookies Using Oils and Flours from Seeds and Nuts: Effects on Technological, Nutritional and Consumer Aspects. *Foods*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/foods11152249>
- McClements, D. J., Xiao, H., & Demokritou, P. (2017). Physicochemical and colloidal aspects of food matrix effects on gastrointestinal fate of ingested inorganic nanoparticles. *Advances in Colloid and Interface Science*, 246, 165–180. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.05.010>
- Melo, B. G. de, Tagliapietra, B. L., & Clerici, M. T. P. S. (2023). Evolution of the technological, sensory, and nutritional quality of gluten-free cookies: a critical review. *Food Science and Technology*, 43. <https://doi.org/10.5327/fst.75822>
- Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2018). Nutritional constituents of pseudo cereals and their potential use in food systems: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 75(September 2016), 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.016>
- Mironeasa, S., Iuga, M., Zaharia, D., & Mironeasa, C. (2019). Rheological Analysis of Wheat Flour Dough as Influenced by Grape Peels of Different Particle Sizes and Addition Levels. *Food and Bioprocess Technology*, 12(2), 228–245. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2202-6>
- Mohammed, M., Rahman, R., Mohammed, A. M., Betar, B. O., Osman, A. F., Adam, T., Dahham, O. S., & Gopinath, S. C. B. (2022). Improving hydrophobicity and

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

- compatibility between kenaf fiber and polymer composite by surface treatment with inorganic nanoparticles. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(11), 104233. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104233>
- Molina-Rosell, C. (2013). Alimentos sin gluten derivados de cereales. *Enfermedad Celíaca y Sensibilidad Al Gluten No Celíaca*, 447–461. <https://doi.org/10.3926/oms.27>
- Nhamo, N., & Talabi, A. O. (2023). Field management practices for pseudocereals: Yield gains and health benefits. In *Developing Sustainable and Health Promoting Cereals and Pseudocereals* (pp. 189–201). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90566-4.00003-5>
- Nile, S. H., Baskar, V., Selvaraj, D., Nile, A., Xiao, J., & Kai, G. (2020). Nanotechnologies in Food Science: Applications, Recent Trends, and Future Perspectives. In *Nano-Micro Letters* (Vol. 12, Issue 1). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/s40820-020-0383-9>
- Olusanya, R., Kolanisi, U., Ngobese, N., & Mayashree, C. (2021). Underutilization Versus Nutritional-Nutraceutical Potential of the Amaranthus Food Plant: A Mini-Review. *Applied Sciences*, 11(15), 6879. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11156879>
- Ortolan, F., & Steel, C. J. (2017). Protein Characteristics that Affect the Quality of Vital Wheat Gluten to be Used in Baking: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 369–381. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12259>
- Paucar-Menacho, L. M., Schmiele, M., Lavado-Cruz, A. A., Verona-Ruiz, A. L., Mollá, C., Peñas, E., Frias, J., Simpalo-Lopez, W. D., Castillo-Martínez, W. E., & Martínez-Villaluenga, C. (2022). Andean Sprouted Pseudocereals to Produce Healthier Extrudates: Impact in Nutritional and Physicochemical Properties. *Foods*, 11(20), 1–22. <https://doi.org/10.3390/foods11203259>
- Perumal, A. B., Nambiar, R. B., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Nanocellulose: Recent trends and applications in the food industry. *Food Hydrocolloids*, 127, 107484. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107484>

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

- Poria, S., Cambria, E., Bajpai, R., & Hussain, A. (2017). A review of affective computing: From unimodal analysis to multimodal fusion. *Information Fusion*, 37, 98–125. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2017.02.003>
- Rosas-quina, Y. E., & Mejía-nova, F. C. (2021). Supercritical fluid extraction with cosolvent of alkaloids from *Lupinus mutabilis* Sweet and comparison with conventional method. *Food Process Engineering*, 44(4), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13657>
- Sammán, N., Rossi, M. C., Calliope, S., & Repo-Carrasco-Valencia, R. A. M. (2023). Nutritional Composition, Bioactive and Anti-Nutritional Compounds of Latin-American Crop Grains. In *Latin-American Seeds* (pp. 303–340). CRC Press. <https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9781003088424-8&type=chapterpdf>
- Sanaguano Salguero, H., Tigre León, R. A., Bayas Morejón, I. F., & Ruilova Cueva, B. M. (2017). Nutritional Value and Sensory Properties of Cookies Prepared from Flour Mixes of Carrot (*Daucus Carota*), Lupine (*Lupinus Perennis*) and Barley (*Hordeum Vulgare*). *European Scientific Journal*, 13(9), 378–385. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n9p378>
- Schoenlechner, R. (2016). Pseudocereals in Gluten-Free Products. *Pseudocereals: Chemistry and Technology*, 193–216. <https://doi.org/10.1002/9781118938256.ch9>
- Sen, D., Sanjeev, G., & Jitendra, G. (2021). *Breeding for Enhanced Nutrition and Bio-Active Compounds in Food Legumes*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59215-8>
- Shrestha, S., Hag, L. Van, Haritos, V. S., & Dhital, S. (2021). Trends in Food Science & Technology Lupin proteins : Structure , isolation and application. *Trends in Food Science & Technology*, 116(March), 928–939. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.035>
- Simioniuc, D. P., Simioniuc, V., Topa, D., Berg, M. Van Den, & Prins, U. (2021). Assessment of Andean lupin (*Lupinus mutabilis*) Genotypes for Improved Frost Tolerance. *Agriculture*, 11(155), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture11020155>

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI	SGC-UPEC
	INVESTIGACIÓN - CONVOCATORIA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN	

Código UPEC-P08-S1.1-FT01; Versión: 03; 28 de julio de 2022

- Singh, D., & Singh, B. (2019). Investigating the impact of data normalization on classification performance. *Applied Soft Computing Journal*, 105524.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105524>
- Szabóová, M., Záhorský, M., Gažo, J., Geuens, J., Vermoesen, A., D'Hondt, E., & Hricová, A. (2020). Differences in seed weight, amino acid, fatty acid, oil, and squalene content in γ -irradiation-developed and commercial amaranth varieties (*Amaranthus* spp.). *Plants*, 9(11), 1412.
<https://doi.org/https://www.mdpi.com/2223-7747/9/11/1412>
- Umesh, M. R., Angadi, S., Gowda, P., Ghimire, R., & Begna, S. (2019). Climate-Resilient Minor Crops for Food Security. In M. Hasanuzzaman (Ed.), *Agronomic Crops: Volume 1: Production Technologies* (pp. 19–32). Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-32-9151-5_2
- Wong, T.-T. (2015). Performance evaluation of classification algorithms by k-fold and leave-one-out cross validation. *Pattern Recognition*, 48(9), 2839–2846.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.patcog.2015.03.009>
- Zhu, L., Spachos, P., Pensini, E., & Plataniotis, K. N. (2021). Deep learning and machine vision for food processing: A survey. *Current Research in Food Science*, 4(December 2020), 233–249.
<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.009>

Atentamente;

MSc. Marco Rubén Burbano Pulles

DIRECTOR PROYECTO