



***LUPINUS MUTABILIS SWEET: UNA
REVISIÓN DE SUS PROPIEDADES
NUTRICIONALES Y TECNO-
FUNCIONALES, Y SU APLICACIÓN EN LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS
HORNEADOS.***

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Curso: 2022/2023

Alumna:

Rossibell Setefanía Aguilar Monserrate

Tutor:

Pedro A. Caballero Calvo

Directora:

Claudia Melissa Orlandini Mendoza

**Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos
E.T.S. Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia)
Universidad de Valladolid**

Índice

1. Introducción.....	4
2. Objetivos y plan de trabajo.	7
3. Propiedades nutricionales de <i>L. mutabilis</i>	8
3.1 Macronutrientes.	8
3.2 Micronutrientes.	10
3.3 Compuestos antinutricionales.	11
3.4 Compuestos bioactivos.....	13
4. Propiedades tecno-funcionales de la harina de <i>L. mutabilis</i>	14
4.1 Propiedades de hidratación.....	15
4.2 Propiedades de superficie.	16
4.3 Propiedades reológicas y de empastado de las masas.	18
5. Aplicación de la harina de <i>L. mutabilis</i> en la elaboración de productos homeados.	20
5.1 Utilización de la harina de tarwi como ingrediente en la elaboración de pan. 22	
5.2 Utilización de la harina de <i>L. mutabilis</i> como ingrediente en la elaboración de otros productos horneados.	24
6. Otros subproductos e ingredientes derivados de <i>L. mutabilis</i>	26
7. Alergenicidad de <i>L. mutabilis</i>	27
8. Conclusiones y perspectivas futuras.	27

Resumen.

Lupinus Mutabilis Sweet es una especie andina que se posiciona como la leguminosa con el mayor contenido nutricional de la familia *Fabaceae*. Se trata de un grano poco conocido que se está intentando revalorizar, ya que se ha demostrado que su consumo tiene múltiples beneficios para la salud. El objetivo de este trabajo fue recopilar información sobre esta leguminosa, haciendo referencia a las propiedades nutricionales, las propiedades tecno-funcionales de la harina y las distintas aplicaciones de ésta en la elaboración de productos horneados. La principal cualidad nutricional de este grano es que tiene un alto contenido en proteína y fibra, y moderado en grasas, principalmente insaturadas, en las que predominan los ácidos grasos oleico y linoleico. Además, contiene componentes bioactivos que tienen una alta capacidad antioxidante como los compuestos fenólicos, fitoesteroles, tocoferoles, flavonoides, y péptidos bioactivos, entre otros. Dentro de las propiedades tecno-funcionales de la harina de este grano destacan su capacidad de retención de agua y aceite, y la estabilidad espumante, que es comparable con la que muestran otros ingredientes de origen animal como las claras de huevo. Estas propiedades permiten establecer los rangos de incorporación de la harina en una formulación alimentaria, cuando se pretende mejorar la funcionalidad de esta. En cuanto a la aplicación de la harina en la elaboración de productos horneados, se han utilizado porcentajes de sustitución de harina tarwi de hasta un 20, 30 y 50 % en formulaciones de panes, galletas y muffins, respectivamente, obteniendo una buena aceptación sensorial en todos los porcentajes. La concurrencia de unas propiedades nutricionales y tecno-funcionales adecuadas en el tarwi, permiten la obtención de productos horneados con un perfil nutricional mejorado, sin afectar a las características organolépticas del producto, lo que confiere a este grano un elevado potencial como ingrediente alimentario en productos de panificación y repostería.

Abstract.

L. mutabilis sweet is an Andean species that is positioned as the legume with the highest nutritional content of the *Fabaceae* family. It is a little-known grain that is being revalued, since its consumption has been shown to have multiple health benefits. The objective of this work was to gather information about this legume, referring to its nutritional properties, the techno-functional properties of the flour and its different applications in the preparation of baked products. The main nutritional quality of this grain is that it is high in protein and fiber, and moderate in fats, mainly unsaturated, in which oleic and linoleic fatty acids predominate. It also contains bioactive components that have a high antioxidant capacity, such as phenolic compounds, phytosterols, tocopherols, flavonoids and bioactive peptides, among others. Among the techno-functional properties of flour from this grain are its water and oil retention capacity, and its foaming stability, which is comparable to that of other ingredients of animal origin such as egg whites. These properties allow establishing the ranges of incorporation of flour in a food formulation, when it is intended to improve its functionality. Regarding the application of flour in the elaboration of baked products, tarwi flour substitution rates of up to 20, 30 and 50 % have been used in bread, cookie and muffin formulations, respectively, obtaining a good sensory acceptance in all percentages. The concurrence of adequate nutritional and techno-functional properties in tarwi allows obtaining baked products with an improved nutritional profile, without affecting the organoleptic characteristics of the product, which confers to this grain a high potential as a food ingredient in bakery and confectionery products.

1. Introducción.

Las leguminosas son cultivos de plantas comestibles que pertenecen a la familia *Leguminosae* también llamada *Fabaceae* y constituyen una familia botánica amplia y grande. Son una excelente fuente de proteína vegetal, carbohidratos complejos, fibra, hierro y vitaminas del grupo B. Las semillas secas maduras de las leguminosas de grano se las conoce también con el nombre de legumbre, y contribuyen a la nutrición humana y animal, principalmente porque estas semillas son ricas en proteínas. Algunos ejemplos de legumbres son: frijol, algarroba, garbanzo, haba, lenteja, caupí, guisante, soja, lupino, entre otras. En la actualidad, las legumbres se cultivan y consumen en todo el mundo, son una buena opción para quienes siguen una dieta vegetariana o vegana, o para aquellos que limitan el consumo de proteína animal por cuestiones económicas, creencias religiosas o por actos culturales (Foschia et al., 2017).

En países andinos se consumen las legumbres en la mayoría de las comidas porque son cultivos autóctonos de la región, son económicos y proporcionan una óptima nutrición a los consumidores. Cuando en los hogares la economía no se puede permitir costear proteínas de origen animal, las legumbres se vuelven las protagonistas en la mayoría de las comidas, y se consumen en distintas y variadas preparaciones, ya sea en sopas, purés, menestras, arroces, hamburguesas veganas, en ensaladas, entre otras.

Las legumbres carecen de gluten, por lo que constituyen una buena alternativa de consumo para la alimentación de la población celíaca, pudiendo participar en diferentes preparaciones alimentarias como es el caso de los productos de panificación. La mayoría de los productos sin gluten carecen de un adecuado perfil nutricional, ya que estos alimentos se elaboran principalmente con almidones. Por el contrario, al usar legumbres en este tipo de preparaciones, la proporción de macronutrientes mejora significativamente. Las legumbres tienen un bajo índice glucémico, por lo que no aumentan rápidamente los niveles de azúcar en la sangre. Por ello, son una opción ideal para las personas que padecen diabetes. Además, son interesantes porque su consumo puede tener beneficios potenciales para la salud como la reducción del desarrollo de ciertas enfermedades como el cáncer de colon, la osteoporosis, la hipertensión, los trastornos gastrointestinales, la enfermedad coronaria y las dislipemias (Chirinos et al., 2022; Ruiz-López et al., 2019).

Entre las leguminosas mencionadas, aquellas que pertenecen al género *lupinus* resultan ser llamativos debido a que contienen un alto porcentaje de proteína, bajo contenido en almidones (Calderón et al., 2022) y carecen de variedades genéticamente modificadas (OGM), lo cual es una característica preferida por los consumidores (Villarino et al., 2016). El género *Lupinus* incluye más de 300 especies de plantas, pero solo 4 juegan un papel importante en la agricultura: *L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus* y *L. mutabilis*. Estas especies se caracterizan porque han sido domesticadas, tienen bajo contenido de alcaloides y semillas más blandas, y sus vainas que no se rompen ni presentan un excesiva dehiscencia (Villarino et al., 2016). El éxito de estas especies se ha visto obstaculizado por rendimientos inestables, un bajo contenido de aceite y su adaptación a una estrecha gama de condiciones agroclimáticas (Gulisano et al., 2019). Las primeras tres especies mencionadas son nativas de Europa y representan la mayoría de los altramuces cultivados en todo el mundo; se utilizan para alimentación animal y humana.

La última especie mencionada, *L. mutabilis*, es también conocida como tarwi, chocho o altramuza. El nombre “chocho” es una castellanización de “chuchu”, que en quechua significa pezón materno, y es que el chocho desamargado, cocinado y aplastado, se convierte en un líquido blanco parecido a la leche materna que los habitantes utilizaron para alimentar a los niños. El tarwi se produce en las zonas altoandinas desde hace dos mil años aproximadamente, especialmente en Ecuador, Perú, Bolivia y Chile (Rosell et al., 2009). Se cultiva principalmente entre los 2000 a 3800 m de altitud, en climas templados y fríos. Es una planta de porte arbustivo que alcanza una altura de 0,8 - 2,0 m (FAO, 2010). La planta de esta especie es muy valorada por su adaptabilidad a climas más fríos y a una agricultura de bajos insumos en tierras marginales, porque es capaz de soportar sequías leves, lo cual es importante tener en cuenta cuando se desea cultivar este alimento en otros países y climas estacionales (Gulisano et al., 2019).

Los granos de tarwi se encuentran dentro de vainas muy parecidas a las de los guisantes: estos granos se pueden consumir tostados, cocidos, en ensaladas o como ingrediente en la preparación de otros alimentos como harinas, sopas y guisos. Además de ser un alimento nutritivo, el tarwi tiene propiedades medicinales como mejorar la digestión, disminuir los niveles de colesterol en la sangre, reducir la hipertensión arterial y, además, actúa como diurético (Gulisano et al., 2019).

El tarwi contiene entre el 32 y 57 % de proteínas, siendo el grano más rico en este macronutriente comparándolo con las otras especies de lupino domesticadas y leguminosas en general (Santos et al., 1997). La harina de tarwi tiene un mayor contenido de proteínas que la harina de soja, y que otras harinas ampliamente utilizadas en la dieta como la harina de trigo (Gulisano et al., 2019). El contenido de sustancias minerales se asemeja al de otras leguminosas, por lo que el grano representa una valiosa fuente de calcio, fósforo, magnesio, hierro y zinc (FAO, 2010). El tarwi en forma de harina aporta fibra dietética y antioxidantes en forma de taninos, polifenoles y flavonoides, lo que resulta interesante al incorporarlos en la formulación de un alimento, por sus múltiples beneficios para la salud (Córdova-Ramos, Glorio-Paulet, Hidalgo, et al., 2020; Estivi et al., 2022). El tarwi se caracteriza por la más alta calidad de grano que todos los altramuces cultivados, con un contenido de aceite similar a la soja. Por otra parte, es una especie que está adaptada a la agricultura de bajos insumos en climas templados. La combinación de estas características hace que el tarwi sea una alternativa potencialmente superior a las fuentes actuales de proteínas y aceite de origen vegetal en Europa y otras regiones con climas templados (Gulisano et al., 2019).

El principal obstáculo a la hora de consumir tarwi, es el proceso de desamargado que debe llevar previo a su procesamiento, para eliminar el riesgo de intoxicación por alcaloides. Este proceso es capaz de retirar hasta un 99,92 % de los alcaloides, permitiendo su consumo de forma segura (Calderón et al., 2022). Aparte de esta práctica, el tarwi y las legumbres en general deben cocinarse adecuadamente antes de su consumo, ya que se favorece la eliminación de estos compuestos antinutritivos, evitando intoxicaciones alimentarias y facilitando la digestión.

Dentro de las propiedades tecno-funcionales que la harina de tarwi presenta, se puede destacar su acción para ligar masas, ya que tiene una gran capacidad para absorber agua y aceite, aporta viscosidad, actúa como emulsificador, espumante y como agente gelificante (Carvajal-Larenas et al., 2016; Lo et al., 2021). Además, debido a su contenido de azúcares reductores, favorece las reacciones de Maillard en la corteza de

los productos horneados. Estas reacciones son importantes en los productos sin gluten, ya que son elaborados mayormente a base de almidones y suelen tener un aspecto pálido (Vidaurre-Ruiz et al., 2022). Debido a su alta capacidad de retención de agua, la harina de tarwi puede tener un efecto saciante, ya que incrementa la distensión del estómago desencadenando señales de saciedad al cerebro, retrasa el vaciado gástrico y prolonga el tiempo de tránsito del intestino delgado y la tasa de absorción de nutrientes (Villarino et al., 2016).

Esta leguminosa es económica, contribuye a la sostenibilidad de la actividad agraria, presenta un sabor agradable y, además, tiene la capacidad de aumentar la calidad nutricional y modificar las propiedades tecno-funcionales por los atributos que posee, al ser incorporada en forma de harina a un sinnúmero de productos horneados como panes, muffins, galletas, pastas, snacks, entre otros (Villarino et al., 2016). El consumo de productos elaborados con lupinos ha demostrado a través de estudios clínicos, la reducción de los factores de riesgo de obesidad, enfermedad cardiovascular, diabetes tipo 2, hipertensión y problemas gastrointestinales (Chirinos-Arias, 2015; Gálvez-Ranilla et al., 2009; Villarino et al., 2016).

Siendo una de las áreas de estudio de este trabajo, la aplicación de la harina de tarwi en la elaboración de productos horneados, es importante destacar que existen pocos estudios en este ámbito, sin embargo, la aplicación de esta harina en panes a base de harina de trigo es lo más estudiado en la actualidad, ya que es un alimento mundialmente consumido y con una formulación sencilla. Por otro lado, existe un limitado número de trabajos previos que estudian la adición de esta harina en panes, ya sean a base de harina de trigo o de almidones (Calderón et al., 2022; Güemes-Vera et al., 2008; Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Repo-Carrasco-Valencia et al., 2020; Villacrés, Cueva, et al., 2020). Asimismo, la incorporación de esta harina en la elaboración de muffins y galletas, alimentos que son ampliamente consumidos ya sea en el desayuno o la merienda, se ha estudiado junto con almidones y harina de trigo, respectivamente (Obeidat et al., 2012; Salvatierra-Pajuelo et al., 2019; Vidaurre-Ruiz et al., 2022). Todos estos estudios buscan conseguir características texturales y sensoriales ideales para los consumidores, beneficiándose de la mejora nutricional tras la incorporación de esta harina.

2. Objetivos y plan de trabajo.

Esta revisión bibliográfica tiene como objetivo recopilar información sobre la leguminosa *L. mutabilis*, haciendo referencia a las propiedades nutricionales, las propiedades tecno-funcionales de la harina y las distintas aplicaciones de la harina en la elaboración de productos horneados.

En primer lugar, se describen las propiedades nutricionales del tarwi, detallando el contenido de macronutrientes (proteínas, carbohidratos, grasas y fibra) y micronutrientes (vitaminas y minerales) cuando el grano está amargo y desamargado, el contenido de los compuestos antinutricionales (ácido fítico, saponinas, taninos condensados, estaquiosa, rafinosa, verbascosa, inhibidores de tripsina y, en especial de los alcaloides), y el contenido de compuestos bioactivos (polifenoles, fitoesteroles, tocoferoles, flavonoides, péptidos bioactivos, entre otros) que son interesantes cuando se quiere producir alimentos funcionales. En segundo lugar, se mencionan las propiedades tecno-funcionales del tarwi, como las propiedades de hidratación (solubilidad y capacidad de absorción de agua), las propiedades de superficie (capacidad de absorción de aceite, emulsificante y espumante, estabilidad de la emulsión y la espuma), y las propiedades reológicas y de empastado de las masas (ensayos de textura, termo-mecánicos, viscosidad y concentración mínima de gel). Finalmente, se muestran estudios relacionados con la aplicación de la harina de tarwi en la elaboración de productos horneados, principalmente en panes, muffins y galletas, según los distintos porcentajes de sustitución y la percepción sensorial. De manera complementaria a estos aspectos, se realiza una breve mención acerca de los subproductos e ingredientes que se pueden obtener del procesamiento del tarwi, así como el carácter alergénico de algunos de sus componentes.

3. Propiedades nutricionales de *L. mutabilis*.

Actualmente, el tarwi es una leguminosa poco conocida ya que se cultiva y se consume mayormente en las regiones andinas. Sin embargo, existe un creciente interés por incluirlo en diferentes formulaciones alimentarias debido a su importancia nutricional. Por esta razón es importante conocer las propiedades nutricionales que posee este grano, tanto del contenido de macronutrientes y micronutrientes como el contenido de los compuestos antinutricionales y compuestos bioactivos.

3.1 Macronutrientes.

El tarwi tiene una composición nutricional única en comparación con otras leguminosas. Como se observa en la *tabla 1*, el contenido proteico del tarwi amargo es mucho mayor que el de otras leguminosas y varía entre el 32 y el 57 %. Los carbohidratos son la principal fuente de energía y comprenden el 25 – 43 % de la semilla, mientras que la grasa comprende del 13 al 25 % del grano. La composición de ácidos grasos del tarwi es similar a la de otras leguminosas y se compone principalmente de ácidos grasos insaturados (Signorini et al., 2017). En términos generales, este grano es una excelente fuente de proteínas de alta calidad, y además cuenta con una proporción equilibrada de carbohidratos y grasas.

Tabla 1. Contenido de macronutrientes de los granos de *L. mutabilis*.

Macronutriente	Grano amargo [g/100 g de materia seca]	Grano desamargado [g/100 g de materia seca]	Referencias
Proteína	32 - 57	51 - 72	Briceño-Berru et al., 2021; Carvajal-Larenas, 2019; Carvajal-Larenas et al., 2016; Czubinski et al., 2021; Romero-Espinoza et al., 2020; Ruiz-López et al., 2019
Carbohidratos	25 - 43	22 - 33	Briceño-Berru et al., 2021; Carvajal-Larenas, 2019; Carvajal-Larenas et al., 2016
Grasa	13 - 25	9 - 20	Briceño-Berru et al., 2021; Carvajal-Larenas, 2019; Carvajal-Larenas et al., 2016; Czubinski et al., 2021; Romero-Espinoza et al., 2020; Ruiz-López et al., 2019
Fibra	6 - 11	6.9 – 7.5	Carvajal-Larenas, 2019; Carvajal-Larenas et al., 2016; Romero-Espinoza et al., 2020; Ruiz-López et al., 2019

Esta variabilidad en el contenido de macronutrientes se asocia con factores genéticos y agronómicos. La cantidad de proteínas, grasas y alcaloides, son factores que dependen de la variedad genética, la susceptibilidad a las heladas y enfermedades, forma de la planta y su crecimiento vegetativo, (Carvajal-Larenas et al., 2016).

El proceso de desamargado acuoso causa una pérdida de la materia seca, que es soluble en el agua del procesado, lo que puede resultar en el aumento aparente de la proteína entre 51 y 72 %, debido a la lixiviación preferencial de carbohidratos y minerales disueltos. La proteína del tarwi es considerada una fuente completa y de alta calidad, ya que es rica en aminoácidos esenciales, incluyendo la lisina, que es limitante en muchos granos y cereales (Chirinos-Arias, 2015; Repo-Carrasco-Valencia, 2020). La digestibilidad reportada del aislado de proteína de tarwi es de un 92 %, que es comparable con la digestibilidad de la caseína (Carvajal-Larenas et al., 2016; Córdova-

Ramos, Glorio-Paulet, Camarena, et al., 2020), lo que quiere decir que se trata de un macronutriente altamente biodisponible. Inclusive se ha reportado que la digestibilidad de las proteínas mejora hasta un 96 % después del proceso de fermentación (Villacrés & Rosell, 2021), proceso utilizado para eliminar compuestos antinutricionales y mejorar la calidad y la cantidad de proteínas del tarwi.

Las diferencias en el contenido de carbohidratos entre el tarwi amargo y desamargado probablemente también se puede atribuir al estrés hídrico, la variedad genética y las condiciones agronómicas (Carvajal-Larenas et al., 2016), quedándose entre un 22 y 33% en los granos desamargados. Además, la lixiviación preferencial de este macronutriente durante el desamargado puede ser otra de las causas de las diferencias observadas (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2020).

En cuanto al contenido de lípidos, se ha reportado que las plantas con una temporada de crecimiento más larga tienen un tiempo más prolongado y disponible para favorecer los procesos de metabolismo secundario que desencadenan la síntesis lipídica. Por lo tanto, las semillas de variedades de maduración tardía generalmente acumulan mayores cantidades de lípidos que las de las variedades de maduración temprana, por lo que la última etapa de maduración es sumamente importante para el contenido de aceite del grano (Carvajal-Larenas et al., 2016). La variación del contenido de grasas va a depender también si el grano de tarwi se encuentra desamargado (9 - 20 % de grasas) o no (13 – 25 % de grasas) esto podría deberse a una especie de formación de micelas con lecitina presente en el grano. Por otra parte, la evidencia señala que la fracción lipídica también puede verse afectada por el estrés hídrico, en estas condiciones el contenido de lípidos podría reducirse a la mitad (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Respecto a la composición de ácidos grasos, el proceso de desamargado acuoso parece no afectar significativamente el perfil de ácidos grasos del tarwi, lo cual es crucial ya que las especies de altramuz en general contienen aproximadamente el 80 % de ácidos grasos insaturados en la fracción lipídica (Carvajal-Larenas et al., 2016). Estudios previos han determinado que el 80 % de la fracción lipídica corresponde a ácidos grasos insaturados (ácidos oleico y linoleico). Además, estos ácidos grasos presentaron una estabilidad oxidativa bastante alta comparable con los equivalentes de los aceites de colza y de girasol, por lo que se ha propuesto la posibilidad de usar el aceite de tarwi como aditivo en otros aceites vegetales, con la finalidad de aumentar la estabilidad oxidativa (Czubiński & Siger, 2023). Paralelamente se ha demostrado que la vida útil del aceite de tarwi a 25 °C puede llegar a 2.7 años (Pascual-Chagman et al., 2021).

Las fibras dietéticas son carbohidratos que los seres humanos no pueden digerir en el intestino delgado, es decir solo transitan por el tracto intestinal. Sin embargo, esta fibra es importante a nivel del colon para el correcto funcionamiento del sistema intestinal. La cáscara de altramuz se compone de hemicelulosa y pectina, que son un grupo de sustancias que constituyen la fibra alimentaria (Van de Noort, 2017; Wrigley, 2003). Algunos estudios indican que el tarwi tiene un contenido promedio de fibra más bajo que otras especies de altramuz, pero este contenido de fibra sigue siendo relevante dentro de la distribución de macronutrientes del grano. Como sucede en los casos anteriores, la variabilidad en el contenido de fibra también puede explicarse parcialmente por factores agronómicos, habiendo demostrado que la fibra puede disminuir aproximadamente en un 10 % como resultado del estrés hídrico (Carvajal-Larenas et al., 2016).

3.2 Micronutrientes.

Los micronutrientes son importantes para la salud ya que están involucrados en múltiples funciones corporales de los seres humanos y en la prevención de enfermedades. El tarwi es una fuente muy importante de minerales como se observa en la *tabla 2*, especialmente de hierro, zinc, calcio, magnesio, potasio y fósforo, los cuales juegan un papel relevante en el organismo. Por ejemplo, el hierro es necesario para la producción de hemoglobina, que transporta el oxígeno en la sangre; el zinc juega un rol importante en el sistema inmunológico y es vital para el crecimiento y el desarrollo; el calcio y el magnesio son cruciales para la salud ósea y la función muscular; mientras que el fósforo es esencial para la formación de ADN y ARN.

Tabla 2. Contenido de minerales de los granos de *L. mutabilis*.

Minerales	Grano amargo [mg/100 g de materia seca]	Grano desamargado [mg/100 g de materia seca]	Referencias
Calcio	120 – 180	130 – 420	Carvajal-Larenas et al., 2016; Torres et al., 1980
Cobre	0.8 – 1.1	1.0	Carvajal-Larenas et al., 2016; Peralta & Caicedo, 2000; Torres et al., 1980
Hierro	5.0 – 7.3	5.8 – 19.9	Carvajal-Larenas et al., 2016; Torres et al., 1980
Potasio	1130 - 1400	15 – 28.6	Carvajal-Larenas et al., 2016; Torres et al., 1980
Magnesio	240 – 330	69.1 – 170	Carvajal-Larenas et al., 2016; Peralta & Caicedo, 2000; Torres et al., 1980
Manganeso	2.6 – 3.7	2.6	Carvajal-Larenas et al., 2016; Peralta & Caicedo, 2000; Torres et al., 1980
Sodio	15	42 – 52.4	Carvajal-Larenas et al., 2016; Peralta & Caicedo, 2000; Torres et al., 1980
Fósforo	600 – 880	430 – 1450	Carvajal-Larenas et al., 2016; Torres et al., 1980
Zinc	3.4 – 3.6	3.6 – 5.0	Carvajal-Larenas et al., 2016; Torres et al., 1980

Aunque la evidencia científica indica que la acumulación de elementos minerales depende mucho del suelo donde se cultiva, las condiciones climáticas y la variedad, estos valores también varían si el grano se encuentra amargo, desamargado e incluso existen investigaciones para el grano fermentado (Romero-Espinoza et al., 2020; Villacrés, Quelal, Jácome, et al., 2020). Después de someterse al proceso de desamargado, el tarwi presenta una disminución del contenido de minerales, a excepción del calcio, hierro, sodio y zinc, que podría atribuirse al proceso de lixiviación. La disminución notable de potasio y magnesio puede deberse a que se encuentran en una forma química altamente soluble. Por otro lado, los aumentos en los contenidos de calcio, hierro, sodio y zinc podrían deberse a que se encuentran en forma de complejos poco solubles como el ácido fítico. También existe la posibilidad de que el aumento del contenido de hierro y zinc se deba al contacto del grano con residuos minerales presentes en el agua utilizada durante el proceso de desamargado (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Existe poca información disponible sobre el contenido de vitaminas en las especies de altramuz en general, pero se sabe que el tarwi contiene cantidades moderadas de vitaminas del complejo B como la tiamina (B1), la riboflavina (B2) y la niacina (B3) en el

grano desamargado, como se puede observar en la *tabla 3* (Carvajal-Larenas, 2019; Carvajal-Larenas et al., 2016). Trabajos previos han logrado incrementar en un 44 % el contenido de vitamina B12 en 3 tipos de semillas de lupinos, entre ellas el tarwi, mediante un proceso de co-fermentación de las semillas con *Rhizopus oligosporus* y *Propionibacterium freudenreichii* durante 72 horas, habiéndose conseguido valores de vitamina B12 de 800 ng/g de materia seca (Signorini et al., 2017). Un estudio sobre fermentación de tarwi con *Rhizopus oligosporus* indica un aumento en la cantidad de vitamina B12, pero no exponen los valores de este incremento (Jiménez-Martínez et al., 2007).

Tabla 3. Contenido de vitaminas de los granos de *L. mutabilis*.

Vitaminas	Grano amargo [mg/100 g de materia seca]	Grano desamargado [mg/100 g de materia seca]	Referencias
Tiamina (B1)	0.51	0.58	Carvajal-Larenas et al., 2016; Castillo, 1965; Torres et al., 1980
Riboflavina (B2)	0.42	0.51	Carvajal-Larenas et al., 2016; Castillo, 1965; Torres et al., 1980
Niacina (B3)	4.10	3.10	Carvajal-Larenas et al., 2016; Castillo, 1965; Torres et al., 1980
Ácido ascórbico (C)	5.82 – 13.44	3.41 – 7.74	León-Marroué et al., 2011; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020
Tocoferoles (E)	-	1.3	Boschin & Arnoldi, 2011

Como ocurre en los casos anteriores, las vitaminas no son la excepción y también existen pérdidas de estos nutrientes en el proceso de desamargado, ya sea por el remojo o por la cocción. Aunque otros estudios mencionan que el aceite tarwi también contiene vitaminas A y D, que son vitaminas liposolubles, no se ha cuantificado la concentración de estas vitaminas (Czubinski et al., 2021; De-La-Cruz-Yoshiura et al., 2022; Van de Noort, 2017).

3.3 Compuestos antinutricionales.

Las legumbres son ricas en proteínas, fibra y otros nutrientes que son importantes para la nutrición humana, pero también contienen compuestos antinutricionales que pueden reducir su valor nutricional, lo que afecta la absorción y la utilización de ciertos nutrientes y pueden tener efectos adversos para la salud cuando se consumen en grandes cantidades. Los compuestos antinutricionales en el tarwi son relativamente escasos en comparación con otras legumbres (Villarino et al., 2016), entre los cuales podemos encontrar al ácido fítico, los taninos condensados, la estaquirosa, la rafinosa, la verbascosa, los inhibidores de tripsina, las saponinas y los alcaloides.

Algunos de los compuestos antinutricionales que se encuentran en el tarwi están expuestos en la *tabla 4*. Entre ellos están los fitatos, derivados del ácido fítico, y las saponinas, que pueden formar complejos con el hierro y el zinc, lo que reduce la absorción de estos minerales en el tracto digestivo. Asimismo, pueden interferir con la absorción de las grasas y los carbohidratos en el intestino. Otros compuestos que se encuentran presentes en las legumbres son las lectinas, que son proteínas que se encuentran en muchas legumbres y que pueden afectar en la absorción de nutrientes al unirse a las células del revestimiento intestinal, provocando malestar estomacal y otros problemas digestivos.

Tabla 4. Contenido de compuestos antinutricionales del grano de *L. mutabilis* amargo.

Sustancia	Cantidad [g/100 g de materia seca]	Referencia
Ácido fítico	0.25 - 2.74	Carvajal-Larenas et al., 2016; Romero-Espinoza et al., 2020; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020
Saponinas	1.7	Carvajal-Larenas et al., 2016
Taninos condensados	0.06 – 0.97	Carvajal-Larenas et al., 2016; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020
Estaquiosa	1.3 – 5.0	Carvajal-Larenas et al., 2016; Jiménez-Martínez et al., 2007
Rafinosa	0.9 – 1.5	Carvajal-Larenas et al., 2016; Jiménez-Martínez et al., 2007
Verbascosa	1.06	Jiménez-Martínez et al., 2007
Inhibidores de tripsina	1.50 – 1.84	Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020
Alcaloides	0.007 – 4.5	Carvajal-Larenas et al., 2016; Jiménez-Martínez et al., 2007; Romero-Espinoza et al., 2020; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020

Los inhibidores de tripsina pueden interferir en la digestión de proteínas y reducir la absorción de los aminoácidos esenciales. Otros compuestos que igualmente están presentes en el tarwi son los oligosacáridos como la estaquiosa, la rafinosa y la verbascosa, mismos que están relacionados con problemas de flatulencias, estos también pueden reducirse por varios métodos (Jiménez-Martínez et al., 2007; Villarino et al., 2016). Por otro lado, los alcaloides son compuestos químicos que pueden tener efectos farmacológicos, pero también pueden causar náuseas, vómitos y otros efectos secundarios si se consumen en grandes cantidades.

Existen variedades domesticadas de tarwi que tienen un bajo contenido de alcaloides y compuestos antinutricionales (Van de Noort, 2017), sin embargo, estos valores aún pueden reducirse mediante diferentes técnicas, como el procesamiento acuoso en frío o en caliente, la extracción química mediante el uso de disolventes orgánicos y los procesos biológicos mediante fermentación fúngica y/o bacteriana (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Los alcaloides del tarwi son del tipo quinolizidínicos y en su mayoría predominan la esparteína y la lupanina. Estos compuestos pueden causar neurotoxicidad, vómitos, mareos y limitaciones en las funciones motrices. Aunque los datos de exposición crónica son muy limitados, existen niveles máximos considerados como seguros para la Autoridad alimentaria de Australia y Nueva Zelanda, quienes señalan un límite de 200 mg de alcaloides quinolizidínicos /kg de lupino (FSANZ, 2001), mientras que la Autoridad Europea de Seguridad alimentaria indica un límite de 0.16 mg alcaloides quinolizidínicos /kg de peso corporal (Schrenk et al., 2019).

En la *tabla 5* se recopilan los diferentes métodos que existen para desamargar tarwi, es decir reducir el contenido de alcaloides presentes. El método tradicional para desamargar legumbres consiste en tres etapas: el remojo, la cocción y el lavado, aplicando en cada etapa un tiempo determinado. Este método es bastante eficaz por lo que se usa actualmente para desamargar las semillas a escala comercial (Caicedo et al., 2001), debido a que no requiere infraestructura complicada, no modifica el sabor natural del tarwi y no se usan productos químicos. Este proceso necesita mucha agua, es lento y causa pérdida de materia seca. De manera complementaria, se han estudiado otros métodos para desamargar el tarwi en cuanto a rendimiento y eficiencia energética,

habiéndose reportado que se puede conseguir el mismo objetivo con extracción química o fermentación, empleando el grano entero, sin cáscara o en forma de harina, obteniendo así diferentes resultados (Aguilar-Acosta et al., 2020; Carvajal-Larenas et al., 2013, 2014, 2016; Torres et al., 1980; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020; Villacrés, Quelal, Jácome, et al., 2020).

Tabla 5. Porcentajes de reducción de alcaloides en *L. mutabilis*.

Método	Porcentaje de reducción	Referencia
Acuoso	91.87 – 99.9 %	Carvajal-Larenas et al., 2016; Cortés-Avendaño et al., 2020; Torres et al., 1980; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020
Químico	80.0 – 99.9 %	Carvajal-Larenas et al., 2016; Torres et al., 1980
Biológico	50 – 93.83 %	Carvajal-Larenas et al., 2016; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020

El método químico usa hexano, dióxido de carbono, soluciones básicas o alcohol mixto (etanol mezclado con hexano) para extraer los alcaloides del tarwi. El tiempo de extracción varía considerablemente si el grano de tarwi se encuentra entero o en forma de harina, pero en el segundo caso se corre el riesgo de perder sustancias de interés como carbohidratos, vitaminas, minerales y aminoácidos. Además, se debe tener en cuenta que los procesos de extracción química pueden agregar residuos al grano, lo que podría plantear riesgos para la salud y podría afectar el sabor de este (Carvajal-Larenas et al., 2016).

En el mismo estudio de Signorini et al. (2017), se evidenció una disminución en el contenido de alcaloides al someter al tarwi a una co-fermentación de *Rhizopus oligosporus* y *Propionibacterium freudenreichii*. Otro estudio logró disminuir el contenido total de alcaloides en un 91 % después de 48 horas de fermentación utilizando solo *Rhizopus oligosporus* (Jiménez-Martínez et al., 2007). En definitiva, utilizando cualquiera de los métodos mencionados, se logra disminuir el contenido de alcaloides a niveles aceptables en comparación con la semilla sin tratar, inclusive se pueden lograr reducciones muy por debajo del límite establecido por las autoridades (Cortés-Avendaño et al., 2020; Signorini et al., 2017).

3.4 Compuestos bioactivos.

El tarwi además de tener compuestos antinutricionales, también contiene compuestos bioactivos como los polifenoles, los fitoesteroles, los tocoferoles, los flavonoides, los triterpenos (escualeno), los carotenoides, las isoflavonas y los péptidos bioactivos. Estos tienen una gran capacidad antioxidante, antiinflamatoria y otras funciones fisiológicas importantes (Brandolini et al., 2022; Curti, Alcócer, et al., 2022; Czubinski et al., 2021; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020). Por ejemplo, los fitoesteroles son compuestos similares al colesterol y pueden ayudar a reducir los niveles de colesterol en sangre, por lo tanto, son beneficiosos para la salud cardiovascular. Los polifenoles y flavonoides son compuestos que ayudan a proteger las células del cuerpo contra el daño oxidativo causado por los radicales libres, previniendo enfermedades crónicas como el cáncer y las enfermedades del corazón (Curti et al., 2022; Ruiz-López et al., 2019). Muchos de estos compuestos se ven afectados si el grano se encuentra desamargado, fermentado o desgrasado (Brandolini et al., 2022; Córdova-Ramos, Glorio-Paulet, Hidalgo, et al., 2020; Estivi et al., 2022; Villacrés, Quelal, Fernández, et al., 2020).

Estivi et al. (2022), evaluaron los compuestos fenólicos libres y la capacidad antioxidante de 33 ecotipos de semillas desamargadas de tarwi, también realizaron una comparación de los resultados con las otras 3 especies domesticadas de lupino. Se ha determinado que los compuestos fenólicos libres oscilan entre 85.5 a 99.6 % de los compuestos fenólicos totales. Entre ellos se encuentran principalmente los flavonoides (genisteína y derivados de genisteína, apigenina, catequina y naringenina). Además, se reportó que la capacidad antioxidante de los ecotipos de tarwi excedió a la de las 3 especies control, lo cual se correlacionó con el contenido de flavonoides que también fue superior. Existe una disminución de la actividad antioxidante por los fenólicos solubles que se eliminan en el proceso de desamargado, pero la fracción no soluble y los antioxidantes lipofílicos no parecen afectados sino más bien concentrados.

Algunos compuestos importantes como los péptidos bioactivos han sido obtenidos mediante la hidrólisis enzimática de la proteína de tarwi, utilizando ciertas enzimas como la alcalasa y la neutrasa. Este proceso es capaz de liberar un conjunto de péptidos bioactivos, que tienen importantes propiedades multifuncionales frente al estrés oxidativo, la hipertensión y la diabetes. Se ha reportado que la proteína hidrolizada podría considerarse como una fuente potencial de 25 péptidos con propiedades bioactivas y con posibles aplicaciones en la industria alimentaria y nutracéutica (Chirinos et al., 2022). Pese a que el tarwi no destaca por ser una fuente excepcional de vitaminas, si se destaca por ser una excelente fuente de otros nutrientes esenciales y beneficiosos para la salud cardiovascular y metabólica, siempre que se lleve una dieta equilibrada.

4. Propiedades tecno-funcionales de la harina de *L. mutabilis*.

El tarwi se puede utilizar como alimento para animales y humanos. El grano desamargado se consume entero como aperitivo o como parte de un plato principal, así como ingrediente alimentario en forma de harina, siendo incorporado en varias formulaciones de productos. Por ejemplo, se ha propuesto el empleo de harinas de tarwi en alimentos para bebés, como sustituto de leche, en la formulación de hamburguesas, embutidos, galletas, panes, muffins, pastas, o como ingrediente adicionado a yogures, entre otros (Carvajal-Larenas, 2019; Curti et al., 2022). El empleo de las harinas de tarwi como ingrediente alimentario se justifica en base a sus propiedades tecno-funcionales, En la *tabla 6* se recopilan algunas de las propiedades funcionales más importantes de la harina de tarwi obtenida a partir de granos desamargados. Estas propiedades son conferidas principalmente por las proteínas, ya que están relacionadas con sus propiedades fisicoquímicas y estructurales de estos componentes (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Tabla 6. Propiedades tecno-funcionales de la harina de *L. mutabilis*.

Propiedad	Valor	Observaciones	Referencias
Punto isoeléctrico	pH 4 a 6	Medio ácido	Carvajal-Larenas et al., 2016
Solubilidad	6 % Aumenta 5 % a 60°C	Solubilidad baja	Salazar et al., 2021
Capacidad de absorción de agua	1.2 g de agua/g de harina o también representado en % 120 % con 44.3 % de proteína	Capacidad de absorción de agua alta. Está directamente relacionada con el	Carvajal-Larenas et al., 2016; Vidaurre-Ruiz et al., 2022

	222.79 % con 52.9 % de proteína 276.0 % con 55.2 % de proteína	contenido de proteínas de la harina	
Capacidad de absorción de aceite	1.7 g de aceite/g de harina o también representado en % 149 %	Capacidad de absorción de aceite alta. Depende del contenido de grasa de la harina. Reportado como mejor que la soja.	Carvajal-Larenas et al., 2016; Kohajdová et al., 2011; Vidaurre-Ruiz et al., 2022
Capacidad emulsionante	55.1 g de aceite emulsionado/g de harina	Capacidad emulsionante buena, similar a la soja. 2 % de harina y 98 % de agua (una harina muy soluble es un emulsionante pobre)	Carvajal-Larenas et al., 2016; Kohajdová et al., 2011
Estabilidad emulsionante	Capacidad de la harina de absorber las interfases agua-aceite 70.8 % después de 10 h 69 % después de 20 h hasta 120 h	Capacidad emulsionante aceptable. Depende del contenido de proteína Suspensión de 2 % de harina a 21 °C	Carvajal-Larenas et al., 2016; Kohajdová et al., 2011
Capacidad espumante	Volumen formado de espuma respecto del líquido. 132 % con 2 % de harina 180 % con 6 % de harina 186 % con 10 % de harina	Capacidad espumante buena, y se incrementa con el aumento de la cantidad de harina. 5 min de batido a 21 °C	Carvajal-Larenas et al., 2016; Kohajdová et al., 2011
Estabilidad de la espuma	Relación entre el volumen de espuma generado y el tiempo 93.9 % después de 1 h 92.4 % después de 2 h 78.8 % después de 36 h	Estabilidad espumante buena, mejora a pH 2 2 % de harina a 21 °C	Carvajal-Larenas et al., 2016; Kohajdová et al., 2011
Viscosidad	20 – 30 cP En porcentajes de sustitución de harina de trigo de 10 y 20 % respectivamente	Viscosidad baja. Depende del contenido de almidón	Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Vidaurre-Ruiz et al., 2022
Textura de la masa	Dureza de la masa aumentó en un 304.7 % con una mezcla de 80 % harina de trigo y 20 % harina de tarwi	Dureza aumenta en porcentajes de sustitución más altos	Gutiérrez-Castillo et al., 2022
Concentración mínima de gel	Porcentaje de peso de harina de altramuz por volumen 14 %	Concentración mínima de gel aceptable, reportada como mejor que la soja y que otras harinas andinas	Carvajal-Larenas et al., 2016; Salazar et al., 2021

4.1 Propiedades de hidratación.

La harina de tarwi tiene baja solubilidad en agua debido a la presencia de componentes insolubles como la fibra. Sin embargo, esta característica puede mejorar en condiciones alcalinas, ya que el punto isoeléctrico de la proteína de esta harina se encuentra en un pH ácido entre 4 y 6 (Carvajal-Larenas et al., 2016), el cual limita su solubilidad en condiciones neutras o ácidas (Lo et al., 2021). La solubilidad de la harina también puede verse influenciada por la transformación que haya sufrido, por ejemplo, el tratamiento térmico, la reducción del tamaño de partícula o el método de desamargado, estos pueden ayudar a mejorar la solubilidad de la harina y facilitar su incorporación en

productos alimenticios (Aguilar-Acosta et al., 2020; Carvajal-Larenas et al., 2016). Curti et al. (2022) demostraron que el tarwi adquiere mayor solubilidad en agua que *L. albus* después del proceso de desamargado tradicional. Salazar et al. (2021) compararon la solubilidad de la harina de tarwi con otras harinas andinas, la harina de tarwi fue la que tuvo solubilidad más baja debido a su bajo contenido de almidón, sin embargo, la solubilidad puede mejorar en un 5 % cuando la temperatura supera los 60 °C.

La capacidad de absorción de agua de las harinas determina la reología de las masas e influye en la etapa de cocción y las propiedades texturales del producto horneado (Vidaurre-Ruiz et al., 2022). La cantidad de agua que la harina de tarwi puede absorber, está estrechamente relacionada con su perfil de aminoácidos, estructura, hidrofobicidad, pH, tratamiento térmico, fuerza iónica, cantidad de proteína y presencia de grasas. Esta característica también está influenciada por el proceso tecnológico utilizado para desamargar el grano: remojo, fermentación o germinación. La capacidad de absorción de agua de tarwi es de 1.2 g de agua/g de harina (Carvajal-Larenas et al., 2016). Esta cantidad es menor a la de otras especies de lupino y puede ser debido a que el tarwi tiene mayor contenido de grasa. Además, se reportó que la baja capacidad de absorción de agua comparada con las otras especies de lupino puede estar relacionada con una baja disponibilidad de aminoácidos polares, que son los sitios primarios para la interacción de proteínas con el agua.

La harina de tarwi mostró un ligero aumento de capacidad de absorción de agua a 60 °C, atribuido al alto contenido de proteínas, porque pueden evitar la difusión de agua en los gránulos de almidón (Salazar et al., 2021). Esto es debido a que las cadenas laterales polares establecen fuertes enlaces de hidrógeno, formando una red que limita la hinchazón del almidón. Por otro lado, se demostró que la harina de tarwi pudo alcanzar una capacidad de absorción de agua de 222.79 %, a partir de una harina que contenía un 52.9 % de proteína, asimismo, otro estudio reportó que la misma harina pudo lograr una capacidad de absorción de agua de 120 % conteniendo un 44.43 % de proteína (Vidaurre-Ruiz et al., 2019), por lo que se podría inferir que la capacidad de retención de agua está directamente relacionada con la cantidad de proteína que contiene la harina.

4.2 Propiedades de superficie.

Las propiedades de superficie se refieren a las características fisicoquímicas de la harina, que afectan a la interacción de ésta con otros ingredientes en los procesos de producción de alimentos. Algunas de las propiedades que se han estudiado en esta especie son la capacidad de absorción de aceite, la capacidad emulsionante, la estabilidad emulsionante, la capacidad espumante y la estabilidad de la espuma.

La capacidad de interactuar con el aceite está relacionada con la presencia de componentes lipofílicos que permiten la interacción del aceite con la harina (Vidaurre-Ruiz et al., 2022). La cantidad de aceite que la harina de tarwi puede absorber, muestra una relación inversa entre el contenido de grasa de la harina (entera o desgrasada) y la capacidad de absorción de aceite. Esto quiere decir que las proteínas de la harina de tarwi tienen una naturaleza lipofílica. La capacidad de absorción de aceite de la harina de tarwi es de 1.7 g de aceite/g de harina (Carvajal-Larenas et al., 2016), mucho más que el encontrado en la soja, de modo que esta harina puede reemplazar a la de soja en formulaciones de alimentos y así aprovechar su capacidad de absorción de aceite.

En general, la capacidad de absorción de aceite es buena, lo que concuerda con lo expuesto por otros autores (Kohajdová et al., 2011).

La capacidad emulsionante se define como los gramos o mililitros de aceite emulsionado por gramo de harina. La capacidad emulsionante de la harina de tarwi es de 55.1 g de aceite emulsionado/g de harina, esta capacidad se midió con 2 % de harina y 98 % de agua (Carvajal-Larenas et al., 2016). Se evidenció que la capacidad emulsionante disminuye cuando se aumenta la concentración de harina. Esta característica también se encuentra afectada por el pH, ya que, a pH por debajo del punto isoeléctrico, la capacidad emulsionante es mayor, esto probablemente se debe a una mayor solubilidad de la harina en aceite en estas condiciones. La capacidad emulsionante se relaciona inversamente con su solubilidad en agua, ya que una harina muy soluble en agua es un emulsionante pobre. Los valores de capacidad emulsionante de la harina de tarwi son mayores o similares a la soja, por lo que se podría utilizar como agente emulsionante, esto coincide con lo expuesto por otros autores (Kohajdová et al., 2011).

La estabilidad emulsionante es conferida por la proteína y se basa en la capacidad que tiene la harina en absorber las interfases agua-aceite, desplegar y estabilizar gotas de aceite, formando películas interfaciales cohesivas y mecánicamente fuertes que exhiben viscoelasticidad. Esta característica se expresa como la actividad emulsionante después de un periodo específico de tiempo. La estabilidad emulsionante de una suspensión al 2 % hecha de harina de tarwi fue del 70.8 % después de 10 h a 21 °C, este valor disminuyó ligeramente a 69 % después de 20 h y luego se mantuvo igual durante 120h. Además, se ha informado que la estabilidad emulsionante del concentrado de tarwi es mejor que el de la harina (Carvajal-Larenas et al., 2016), por lo tanto, la estabilidad emulsionante de la harina de tarwi es óptima, como mencionan otros autores (Kohajdová et al., 2011).

Por otro lado, las espumas también son sistemas bifásicos, al igual que las emulsiones, la formación de espuma que se ve influenciada por la actividad de la superficie de las proteínas, procedimiento de procesamiento y composición de proteínas. La capacidad de formación de espuma se define como la relación (en porcentaje) entre el volumen de espuma después del batido/volumen inicial de la solución de proteína x 100. En general, las proteínas de altramuza tienen la menor capacidad espumante entre las proteínas de leguminosas y oleaginosas (Carvajal-Larenas et al., 2016).

Una suspensión con 2 % de harina de tarwi tuvo capacidad espumante del 132 % después de batir durante cinco minutos a 21 °C. Sin embargo, en las mismas condiciones, este valor aumentó a 180 y 186 % cuando el contenido de harina de la suspensión se incrementó a 6 y 10 %, respectivamente (Carvajal-Larenas et al., 2016). La adición de harina aumenta la cantidad de proteínas en el sistema y dado que las proteínas son materiales tensioactivos, la tensión interfacial en la suspensión se reduce y se aumenta el volumen de espuma. La harina de tarwi desgrasada también aumentó su capacidad espumante, del 150 al 158 % (Carvajal-Larenas et al., 2016), probablemente porque al estar desgrasada se reduce el posible efecto competitivo de los lípidos en la interfaz. Otros autores coinciden con la premisa de que, a menor cantidad de grasa, mayor es la capacidad espumante de la harina, además se compara con la capacidad espumante de la albúmina de huevo (Kohajdová et al., 2011).

Se reportó que las harinas de otras especies de lupino pueden tener una capacidad espumante aproximadamente de 5 a 10 veces que la del tarwi, esta diferencia se puede

deber no solo al contenido de proteína sino también a su estructura. Se debe prestar especial atención a la proporción vicilina/proteínas leguminosas, ya que esta proteína ayuda a formar una película en la interfaz aire-líquido y a coagularse para fortalecer la estructura de la espuma. Estas propiedades hacen que el tarwi sea utilizado en la industria alimentaria como un ingrediente espumante en la preparación de productos como mousses, helados y productos de panadería. Además, se informó que la adición de cloruro de sodio y ciertos carbohidratos (almidón de patata, la amilopectina, la sacarosa y la amilosa) a la solución, pueden mejorar la capacidad espumante de la harina (Carvajal-Larenas et al., 2016).

La estabilidad de la espuma se define como la relación entre el volumen que se genera de espuma y el tiempo. La estabilidad de la espuma que se obtuvo tras someter a una suspensión con un 2 % de harina de tarwi a 21 °C fue de 93.9, 92.4 y 78.8 % después de 1, 2 y 36 horas, respectivamente. Además, se reportó que el concentrado de proteína de tarwi presenta una mayor estabilidad de la espuma a un pH de 2 que para un pH de 4, 6 u 8. Las proteínas de tarwi tienen una baja capacidad espumante pero una mayor estabilidad espumante. Se informó también, que la adición de carbohidratos a la suspensión tiene efectos adversos en la formación de espuma (Carvajal-Larenas et al., 2016). Algunos autores mencionan que la estabilidad espumante de la harina de tarwi se asemeja a la estabilidad de una espuma hecha con claras de huevo (Kohajdová et al., 2011).

4.3 Propiedades reológicas y de empastado de las masas.

Las harinas de tarwi se han utilizado en diferentes aplicaciones alimentarias que conllevan la obtención de masas de distinta naturaleza. Las propiedades reológicas y de empastado se encuentran asociadas al comportamiento de las masas frente al estrés físico y mecánico. Este estrés afecta la capacidad de las masas para fluir, deformarse y retener gases, bien sea a temperatura ambiente o bien cuando se someten a procesos de transformación hidrotérmica. Estos estudios son fundamentales para evaluar el comportamiento de las harinas cuando se incorporan en la formulación de nuevos productos. La caracterización del comportamiento de las masas se ha realizado mediante diferentes técnicas como el análisis instrumental de la textura (mediante ensayos TPA) el Mixolab (características termo-mecánicas), el RVA (análisis de viscosidad) y concentración mínima de gel. Por su parte, la harina de tarwi presenta una composición interesante desde el punto de vista nutricional en comparación con los cereales como el trigo, puesto que se trata de una harina alta en proteínas, grasas y fibra, pero escasa en almidón (Wrigley, 2003). Esto hace que propiedades reológicas son limitantes a la hora de ser incorporada en formulaciones de nuevos productos (Gutiérrez-Castillo et al., 2022).

El tarwi no contiene proteínas formadoras de gluten, pero contiene globulinas y albúminas que contienen residuos de cisteína y tirosina. Los niveles medios de cisteína y tirosina para el lupino se han reportado como 1.6 y 1.83 g/100g de proteína. La disponibilidad de residuos de cisteína y tirosina en las proteínas del tarwi pueden ayudar en el desarrollo de enlaces cruzados entre sus proteínas y el gluten y, por lo tanto, formar la estructura necesaria para el desarrollo de la masa (Villarino et al., 2016).

Gutiérrez-Castillo et al. (2022), demostraron que la harina de tarwi no desarrolla viscosidades de empastado en el ensayo RVA (Rapid Visco Analyzer), en mezclas con porcentajes de sustitución del 10 y 20 % de harina de trigo por harina de tarwi,

presentando una línea recta con una viscosidad de aproximadamente 20 - 30 cP. Se informa que esta baja viscosidad se debe a la escasez de almidón del tarwi. Además, se cree que el contenido de proteína y fibra de este grano podría interactuar con el agua presente en el sistema, restringiendo la disponibilidad de agua para el almidón y contribuyendo a las bajas viscosidades reportadas. En general añadir harina de granos genera una tendencia a disminuir los valores de *total setback* o retrogradación cuando se aumentan los porcentajes de sustitución de harina de tarwi. Este efecto podría estar relacionado con una lenta retrogradación de las cadenas de amilosa y una vida útil más larga de los productos de panadería durante el almacenamiento, lo que concuerda con la viscosidad descrita por otros autores (Vidaurre-Ruiz et al., 2022).

Vidaurre-Ruiz et al. (2019), demostraron que la incorporación de harina de tarwi a una mezcla de harinas de quinua y kiwicha disminuyó significativamente los valores de los parámetros reológicos (índice de viscosidad de los geles) y texturales (firmeza, consistencia y cohesividad), debido a la escasez de almidón y al elevado contenido de proteínas y grasa en su composición. Esto influye significativamente en las propiedades de empastado de los tratamientos. Por otro lado, los valores de las propiedades de empastado (viscosidad máxima, viscosidad mínima, viscosidad de retrogradación y viscosidad final) y texturales estudiadas, fueron las más bajas en la formulación con el 100 % de harina de tarwi, comparada con las mezclas de 100 % de harina de quinua y kiwicha, esto concuerda con lo expuesto por otros autores (Rosell et al., 2009).

Vidaurre-Ruiz et al. (2022) evaluaron los parámetros texturales de las masas en formulaciones de 50 % almidón de patata y 50 % harina de tarwi, evidenciándose que la adición de esta harina presentó mayor firmeza, consistencia, cohesión e índice de viscosidad que la masa control con 100 % almidón de patata. Este efecto podría deberse a la interacción de las proteínas y fibra dietética presentes en esta harina. Por otro lado, la capacidad de esta harina para interactuar con las moléculas de agua aumentó la viscosidad de la masa. Este aumento en la consistencia de la masa es un efecto positivo y deseado, ya que la capacidad de retener las burbujas de aire incorporadas durante la mezcla, dependen de la viscosidad de la masa.

Este mismo estudio, demostró que la adición de harina de tarwi a una formulación de base de almidón de patata en presencia o ausencia de goma xantana, condujo a una reducción de la viscosidad en todo el ensayo. Esta disminución de la viscosidad pudo ser influenciada por varios factores, por ejemplo, la dilución del almidón, la presencia de fibra y proteínas que interfieren en la disposición del gel de amilosa, la presencia de componentes hidrófilos que restringen la hinchazón de los gránulos de almidón de patata. Además, estos efectos condujeron a un retraso en el proceso de empastado, ya que se aumentaron los tiempos de empastado (Vidaurre-Ruiz et al., 2022).

Según los valores obtenidos del Mixolab relacionados con el comportamiento termomecánico de las masas de tarwi, el contenido de proteína resultó ser una competencia para el almidón en el proceso de la hidratación. Además, se obtuvieron masas con una estructura más rígida y una mayor consistencia, estas características aumentan la absorción de agua y los valores de debilitamiento de las proteínas (Calderón et al., 2022; Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Rosell et al., 2009). Un porcentaje de sustitución del 20 % de harina de trigo por harina de tarwi, condujo a un aumento significativo de los valores de gelatinización del almidón, lo cual estaría más relacionado con el comportamiento de las proteínas que con las propiedades de gelatinización del almidón.

Esto es debido a que las proteínas pueden enmascarar y modificar las propiedades de gelificación y empastado de los almidones de cereales, lo que concuerda con los datos de *total setback* o retrogradación obtenidos del RVA (Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Rosell et al., 2009). En el tarwi, los lípidos y las proteínas podrían afectar la hinchazón de los escasos gránulos de almidón, debido a que la gelatinización se retrasa por el recubrimiento del almidón, evitando que absorba agua y resultando en una capacidad de hinchazón reducida (Salazar et al., 2021).

La textura de las masas está determinada por la dureza, la cohesión, la elasticidad y la gomosidad, estos parámetros se miden mediante un analizador de textura TPA. La sustitución de harina de trigo por harina de tarwi en un 20 % resultó en el aumento de dureza de la masa en un 304.7 % en comparación con la muestra sin sustitución. Para el parámetro de gomosidad las muestras con una sustitución del 10 y 20 %, también presentaron diferencias significativas respecto al control, estos resultados están relacionados con las propiedades termo-mecánicas antes mencionadas. A medida que aumenta el contenido de proteína de la masa por la adición de la harina de tarwi, se genera una estructura más rígida y una masa más difícil de manipular debido a la alta consistencia que adquiere (Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Rosell et al., 2009). Se ha reportado que los niveles de sustitución superiores al 15 % generaron una disminución de la cohesión, la correlación negativa entre cohesión y dureza se debe a que una masa más dura, sufre un mayor daño permanente en su estructura interna que una masa menos dura (Gutiérrez-Castillo et al., 2022).

La adición de harina de tarwi a la mezcla con harina de trigo aumenta la estabilidad de la masa, esto puede deberse al atrapamiento de las partículas de proteína de altramuz dentro de la estructura de la red de gluten. Por otro lado, cuando el estrés mecánico se combina con temperatura, la adición de harina de tarwi causa el debilitamiento de las proteínas y por ende debilitamiento de la matriz de gluten, estos resultados pueden estar relacionados con el debilitamiento de la estructura de la masa y la reducción de la capacidad de retención de gas. Además, puede estar relacionado con la interrupción de la matriz proteína-almidón y la interacción del gluten con las fibras dietéticas del tarwi. Al agregar harina de tarwi a la formulación, la gelatinización del almidón es más rápida porque el tarwi tiene un contenido reducido del mismo (Calderón et al., 2022).

La concentración mínima de gel se entiende como la cantidad mínima de material que tiene la capacidad de producir un gel estable, esta relación se expresa como un porcentaje de peso de harina de altramuz por volumen. La harina de tarwi tiene una concentración mínima de gel de 14 %, mismo que ha sido reportado como mejor que la de soja (Carvajal-Larenas et al., 2016). Un estudio mostró que al desarrollarse el gel de la harina de tarwi se forma un sistema con un nivel de estructura que permite obtener un gel fuerte y elástico en comparación con los geles de otras harinas andinas estudiadas. Esto depende de la composición química de la harina, especialmente por el contenido de fibra y amilosa (Salazar et al., 2021). Otros autores coinciden en que la adición de la harina de tarwi fortalece las estructuras de las masas, siendo adecuada su incorporación en ellas (Kohajdová et al., 2011).

5. Aplicación de la harina de *L. mutabilis* en la elaboración de productos horneados.

Con el propósito de desarrollar alimentos con un perfil nutricional más equilibrado y por la demanda de alimentos más saludables, la harina de tarwi se ha propuesto para su empleo en la formulación de productos horneados. Los productos de panadería son

ampliamente consumidos por su bajo costo de fabricación, conveniencia, vida útil y calidad, además son adaptables para introducir ingredientes funcionales. En la literatura científica se han identificado varios estudios donde se incorpora la harina de tarwi junto con otras harinas en el proceso de elaboración de pan (Calderón et al., 2022; Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Repo-Carrasco-Valencia et al., 2020; Villacrés, Cueva, et al., 2020) En todos los estudios realizados se ha constatado un mayor contenido de proteína y un mejor balance de macronutrientes en el producto final (Villarino et al., 2016).

La ausencia de gluten en el tarwi limita su incorporación en la elaboración de productos horneados, debido a que el incremento del porcentaje de sustitución de la harina influye en la textura del producto final. Lo que disminuye la aceptación por parte de los consumidores y restringe la posibilidad de mejorar nutricionalmente el producto. Sin embargo, las proteínas de la harina de tarwi contribuyen a la apariencia y textura de los productos horneados, debido a las propiedades de superficie que proporcionan a la masa (Güemes-Vera et al., 2004).

En la *tabla 7*, se pueden observar las aplicaciones de la harina de tarwi en la elaboración de productos horneados, considerando su porcentaje de sustitución y la percepción sensorial del producto final. Entre estos productos se encuentran los panes elaborados con una tasa de sustitución de 10 – 12 % de harina de tarwi, donde la aceptabilidad sigue siendo la misma que la de un pan elaborado con 100 % de harina de trigo (Carvajal-Larenas, 2019; Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Repo-Carrasco-Valencia et al., 2020). Por otro lado, están las galletas y los productos elaborados a partir de masas batidas como los muffins. Las galletas pueden llegar a tasas de sustitución del 20 – 30 % de harina de tarwi sin afectar la aceptabilidad (Obeidat et al., 2012), Las muffins alcanzan hasta un 50 % de sustitución cuando se mezcla en la misma proporción con almidón de patata (Vidaurre-Ruiz et al., 2022).

Tabla 7. Aplicación de la harina de *L. mutabilis* en la elaboración de panes, muffins y galletas.

Producto	Harina base	Porcentaje de sustitución con harina de tarwi	Observaciones	Referencia
Panes	Harina de trigo	10 %	Aceptabilidad similar al pan de 100 % de harina de trigo.	Gutiérrez-Castillo et al., 2022
		20 %	Endurecimiento de la miga, disminución del volumen específico y mayor densidad de alveolos.	
	Harina de trigo + levadura + goma guar	0 – 20 %	Buena aceptación sensorial. Aumento del volumen específico con la incorporación de goma guar. Reducción de la actividad de agua.	Calderón et al., 2022
	Harina de trigo + harina de tarwi desamargado y fermentado	10 %	Buena aceptación sensorial. Miga suave con harina fermentada, reducción de la resiliencia de la miga.	Villacrés, Cueva, et al., 2020
		15 % 20 %	Endurecimiento y reducción de la resiliencia de la miga cuando aumenta el porcentaje. La aceptabilidad se vio afectada	

			por sabores ácidos de la fermentación.	
	Almidón de patata + goma guar	12 %	Buena aceptación sensorial y larga vida de anaquel	Repo-Carrasco-Valencia et al., 2020
	Harina de trigo + harina de tarwi decolorada	5 %	Buena aceptación sensorial. Volumen de la hogaza óptimo.	Güemes-Vera et al., 2008
Muffins	Almidón de patata + goma xantana	50 %	Buena aceptación sensorial. Aumento de dureza y reducción del volumen específico.	Vidaurre-Ruiz et al., 2022
Galletas	Harina de trigo + harina de tarwi germinada	10 %	Buena aceptación sensorial. Disminución del diámetro	Obeidat et al., 2013; Salvatierra-Pajuelo et al., 2019
		20 %		
		30 %	Mejor aceptación sensorial, comparada a una galleta con 100% harina de trigo. Disminución del diámetro	
		40 % 50 %	La aceptación sensorial disminuye con el aumento del porcentaje. Disminución del diámetro. Aumento de la dureza. Retrogusto después de comerla.	

5.1 Utilización de la harina de tarwi como ingrediente en la elaboración de pan.

La aplicación de la harina de tarwi en procesos de panificación ha sido estudiada más ampliamente que otros procesos de elaboración de productos horneados, como los productos de galletería y repostería. El pan es un alimento altamente consumido a nivel mundial por lo que la adición de tarwi en este tipo de matrices alimentarias, constituye una estrategia de gran interés para incrementar la calidad de la dieta. Aunque existen panes desarrollados sin harina de trigo, destinados para la población celíaca, la mayoría de estos estudios se desarrollan sobre panes a base de harina de trigo, evaluando el comportamiento de esta harina en el proceso de elaboración de pan.

Gutiérrez-Castillo et al. (2020), realizaron un estudio del efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harinas de quinua y tarwi sobre la calidad de la masa y el pan. Según el diseño experimental, se formularon 11 mezclas de harinas, donde una fue el control con un 100 % de harina de trigo y otras fueron las de porcentajes de sustitución de 10 y 20 % con harina de tarwi. Por su parte, Villacrés et al. (2020), buscaron reemplazar la harina de trigo por harina de tarwi desamargado y harina de tarwi fermentado con porcentajes de sustitución de 10, 15 y 20 %, evaluándose los efectos sobre las características físicas y sensoriales de los panes 24 horas después del horneado. Por otro lado, Calderón et al. (2022), realizaron un estudio de la incorporación de harina de tarwi en la elaboración de pan a base de harina de trigo con porcentajes de sustitución desde 0 a 20 %, donde evaluaron las propiedades reológicas, físicas, químicas y sensoriales del pan, con y sin la adición de levadura y goma guar (Calderón et al., 2022; Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Villacrés, Cueva, et al., 2020). Como podemos observar en estos estudios, el máximo nivel de sustitución que se aplicó fue del 20%, debido a que, si se aumenta este porcentaje, se pueden modificar en gran medida las características físicas y sensoriales del producto.

El análisis de la humedad de la miga de los productos de panificación obtenidos con tarwi ha revelado que fue similar al control en porcentajes de sustitución del 10 y 20% y, prácticamente sin variaciones en cuanto a los valores de actividad de agua (Gutiérrez-Castillo et al., 2022). El valor más alto de este último parámetro fue de 0.984 con un porcentaje de sustitución del 20%, en comparación con el control que fue de 0.969, concluyendo que la harina de tarwi manifestó una mayor capacidad de retención de agua en el producto final. Estudios previos han demostrado que la humedad de la miga aumenta cuando en la formulación también se agrega otros tipos de aditivos como la goma arábiga, pero la presencia de esta goma no mejora el volumen del pan, sino que genera una masa más compacta, debido a que no se forma una red que permita la expansión celular (López & Goldner, 2015).

La sustitución de 10% de la harina de trigo por harina de tarwi, no condujo a un efecto significativo sobre el volumen específico. Sin embargo, se reportaron reducciones importantes de este parámetro en los panes con niveles de sustitución más altos, por ejemplo, con un porcentaje de sustitución del 20%; la reducción del volumen específico fue de un 29.4% en comparación con el control (Calderón et al., 2022; Gutiérrez-Castillo et al., 2022; Villacrés, Cueva, et al., 2020). Varios autores coinciden en que la reducción del volumen específico por la adición de harina de tarwi, puede deberse a su baja presencia de gluteninas y prolaminas, lo que dificulta la retención de dióxido de carbono, obteniéndose un pan con una estructura compacta y dura (Calderón et al., 2022; Güemes-Vera et al., 2008). Para contrarrestar la reducción del volumen específico del pan con harina de tarwi, se ha propuesto la incorporación de goma guar a la formulación, generando el incremento del volumen específico (Calderón et al., 2022).

Respecto al porcentaje del área total ocupada por los alveolos en los panes con un porcentaje de sustitución del 10%, la presencia del tarwi permitió un alveolado uniforme con poros similares a los de la muestra control. Este no fue el caso para el porcentaje de sustitución del 20%, mismo que presentó una alta densidad de alveolos pequeños. Este comportamiento también se relaciona con la interacción entre las proteínas de trigo y tarwi, que genera una pared alveolar rígida que no permite el crecimiento normal de los alveolos y por esta razón, produce un pan con un volumen específico más bajo (Gutiérrez-Castillo et al., 2022).

La sustitución del 10% de harina de tarwi en el pan, condujo a una disminución de la resiliencia y al endurecimiento de la miga, este último se asemeja a la dureza del pan control, además no se modifican sustancialmente sus características texturales. Por el contrario, cuando el porcentaje de sustitución supera el 10%, si se ven afectados significativamente estos parámetros texturales. La dureza es un atributo de calidad importante para los productos de panadería, ya que está relacionada con el volumen específico, la humedad y la porosidad de la miga, las propiedades mecánicas de las paredes celulares, entre otras. La harina de tarwi fermentado en un porcentaje de sustitución del 10% produjo un pan con una miga más suave, aunque si se aumenta este valor se obtiene igualmente un pan endurecido (Villacrés, Cueva, et al., 2020). Gutiérrez-Castillo et al (2022) demostraron que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de la harina de tarwi, la dureza de la miga se incrementa, este efecto también se puede asociar con las proteínas del tarwi, ya que fortalecen la red de gluten proveniente de la harina de trigo, produciendo migas más compactas. La resiliencia de la miga se redujo significativamente al incorporar la harina de tarwi a la formulación, esta disminución podría estar relacionada con el bajo volumen específico de los panes,

teniendo migas más densas con menor número de celdas de gas, por lo que la estructura de la miga tarda más en recuperarse después de la compresión (Villacrés, Cueva, et al., 2020), Este comportamiento coincide con lo descrito por otros autores (López & Goldner, 2015).

El color de la miga y de la corteza del pan también se vieron afectados, presentando una tonalidad más amarilla (López & Goldner, 2015; Rosell et al., 2009; Villacrés, Cueva, et al., 2020). Esto es debido a las reacciones de Maillard que ocurren por la presencia de azúcares reductores en el tarwi (Gutiérrez-Castillo et al., 2022). En esta misma línea, la decoloración de la harina de tarwi fue objeto de estudio en la calidad y aceptación del pan, esta decoloración se propuso con el fin de desarrollar nuevas tecnologías de preparación de harinas, ya que no siempre se requieren productos con tonalidades amarillas. Así pues, un panel sensorial percibió una ligera coloración amarilla en un pan elaborado con 5 % de harina de tarwi decolorada, obteniendo también una buena aceptación sensorial (Güemes-Vera et al., 2008).

En general los productos de panificación elaborados con harina de tarwi presentaron una buena respuesta sensorial. Con una sustitución del 10 % de harina de trigo por harina de tarwi, se obtuvo una aceptabilidad similar a la de un pan hecho con 100 % de harina de trigo (Villacrés, Cueva, et al., 2020). Esta aceptación puede ser superior a la de los productos con soja, inclusive es superior a la de otras variedades de altramuz como *L. albus*. Se ha sugerido que tostar la semilla antes de la molienda puede mejorar considerablemente las características organolépticas de la harina de tarwi, ya que el tostado le confiere un sabor neutro o ligeramente a nuez (Carvajal-Larenas et al., 2016). El pan elaborado con una sustitución de harina de tarwi fermentado afectó su aceptabilidad, ya que el panel percibió sabores ácidos en las muestras presentadas, por lo que se sugirió usar hasta un 20 % de sustitución de esta harina y buscar formas de enmascarar ese sabor (Villacrés, Cueva, et al., 2020). Repo-Carrasco-Valencia et al. (2020), realizaron el desarrollo de panes sin gluten utilizando harinas de granos nativos como quinua (46,3 %), kañiwa (40,6 %), kiwicha (100 %) y tarwi (12 %), con base de almidón de patata y goma guar. Se reporta que con una sustitución del 12%, se obtiene una buena aceptación sensorial y larga vida de anaquel del producto (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2020).

5.2 Utilización de la harina de *L. mutabilis* como ingrediente en la elaboración de otros productos horneados.

Los muffins y las galletas son productos consumidos mayormente en el desayuno y en la merienda, con una buena aceptación, un mercado amplio y con una receta idónea para evaluar la incorporación de la harina de tarwi en sus formulaciones. Vidaurre-Ruiz et al. (2022), realizaron un estudio donde analizaron la adición de harinas de kañiwa y tarwi en la elaboración de muffins veganos sin gluten. Se utilizaron porcentajes de sustitución del 50 % de cada harina y una mezcla del 25 % de ambas sobre una base de almidón de patata. Además, analizaron la adición de la goma xantana con el fin mejorar las propiedades texturales y reológicas de las formulaciones. Por otro lado, Obeidat et al. (2012), estudiaron el efecto de la adición de harina de tarwi germinado en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas de las galletas, se realizaron ensayos texturales y sensoriales de galletas con diferentes porcentajes de sustitución (10, 20, 30, 40 y 50 %) de harina de tarwi en una base de harina de trigo, tomando como referencia una galleta formulada con 100 % de harina de trigo.

La presencia de fibra, proteína y pequeños gránulos de almidón de la harina de tarwi, condujeron a un incremento de la viscosidad de la masa de muffins, lo que pudo limitar el aumento del volumen del bizcocho durante el proceso de fermentación (Vidaurre-Ruiz et al., 2022). Esto dio lugar a la obtención de volúmenes específicos más bajos, debido a que estas matrices de migas con fibra dan lugar a paredes de alveolos más rígidas, lo que lleva a una mayor dureza de la miga. La formulación del muffin con harina de tarwi exhibió los niveles más altos de humedad en la miga, los valores eran proporcionales con la cantidad de agua utilizada para producir cada una de las masas. Esto resulta en un aumento de la vida de anaquel del producto.

El porcentaje de sustitución del 50 % de harina de tarwi sobre una base de almidón de patata condujo a cambios moderados en las características texturales del muffin, pero no se afectó significativamente la dureza, la elasticidad ni la masticabilidad. Se cree que el factor clave para conseguir una textura adecuada es el contenido de grasa de la harina, ya que la adición de harina de tarwi provocó un aumento en el contenido de grasa del muffin. Esto puede modular el efecto espesante de la fibra dietética (Vidaurre-Ruiz et al., 2022), ya que la presencia de grasa contribuye a la suavidad de la miga gracias a su efecto lubricante.

El efecto del color de la harina de tarwi sobre el muffin es bastante evidente, ya que la harina de tarwi confiere su color amarillo al producto, siendo mucho más notorio en la miga que en la corteza del muffin, igual que como ocurre en el pan. Al tener este muffin una base de almidón de patata, la incorporación de harina de tarwi le proporciona un color en la corteza aceptable, ya que las reacciones de Maillard se ven favorecidas por el alto contenido de proteínas y por la presencia de azúcares simples, como se ha mencionado antes. En general, el 50 % de sustitución de almidón de patata por harina de tarwi resulta en valores aceptables en cuanto a los parámetros texturales para los muffins, inclusive el volumen específico (Vidaurre-Ruiz et al., 2022). Como se ha visto, la sinergia que existe entre la harina de tarwi con otros ingredientes como los almidones, es importante porque permite elaborar en este caso, productos veganos libres de gluten con una calidad tecnológica satisfactoria y con un perfil nutricional superior, ya que con la adición de harina de tarwi se proporciona proteínas, grasas insaturadas, fibra, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos, nutrientes que no se pueden obtener con solo añadir almidón de patata.

En la aplicación de la harina de tarwi para hacer galletas, la relación de propagación fue la principal característica que se vio afectada por la adición de la harina de tarwi. Mientras mayor fue el porcentaje de sustitución, mayor fue la afectación de este parámetro. La relación de propagación se refiere a la extensión o esparcimiento de la masa de galleta en el proceso de cocción dentro del horno. Se reportó que hubo diferencias significativas entre los valores obtenidos para el diámetro, la relación de propagación y el peso de todas las galletas evaluadas. La reducción del factor de propagación al usar la harina de tarwi en todos los porcentajes de sustitución, puede deberse a que durante el amasado se forman conglomerados con un mayor número de sitios hidrófilos pertenecientes a los oligosacáridos, los polisacáridos, las proteínas solubles en agua y los aminoácidos polares, esto además aumenta la competencia por el agua libre en el sistema, al igual que ocurre con la aplicación en pan y muffin (Obeidat et al., 2012).

En cuanto al color de las galletas, este se hacía más amarillo cuando se aumentaba la concentración de harina de tarwi, en general este color fue aceptado por el panel de cata hasta un porcentaje de 30 % de sustitución, esta aceptabilidad fue similar a la de la galleta con 100 % de harina de trigo. Al igual que en los casos anteriores, esta coloración se debe a las reacciones de Maillard por su alto contenido en azúcar y proteínas (Obeidat et al., 2012).

Sensorialmente las galletas que obtuvieron mejores resultados fueron las que tenían sustituciones de 10, 20 y 30 % de harina de tarwi, mientras que las galletas que tenían 40 y 50 % fueron las que peores resultados obtuvieron. Las galletas preparadas con el 50 % de harina de tarwi tuvieron la calificación más alta de dureza respecto del control, es decir que fue más dura que la muestra con 100 % de harina de trigo. Estos resultados podrían atribuirse a la cantidad de proteína y fibra incorporada a la formulación, que podrían aumentar la consistencia de la masa. Las 5 formulaciones reportaron tener un retrogusto después de comerlas, este valor fue mayor en porcentajes de sustitución de 40 y 50 % (Obeidat et al., 2012).

Aunque existen pocos estudios de aplicación en productos horneados utilizando la harina de tarwi, no es el caso con la harina de *L. albus*, se trata de la especie que más se cultiva en Europa y de la que existen más estudios de aplicación en panes, muffins, galletas, entre otros. Al ser especies de la misma familia, se pueden replicar sus aplicaciones para el tarwi, ya que poseen características nutricionales y propiedades tecno-funcionales similares. Algunos estudios han conseguido características texturales y sensoriales similares a productos hechos a base de harina de trigo.

6. Otros subproductos e ingredientes derivados de *L. mutabilis*.

A partir del procesamiento del tarwi, se generan diferentes fracciones o subproductos que pueden tener diversos usos. El producto más importante es la harina de tarwi que puede ser utilizada en diversas elaboraciones de productos alimenticios como las que se mencionan en esta revisión. De manera complementaria se han obtenido aislados y concentrados de proteína, así como el aceite, la fibra y los alcaloides que se derivan del proceso de desamargado (Carvajal-Larenas et al., 2016). Los aislados y concentrados de proteína se pueden utilizar para elaborar diferentes productos alimenticios, al igual que la harina, pero principalmente están dirigidos a personas con requerimientos específicos como deportistas o personas que eligen no consumir proteínas de origen animal (Kohajdová et al., 2011; Van de Noort, 2017). Por otra parte, el aceite de tarwi es rico en ácidos grasos esenciales y se utiliza en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Cuando se extrae el aceite, también se produce un residuo o también conocido como torta o bagazo, este subproducto puede ser utilizado para nutrición animal, ya que conserva parte de las proteínas y fibras presentes en los granos (Czubiński & Siger, 2023; Pascual-Chagman et al., 2021). En el caso de la fibra de tarwi, se puede utilizar en diversas aplicaciones como: ingrediente funcional, para agregar fibra dietética a alimentos como barritas energéticas, cereales, productos horneados y productos lácteos, como suplemento nutricional en cápsulas o polvo, y en alimentación de rumiantes y animales de granja (Van de Noort, 2017). Por último, los alcaloides de quinolizidina presentes en los granos de tarwi tienen muchos usos farmacéuticos y cosméticos que se han venido usando desde hace varios años. Algunos estudios han determinado que estos alcaloides tienen la capacidad de disminuir la presión arterial, por ejemplo, la esparteína se utiliza en medicina cardiovascular por su capacidad

antiarrítmica y también se utiliza con frecuencia en obstetricia ya que induce la contracción del útero y acelera el parto (Carvajal-Larenas et al., 2016).

7. Alergenicidad de *L. mutabilis*.

A pesar del importante valor nutricional que tiene el tarwi, también contiene proteínas alergénicas que pueden afectar al sistema cardiovascular, respiratorio, cutáneo y gastrointestinal de los consumidores. El fenómeno ocurre cuando el sistema inmune no reconoce una o más proteínas presentes en el tarwi y emite una respuesta para neutralizarlas, causando esta reacción alérgica. Entre los síntomas más comunes se encuentran la diarrea, urticaria, vómito, dolor abdominal, hipotensión, arritmia, broncoespasmo, eritemas y paro cardíaco (Foschia et al., 2017). Entre el 1 y 2 % de los adultos presentan alergia a ciertos alimentos y una pequeña parte de esta población es alérgica al altramuz. Aquellos individuos que son alérgicos al altramuz normalmente también suelen tener alergia a los cacahuetes, la soja y los guisantes, sin embargo, la sensibilidad al tarwi es bastante baja en comparación con los otros alérgenos mencionados (Van de Noort, 2017). En la lista actual de alérgenos potenciales se incluye a los altramuces, que como se mencionó pertenecen a la misma familia botánica, por lo que hay que tener en cuenta esta característica al elaborar productos a base de tarwi dirigido al consumo humano (REGLAMENTO (UE) 1169/2011).

8. Conclusiones y perspectivas futuras.

El contenido nutricional del tarwi hace que sea una leguminosa con un alto potencial para la industria alimentaria, no solo para mejorar el perfil nutricional de los alimentos, sino también porque permite utilizar la totalidad del grano, cualquiera que sea el producto principal que se quiera obtener, como harina, aislados y concentrados de proteína, aceite o fibra. Se trata de un grano con múltiples propiedades nutricionales, entre ellas se encuentra el aporte de proteínas de alto valor biológico y fibra alimentaria, grasas, principalmente insaturadas como los ácidos oleico y linoleico, y compuestos bioactivos, como polifenoles, fitoesteroles, flavonoides, péptidos bioactivos, entre otros. Todas estas cualidades hacen de este grano un alimento nutritivo, con excelentes características para mantener y mejorar la salud.

Entre las propiedades tecno-funcionales principales de la harina de tarwi destacan, la capacidad de absorción de agua y aceite y la estabilidad espumante, las cuales lo convierten en un buen candidato para evaluar su incorporación en formulaciones de alimentos en general. Su gran capacidad de absorción de agua ayuda a que el producto pueda mantener humedad, lo que beneficia a la suavidad de la miga y que a su vez tenga un mayor tiempo de vida útil. Por su parte, la capacidad de absorción de aceite es ideal en las formulaciones de productos horneados, ya que en la mayoría o todas estas formulaciones se emplean grasas en la receta, lo cual ayuda a que se integren todos los ingredientes. Finalmente, la estabilidad de la espuma de la harina de tarwi es tal, que se la compara con la estabilidad de la espuma hecha con claras de huevo, lo que quiere decir que podría servir como aditivo espumante apto para elaborar alimentos veganos en distintos sectores de la industria alimentaria.

El incremento del porcentaje de sustitución de la harina de tarwi trae consigo, beneficios en la calidad nutricional de los productos horneados, como el aumento del contenido de proteínas de alta calidad biológica y la fibra dietética. Estos incrementos podrían permitir

el uso de declaraciones nutricionales como “alto contenido en proteína” o “alto contenido en fibra” en el etiquetado del producto. Sin embargo, su potencial como ingrediente de interés nutricional se encuentra limitado, debido a los efectos negativos que afectan a ciertos parámetros de calidad de los productos horneados como el volumen y la textura. En especial, estos aspectos negativos están relacionados con la reducción del volumen específico y el aumento de la dureza de la miga en productos como el pan, lo que sugiere la necesidad de investigar cómo se puede aumentar el porcentaje de incorporación de esta harina, sin disminuir la calidad tecnológica del producto y estandarizando su proceso de obtención.

En general la sustitución del 10 a 12 % de harina de tarwi permite obtener panes con una calidad tecnológica satisfactoria y con un perfil nutricional mejorado, demostrando así la viabilidad de esta harina a la hora de desarrollar productos de panificación. Aunque es posible desarrollar formulaciones con mayores tasas de incorporación de la harina de tarwi en otro tipo de productos, como el bizcocho y la galleta, resulta necesario mejorar los parámetros texturales y atributos sensoriales de los productos a base de tarwi. Esta mejora podría requerir formulaciones en las cuales se agreguen también saborizantes, colorantes y otros aditivos. Se ha visto que cuando se mezcla solo con harina de trigo, la incorporación de harina de tarwi se lleva a cabo con bajos porcentajes de sustitución, sin embargo, la presencia de almidones en las formulaciones permitiría un aumento de este porcentaje de sustitución al mejorar las características del producto final.

Como se ha indicado anteriormente, las aplicaciones de elaboración de productos horneados utilizando harina de tarwi son escasas, pero siempre se pueden tomar como referencia, los estudios de aplicación que se hayan realizado con las otras especies domesticadas del género *lupinus*, especialmente con la harina de *L. albus*, ya que es una especie ampliamente estudiada. En definitiva, el tarwi es un alimento con gran potencial en la industria alimentaria, por lo que existe la necesidad de profundizar en el estudio de nuevas aplicaciones, empleando la harina de tarwi en las formulaciones de alimentos.

9. Bibliografía.

- Aguilar-Acosta, L. A., Serna-Saldivar, S. O., Rodríguez-Rodríguez, J., Escalante-Aburto, A., & Chuck-Hernández, C. (2020). Effect of ultrasound application on protein yield and fate of alkaloids during lupin alkaline extraction process. *Biomolecules*, *10*(2). <https://doi.org/10.3390/biom10020292>
- Boschin, G., & Arnoldi, A. (2011). Legumes are valuable sources of tocopherols. *Food Chemistry*, *127*(3), 1199–1203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.124>
- Brandolini, A., Glorio-Paulet, P., Estivi, L., Locatelli, N., Cordova-Ramos, J. S., & Hidalgo, A. (2022). Tocopherols, carotenoids and phenolics changes during Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) seeds processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, *106*, 104335. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104335>
- Briceño-Berru, L., Glorio-Paulet, P., Basso, C., Scarafoni, A., Camarena, F., Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2021). Chemical Composition, Tocopherol and Carotenoid Content of Seeds from Different Andean Lupin (*Lupinus mutabilis*) Ecotypes. *Plant Foods for Human Nutrition*, *76*, 98–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11130-021-00880-0>
- Caicedo, C., Peralta, E., Villacrés, E., & Rivera, M. (2001). *Poscosecha y mercado del chocho (Lupinus mutabilis Sweet) en Ecuador*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2700>
- Calderón, A., Bonilla, S., Schmiele, M., Navarrete, D., & Vernaza, M. G. (2022). Study of *Lupinus mutabilis* sweet flour incorporation on the rheological, physical, chemical, and sensory properties of wheat bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(11), e17027. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17027>
- 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/10.17221/4/2019-CJFS>
- Carvajal-Larenas, F. E., Linnemann, A. R., Nout, M. J. R., Koziol, M., & van Boekel, M. A. J. S. (2016). *Lupinus mutabilis*: Composition, Uses, Toxicology, and Debitting. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *56*(9), 1454–1487. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772089>
- Carvajal-Larenas, F. E., Nout, M. J. R., van Boekel, M. A. J. S., Koziol, M., & Linnemann, A. R. (2013). Modelling of the aqueous debittering process of *Lupinus mutabilis* Sweet. *LWT - Food Science and Technology*, *53*(2), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.03.017>
- Carvajal-Larenas, F. E., Van Boekel, M. J. A. S., Koziol, M., Nout, M. J. R., & Linnemann, A. R. (2014). Effect of processing on the diffusion of alkaloids and quality of *Lupinus Mutabilis* sweet. *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(4), 1461–1471. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12105>
- Castillo, R. (1965). Estudio sobre *Lupinus* (chocho) en Ecuador. *Archivos Venezolanos de Nutrición*, *15*(2), 87–93. <http://www.alanrevista.org/ediciones/1965/2/art-3/>
- Chirinos, R., Villasante-Bravo, N., Aguilar-Gálvez, A., Figueroa-Merma, A., Carpentier, S., Pedreschi, R., & Campos, D. (2022). Antioxidant, antihypertensive and antidiabetic potential of peptidic fractions obtained from tarwi (*Lupinus mutabilis*) protein hydrolysate and identification of promising multifunctional bioactive peptides. *International Journal of Food Science and Technology*, *57*(11), 7402–7411. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16100>
- Chirinos-Arias. (2015). Andean Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) a plant with nutraceutical and medicinal potential. *Revista Bio Ciencias*, *3*(3), 163–172. <https://doi.org/10.15741/revbio.03.03.03>
- Córdova-Ramos, J. S., Glorio-Paulet, P., Camarena, F., Brandolini, A., & Hidalgo, A. (2020). Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet): Processing effects on chemical composition, heat damage, and in vitro protein digestibility. *Cereal Chemistry*, *97*(4), 827–835. <https://doi.org/10.1002/cche.10303>
- Córdova-Ramos, J. S., Glorio-Paulet, P., Hidalgo, A., & Camarena, F. (2020). Effect of technological process on antioxidant capacity and total phenolic content of Andean lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Scientia Agropecuaria*, *11*(2), 157–165. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.02>
- Cortés-Avenidaño, P., Tarvainen, M., Suomela, J. P., Glorio-Paulet, P., Yang, B., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2020). Profile and Content of Residual Alkaloids in Ten Ecotypes of *Lupinus mutabilis* Sweet after Aqueous Debitting Process. *Plant Foods for Human Nutrition*, *75*(2), 184–191. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00799-y>

- Curti, C., Alcócer, J., Rivas, M., Vinderola, G., & Ramón, A. (2022). Harinas de lupino blanco (*Lupinus albus*) y andino (*L. mutabilis*) aptas para consumo: características físico-químicas y funcionales. *Dieta*, 40(177), 106–115. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372022000100106&lng=es&tlng=es.
- Curti, C., Fino, L. D. C., Lamadrid, A. P. O., Ribeiro, A. P. B., Cunha, D. T. Da, Vinderola, G., Antunes, A. E. C., & Ramon, A. (2022). The addition of Andean lupin (*Lupinus mutabilis*) protein concentrate enhances the nutritive value and the antioxidant activity of yoghurt. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 26(1), 24. <https://doi.org/10.14306/renhyd.26.S1.1406>
- Czubinski, J., Grygier, A., & Siger, A. (2021). *Lupinus mutabilis* seed composition and its comparison with other lupin species. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103875. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103875>
- Czubiński, J., & Siger, A. (2023). Physicochemical Characteristics and Technological Properties of *Lupinus Mutabilis* Oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 125(6), 2200200. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202200200>
- De-La-Cruz-Yoshiura, S., Vidaurre-Ruiz, J., Alcázar-Alay, S., Encina-Zelada, C. R., Cabezas, D. M., Correa, M. J., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2022). Sprouted Andean grains: an alternative for the development of nutritious and functional products. In *Food Reviews International*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2083158>
- Estivi, L., Grassi, S., Briceño-Berrú, L., Glorio-Paulet, P., Camarena, F., Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2022). Free Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and FT-NIR Survey of Debittered *Lupinus mutabilis* Seeds. *Processes*, 10(8), 1637. <https://doi.org/10.3390/pr10081637>
- FAO. (2010). *Gastronomía Tradicional Altoandina*. <https://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/recetarioandino.pdf>
- Foschia, M., Horstmann, S. W., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2017). Legumes as Functional Ingredients in Gluten-Free Bakery and Pasta Products. In *Annual Review of Food Science and Technology* (Vol. 8, pp. 75–96). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-030045>
- FSANZ. (2001). *Lupin alkaloid in food*. <https://www.foodstandards.gov.au/publications/documents/TR3.pdf>
- Gálvez-Ranilla, L., Apostolidis, E., Genovese, M. I., Lajolo, F. M., & Shetty, K. (2009). Evaluation of Indigenous Grains from the Peruvian Andean Region for Antidiabetes and Antihypertension Potential Using In Vitro Methods. *Journal of Medicinal Food*, 12(4), 704–713. <https://doi.org/10.1089/jmf.2008.0122>
- Güemes-Vera, N., Arciniega-Ruiz Esperza, O., & Davila-Ortiz, G. (2004). Structural analysis of the *Lupinus mutabilis* seed, its flour, concentrate, and isolate as well as their behavior when mixed with wheat flour. *LWT - Food Science and Technology*, 37(3), 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.07.001>
- Güemes-Vera, N., Peña-Bautista, R. J., Jiménez-Martínez, C., Dávila-Ortiz, G., & Calderón-Domínguez, G. (2008). Effective detoxification and decoloration of *Lupinus mutabilis* seed derivatives, and effect of these derivatives on bread quality and acceptance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(7), 1135–1143. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3152>
- Gulisano, A., Alves, S., Martins, J. N., & Trindade, L. M. (2019). Genetics and Breeding of *Lupinus mutabilis*: An Emerging Protein Crop. *Frontiers in Plant Science*, 10, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01385>
- Gutiérrez-Castillo, C., Alcázar-Alay, S., Vidaurre-Ruiz, J., Correa, M. J., Cabezas, D. M., Repo-Carrasco-Valencia, R., & Encina-Zelada, C. R. (2022). Effect of partial substitution of wheat flour by quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) and tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) flours on dough and bread quality. *Food Science and Technology International*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/10820132221106332>
- Jiménez-Martínez, C., Hernández-Sánchez, H., & Dávila-Ortiz, G. (2007). Diminution of quinolizidine alkaloids, oligosaccharides and phenolic compounds from two species of *Lupinus* and soybean seeds by the effect of *Rhizopus oligosporus*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(7), 1315–1322. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2851>
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Schmidt, Š. (2011). Lupin Composition and Possible Use in Bakery-A Review. *Czech J. Food Sci*, 29(3), 203–211. <https://doi.org/10.17221/252/2009-CJFS>
- León-Marrou, M., Villacorta-González, M., & Pagador-Flores, S. (2011). Composición química de “oca” (*Oxalis tuberosa*), “arracacha” (*Arracaccia xanthorrhiza*) y “tarwi” (*Lupinus mutabilis*). Formulación de

- una mezcla base para productos alimenticios. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(2), 239–252. <https://www.researchgate.net/publication/299264569>
- Lo, B., Kasapis, S., & Farahnaky, A. (2021). Lupin protein: Isolation and techno-functional properties, a review. *Food Hydrocolloids*, 112, 106318. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106318>
- López, E. P., & Goldner, M. C. (2015). Influence of storage time for the acceptability of bread formulated with lupine protein isolate and added brea gum. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1171–1178. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.013>
- Obeidat, B. A., Abdul-Hussain, S. S., & Al Omari, D. Z. (2012). Effect of addition of germinated lupin flour on the physicochemical and organoleptic properties of cookies. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 637–643. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00688.x>
- Pascual-Chagman, G., Santa-Cruz-Olivos, J., Hidalgo, A., Benavente, F., Carmen Pérez-Camino, M., Sotelo-Méndez, A., Paucar-Menacho, L. M., & Encina-Zelada, C. R. (2021). *Lupinus mutabilis* oil obtained by expeller press: Yield, physicochemical characterization, antioxidant capacity, fatty acids and oxidative stability analyses. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 219–227. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.025>
- Peralta, E., & Caicedo, C. (2000). *Zonificación Potencial, Sistemas de Producción y Procesamiento Artesanal del Chocho (Lupinus mutabilis Sweet) en Ecuador*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/441>
- REGLAMENTO (UE) 1169/2011, Diario Oficial de la Unión Europea (2011). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:304:0018:0063:ES:PDF>
- Repo-Carrasco-Valencia, R. (2020). Nutritional Value and Bioactive Compounds in Andean Ancient Grains. *Proceedings*, 53(1), 1. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020053001>
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Vidaurre-Ruiz, J., & Luna-Mercado, G. I. (2020). Development of Gluten-Free Breads Using Andean Native Grains Quinoa, Kañiwa, Kiwicha and Tarwi. *Proceedings*, 53(1), 15. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020053015>
- Romero-Espinoza, A. M., Serna-Saldívar, S. O., Vintimilla-Álvarez, M. C., Briones-García, M., & Lazo-Vélez, M. A. (2020). Effects of fermentation with probiotics on anti-nutritional factors and proximate composition of lupin (*Lupinus mutabilis sweet*). *LWT - Food Science and Technology*, 130, 109658. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109658>
- Rosell, C. M., Cortez, G., & Repo-Carrasco, R. (2009). Breadmaking use of andean crops quinoa, Kañiwa, Kiwicha, and Tarwi. *Cereal Chemistry*, 86(4), 386–392. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-4-0386>
- Ruiz-López, M. A., Barrientos-Ramírez, L., García-López, P. M., Valdés-Miramontes, E. H., Zamora-Natera, J. F., Rodríguez-Macias, R., Salcedo-Pérez, E., Bañuelos-Pineda, J., & Vargas-Radillo, J. J. (2019). Nutritional and bioactive compounds in mexican lupin beans species: A mini-review. *Nutrients*, 11(8), 1785. <https://doi.org/10.3390/nu11081785>
- Salazar, D., Arancibia, M., Ocaña, I., Rodríguez-Maecker, R., Bedón, M., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2021). Characterization and technological potential of underutilized ancestral andean crop flours from ecuador. *Agronomy*, 11(9), 1693. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091693>
- Salvatierra-Pajuelo, Y. M., Azorza-Richarte, M. E., & Paucar-Menacho, L. M. (2019). Optimization of the nutritional, textural and sensorial characteristics of cookies enriched with chia (*Salvia Hispanica*) and oil extracted from tarwi (*Lupinus Mutabilis*). *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 7–17. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.01>
- Santos, C., Ferreira, R., & Teixeira, A. (1997). Seed Proteins of *Lupinus mutabilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(10), 3821–3825. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf970075v>
- Schrenk, D., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Leblanc, J. C., Nebbia, C. S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Schwerdtle, T., Vlemingx, C., Wallace, H., Alexander, J., Cottrill, B., Dusemund, B., ... Bignami, M. (2019). Scientific opinion on the risks for animal and human health related to the presence of quinolizidine alkaloids in feed and food, in particular in lupins and lupin-derived products. *EFSA Journal*, 17(11), 113. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5860>
- Signorini, C., Carpen, A., Coletto, L., Borgonovo, G., Galanti, E., Capraro, J., Magni, C., Abate, A., Johnson, S. K., Duranti, M., & Scarafoni, A. (2017). Enhanced vitamin B12 production in an innovative lupin tempeh is due to synergic effects of *Rhizopus* and *Propionibacterium* in cofermentation. *International*

- Torres, F., Nagata, A., & Dreifuss, W. (1980). Métodos de eliminación de alcaloides en la semilla de *Lupinus mutabilis* sweet. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 30(2), 200–209. <http://www.alanrevista.org/ediciones/1980/2/art-4/>
- Van de Noort, M. (2017). Lupin: An Important Protein and Nutrient Source. In *Sustainable Protein Sources* (pp. 165–183). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00010-X>
- Vidaurre-Ruiz, J., Salas-Valerio, W., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2019). Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en un sistema acuoso. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(1), 5–14. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.441>
- Vidaurre-Ruiz, J., Vargas, R. J. Y., Alcázar-Alay, S., Encina-Zelada, C. R., Cabezas, D. M., Correa, M. J., & Repo-Carrasco-Valencia, R. (2022). Andean crops: kañiwa and tarwi flours used for the development of vegan gluten-free muffins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(15), 7282–7292. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12094>
- Villacrés, E., Cueva, P., Díaz, M., & Rosell, C. M. (2020). Replacing Wheat Flour with Debittered and Fermented Lupin: Effects on Bread's Physical and Nutritional Features. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(4), 569–575. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00844-w>
- Villacrés, E., Quelal, M. B., Fernández, E., García, G., Cueva, G., & Rosell, C. M. (2020). Impact of debittering and fermentation processes on the antinutritional and antioxidant compounds in *Lupinus mutabilis* sweet. *LWT - Food Science and Technology*, 131, 109745. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109745>
- Villacrés, E., Quelal, M. B., Jácome, X., Cueva, G., & Rosell, C. M. (2020). Effect of debittering and solid-state fermentation processes on the nutritional content of lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). *International Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2589–2598. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14512>
- Villacrés, E., & Rosell, C. M. (2021). Kinetics of solid-state fermentation of lupin with *Rhizopus oligosporus* based on nitrogen compounds balance. *Food Bioscience*, 42, 101118. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101118>
- Villarino, C. B. J., Jayasena, V., Coorey, R., Chakrabarti-Bell, S., & Johnson, S. K. (2016). Nutritional, Health, and Technological Functionality of Lupin Flour Addition to Bread and Other Baked Products: Benefits and Challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(5), 835–857. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.814044>
- Wrigley, C. (2003). The lupin - The grain with no starch. *Cereal Food World*, 48(1), 30. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/lupin-grain-with-no-starch/docview/230355851/se-2>