



Memorias de:

ILC2026

**INTERNATIONAL LUPIN
CONFERENCE XVII**

QUITO - ECUADOR



Archivos Académicos USFQ

Número 65

Memorias del XVII Conferencia Internacional del Lupino / Proceedings of the 17th International Lupine Conference

Editores

María Gabriela Albán¹, Elena Villacrés², Diego Rodríguez², Mario Caviedes¹, José Luis Zambrano¹

¹Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Carrera de Ingeniería en Agroempresa, Cumbayá, Ecuador; ²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina, Cutuglagua, Ecuador

Comité organizador

Mario Caviedes¹, Elena Villacrés², Jon Clements³, María Gabriela Albán¹, Diego Rodríguez², David McNaughton⁴, Laura Vega², Victoria López², José Velásquez², María B. Quelal², Jorge Rivadeneira², Eduardo Peralta⁵, Carlos Yáñez⁵, José L. Zambrano¹

¹Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Carrera de Ingeniería en Agroempresa; ²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina, Cutuglagua, Ecuador; ³Glycemic Lupin Company; Green Blueprint Pty Ltd, Australia; ⁴Soya UK Ltd, United Kingdom; ⁵Consultor independiente, Quito, Ecuador

Comité científico

Mario Tapia¹, Ana Planchuelo², Manuel Baldeón³, Mario Caviedes⁴, Eduardo Peralta⁵, María B. Quelal⁶, Elena Villacrés⁶, Diego Rodríguez⁶, Laura Vega⁶, José Velásquez⁶, Victoria López⁶, José Luis Zambrano⁴

¹Asociación Nacional de Productores Ecológicos, Perú; ²Universidad Nacional de Córdoba, CREA, Argentina; ³Universidad Internacional del Ecuador UIDE, Ecuador; ⁴Universidad San Francisco de Quito, Ecuador; ⁵Consultor independiente, Ecuador; ⁶Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador

Expositores

Erick Von Baer, Fernando Geu-Flores, Emma Urrunaga de Rozas, Arianna Hernandez Sánchez, Karina Morales, Kalina Bermudez, Wendolin Borges Coronel, Juan Andrade, Juan Espinosa González, César Falconí Saá, Marco Loehrer, Joris A. Alkemade, Alejandro Bonifacio, Ana Planchuelo, Yasmín Garduño Hernández, Eduardo Peralta, Jonathan Clements, Claudia Osorio, Lucas Erdmann, Chistine Arcken, Florian Haase, Wojciech Bielski, Diego Rodríguez, Mario Tadeo Laverde, Mario Tapia, Franz Terrazas, José Velásquez, Yamid Orozco Gómez, Elena Villacrés, Francisco Carvajal-Larenas, Víctor Miranda-García, Anna María Tschigg, Manuel Baldeon, Patricia Glorio Paulet, David McNaughton, Isabel Muranyi, María de Fatima Arévalo-Oliva, Daniel Kolesnik, Glorio Paulet, Juan José Vicente Rojas, Jacob Antonio González, Carmen Yazmín Rojas Cardona, Andrés Araujo, Victoria López, José Luis Zambrano, Verena Schmidt, Brandon Santiago Altamirano, Pablo Llumiquire, Braxton García Bermúdez, María Corona Rangel, Guadalupe Torres Alfaro, Arianna Hernández Sánchez, Flüß, Helge, Sandra Rychel-Bielska, María Molinelli, Anna Maria Tschigg, Laura Vega, Iván Samaniego, Diego Peñaherrera, Pedro Maldonado, Fabricio Gamarra.

De la fotografía de cubierta, ©Archivo GSC

Del diseño, © Carolina Velasteguí y Maximilian Hirshfeld

USFQ PRESS

Universidad San Francisco de Quito USFQ
Campus Cumbayá USFQ, Quito 170901, Ecuador
Mayo 2026, Quito, Ecuador

ISBNe: 978-9978-68-353-8

Catalogación en la fuente: Biblioteca Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador

Conferencia Internacional del Lupino (17° : 2026 : Ecuador)
Memorias del XVII Conferencia Internacional del Lupino =
Proceedings of the 17th International Lupine Conference / editores,
María Gabriela Albán... [y otros] ; expositores: Erick Von Baer... [y
otros]. – Quito : USFQ Press, ©2026.
p. cm. ; (Archivos Académicos USFQ, ISSN: 2528-7753 ; no. 65
(mayo 2026))

ISBNe: 978-9978-68-353-8

1. Lupino – Congresos, conferencias, etc. – 2. Legumbres. – I. Albán,
María Gabriela, ed. – II. Baer, Erik von, exp. – III. Título. – IV. Título
paralelo. – V. Serie monográfica.

Clasificación LC: SB205.L9 C66 2026
Clasificación Dewey: 633.367

OBI-236

Esta obra es publicada bajo una **Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)**.



Citación recomendada de toda la obra: Albán, M.G., Villacrés, E., Rodríguez, D., Caviades, G. M., Zambrano, J. L., (Ed.) (2026) Memorias de la XVII Conferencia Internacional del Lupino / Proceedings of the 17th International Lupine Conference. Archivos Académicos USFQ, 65, 1–161.

Citación recomendada de un resumen: Rodríguez, D. (2026) Advances in the genetic improvement of chocho (*Lupinus mutabilis*) in Ecuador. Archivos Académicos USFQ, 65, 160-161.

Archivos Académicos USFQ

ISSN: 2528-7753

Editora de la serie: Andrea Naranjo

Archivos Académicos USFQ es una serie monográfica multidisciplinaria dedicada a la publicación de actas y memorias de reuniones y eventos académicos. Cada número de *Archivos Académicos USFQ* es procesado por su propio comité editorial (formado por los editores generales y asociados), en coordinación con la editora de la serie. La periodicidad de la serie es ocasional y es publicada por USFQ PRESS, el departamento editorial de la Universidad San Francisco de Quito USFQ.

Más información sobre la serie monográfica *Archivos Académicos USFQ*:

<http://archivosacademicos.usfq.edu.ec>

Contacto:

Universidad San Francisco de Quito, USFQ
Atte. Andrea Naranjo | Archivos Académicos USFQ
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica
Casilla Postal: 17-1200-841
Quito 170901, Ecuador

Instituciones organizadoras: Universidad San Francisco de Quito USFQ, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), International Lupin Association (ILA).



International Lupin Association

Instituciones auspiciantes: La Verde, Ecuador, Ecuaquimica, Ecuador Grandes Foods, Ecuador, Incremar – Ethernium, Ecuador



Con el apoyo de: EkoRural, Fundación Mcknight, KOPIA, Korea Partnership for Innovation in Agriculture – RDA, FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Office Ecuador, Fundación Maquita



Food and Agriculture Organization of the United Nations



**Memorias de la XVII Conferencia Internacional del Lupino /
Proceedings of the 17th International Lupine Conference**

**María Gabriela Albán, Elena Villacrés, Diego Rodríguez,
Mario Caviedes, José Luis Zambrano**
Editores / Editors



Table of Contents / Tabla de Contenido

Introduction.....	11
Agenda	13
Conferences / Conferencias	18
Past, present and future of lupin, tarwi or chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>) / Pasado, presente y futuro del lupino, tarwi o chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)	19
The genetic basis for the production of toxic quinolizidine alkaloids in lupins (<i>Lupinus</i> spp.) / Bases genéticas para la producción de alcaloides quinolizidínicos tóxicos en los lupinos (<i>Lupinus</i> spp.)	21
Quantification by HPLC of lysine and its relationship with the concentration of total alkaloids during the development of <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet, early line / Cuantificación por HPLC de lisina y su relación con la concentración de alcaloides totales durante el desarrollo de <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet, línea temprana.....	22
Biosynthesis of quinolizidine alkaloids in <i>Lupinus bilineatus</i> Benth / Biosíntesis de alcaloides quinolizidínicos en <i>Lupinus bilineatus</i> Benth.....	24
The Multifaceted Potential of the Genus <i>Lupinus</i> / El potencial multifacético del género <i>Lupinus</i>	26
Characterization of the physicochemical properties of protein isolates obtained from lupin bean (<i>Lupinus mutabilis</i>) cultivars and their application as micronutrient delivery systems / Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de aislados proteicos obtenidos de cultivares de chocho o lupino andino (<i>Lupinus mutabilis</i>) y su aplicación como sistemas de liberación de micronutrientes.....	29
Root phenotyping using a Dual-Chamber Rhizotron reveals that proteoid roots are not universal in <i>Lupinus</i> / La fenotipificación de raíces mediante un rizotrófon de doble cámara revela que las raíces proteoides no son universales en <i>Lupinus</i>	31
From seed to harvest: managing anthracnose in Andean Lupin (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) / De la semilla a la cosecha: manejo de la antracnosis en el lupino andino (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet)	33
Seed treatment with bacterial biostimulants induces resistance against fungal pathogens in <i>Lupinus angustifolius</i> and <i>Lupinus mutabilis</i> / El tratamiento de semillas con bioestimulantes bacterianos induce resistencia contra hongos patógenos en <i>Lupinus angustifolius</i> y <i>Lupinus mutabilis</i>	35
Genomic insights into the lupin anthracnose pathogen <i>Colletotrichum lupini</i> / Información genómica sobre el patógeno de la antracnosis del lupino <i>Colletotrichum lupini</i>	37
Wild relatives of <i>Lupinus mutabilis</i> : a multipurpose genetic resource in the context of climate change in the highlands / Los parientes silvestres de <i>Lupinus mutabilis</i> : recurso genético multipropósito en contexto de cambio climático del altiplano.....	39
The contribution of research to the development of chocho or lupin (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) in Ecuador / El aporte de la investigación al desarrollo del chocho o lupino (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) en Ecuador	41
Taxonomic revision of <i>Lupinus</i> in Argentina: reduction from 86 described species to 31 accepted taxa / Revisión taxonómica del género <i>Lupinus</i> en Argentina: reducción de 86 especies descritas a 31 taxones aceptados	43

Lupins – a multipurpose legume in Australia for over 50 years / Lupino: una leguminosa multiuso en Australia desde hace más de 50 años	45
Advances and challenges in the breeding program of <i>Lupinus albus</i> in Chile: new tools for the development of future varieties / Avances y desafíos en el programa de mejoramiento genético de <i>Lupinus albus</i> en Chile: nuevas herramientas para el desarrollo de futuras variedades	47
Expansion of low-alkaloid genetic diversity in narrow-leaved lupin (<i>Lupinus angustifolius</i>) through EMS mutagenesis / Expansión de la diversidad genética de bajo contenido de alcaloides en el lupino de hoja estrecha (<i>Lupinus angustifolius</i>) mediante mutagénesis por EMS	49
Utilizing molecular markers to combine ultra-low alkaloid content and anthracnose resistance in an organic white lupin breeding programme / Utilización de marcadores moleculares para combinar un contenido ultrabajo de alcaloides y resistencia a la antracnosis en un programa de mejoramiento genético de lupino blanco orgánico	51
Towards winter-hardy yellow lupin (<i>Lupinus luteus</i> L.): exploring genetic variability for frost tolerance / Hacia el lupino amarillo (<i>Lupinus luteus</i> L.) resistente al frío: exploración de la variabilidad genética para la tolerancia a las heladas.....	53
Unlocking the sweet trait: identifying a candidate locus for low-alkaloid content in <i>Lupinus mutabilis</i> using BSA-seq / Descifrando el rasgo dulce: identificación de un locus candidato para el bajo contenido de alcaloides en <i>Lupinus mutabilis</i> mediante BSA-seq.....	55
Dissecting flowering induction in wild lupins through RIL-based genetic mapping / Análisis de la inducción de la floración en lupinos silvestres mediante mapeo genético basado en líneas recombinantes endogámicas (RIL)	57
Reimagining <i>Lupinus mutabilis</i> : from andean food heritage to a functional plant protein platform / Reimaginando a <i>Lupinus mutabilis</i> : del patrimonio alimentario andino a una plataforma funcional de proteína vegetal.....	59
The tarwi or Andean lupin (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) in Andean agroecology / El tarwi o lupino andino (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) en la agroecología Andina	60
Progress towards agroecological production and commercial scaling of tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) in Cochabamba – Bolivia / Avances hacia la producción agroecológica y escalamiento comercial de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) en Cochabamba - Bolivia.....	62
Crop rotation with chocho (<i>Lupinus mutabilis</i> S.) in production systems of the Ecuadorian highlands / Rotación de cultivos con chocho (<i>Lupinus mutabilis</i> S.) en sistemas de producción de la Sierra ecuatoriana	64
Chemical composition, processing, and utilization of <i>Lupinus mutabilis</i> in emerging food matrices / Composición química, procesamiento y utilización de <i>Lupinus mutabilis</i> en matrices alimentarias emergentes	66
Optimizing the development of lupin products, processes and technologies by combining mathematical, physical, biochemical, econometrical and GAI approaches / Optimización del desarrollo de productos, procesos y tecnologías de lupino mediante la combinación de enfoques matemáticos, físicos, bioquímicos, econométricos y de IA	68
Protein blending as a strategy to improve functional and nutritional properties of lupin-based ingredients / La mezcla de proteínas como estrategia para mejorar las propiedades funcionales y nutricionales de los ingredientes a base de lupino.....	71

Effect of the consumption of a snack based on <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet on the nutritional status and intestinal microbiota of school children in the Galapagos and the Andean region / Efecto del consumo de un snack a base de <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet sobre el estado nutricional y la microbiota intestinal de escolares en Galápagos y la región Andina	74
Food or feed? – Do we need the animal feed market in order to develop the food markets for lupin? / ¿Alimento o pienso? – ¿Necesitamos el mercado de alimento para animales para desarrollar los mercados alimentarios del lupino?	76
Poster Presentations / Presentaciones de posters	78
Elicitation of <i>Lupinus bilineatus</i> Benth in vitro cultures: QAs production and biological effects on <i>Aedes aegypti</i> L. / Inducción de cultivos in vitro de <i>Lupinus bilineatus</i> Benth: producción de QA y efectos biológicos sobre <i>Aedes aegypti</i> L.....	79
The potential of <i>Lupinus bilineatus</i> as dengue vector control / El potencial de <i>Lupinus bilineatus</i> como vector de control del dengue	82
Sensor-guided fermentation for high-quality tempeh from domestic pulses / Fermentación guiada por sensores para la obtención de tempeh de alta calidad a partir de legumbres nacionales.....	84
Development of greener debittering methods for <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet grains using Pulsed Electric Fields (PEF) / Desarrollo de métodos más ecológicos para eliminar el amargor de los granos dulces de <i>Lupinus mutabilis</i> mediante campos eléctricos pulsados (PEF).....	87
Fermentation of lupin protein isolate via lactic acid bacteria as the key to <i>in situ</i> production of cheese aroma compounds / La fermentación del aislado de proteína de lupino mediante bacterias lácticas es clave para la producción in situ de compuestos aromáticos del queso	90
<i>Lupinus mutabilis</i> L flour and <i>Dioscorea trifida</i> flour used for nutritional improvement in formulations of partial substituted wheat bread / Harina de <i>Lupinus mutabilis</i> L y harina de <i>Dioscorea trifida</i> utilizadas para mejorar nutricionalmente las formulaciones de pan de trigo parcialmente sustituido	93
Marketing of tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) derivatives in informal markets in the cities of La Paz, El Alto, and surrounding areas / Comercialización de derivados de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) en mercados informales de las ciudades de La Paz, El Alto, y zonas aledañas.....	95
Strategies for the introduction of narrow-leaved lupin (<i>Lupinus angustifolius</i> L.) into Argentine cropping systems / Estrategias para la introducción del lupino de hoja estrecha (<i>Lupinus angustifolius</i> L.) en los sistemas de cultivo argentinos	97
Agronomic utilization of two wild legumes from Mexico's central plateau: <i>Lupinus bilineatus</i> and <i>Lupinus exaltatus</i> , a sustainable option for soil improvement / Utilización agronómica de dos leguminosas silvestres del centro de México: <i>Lupinus bilineatus</i> y <i>Lupinus exaltatus</i> , una opción sostenible para la mejora del suelo	99
Evaluation of agronomic parameters of <i>Lupinus exaltatus</i> and <i>Lupinus campestris</i> under two establishment conditions / Evaluación de parámetros agronómicos de <i>Lupinus exaltatus</i> y <i>Lupinus campestris</i> bajo dos condiciones de establecimiento	102
Evaluation of the biological nitrogen fixation of three lupine species at the Santa Catalina Experimental Station of INIAP / Evaluación de la fijación biológica de nitrógeno de tres especies de lupino en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP	104

Evaluation of the effect of fertilization and sowing date on lupin (<i>Lupinus mutabilis</i>) grain yield in Sigchos, Ecuador / Evaluación del efecto de la fertilización y la fecha de siembra en el rendimiento de grano de lupino (<i>Lupinus mutabilis</i>) en Sigchos, Ecuador	106
Plastic mulching effects on the production of lupin (<i>Lupinus mutabilis</i> S.) / Efectos del acolchado plástico en la producción de chocho (<i>Lupinus mutabilis</i> S.)	108
Microparticulation of lupin protein-based fat replacers: influence of thermomechanical treatment on particle size and performance in reduced-fat sauces / Microparticulación de sustitutos de grasa a base de proteína de lupino: influencia del tratamiento termomecánico en el tamaño de partícula y el rendimiento en salsas bajas en grasa.....	110
The effect of gibberellic acid as a pre-germination treatment on seeds of two varieties of tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) / Efecto del ácido giberélico como tratamiento previo a la germinación en semillas de dos variedades de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet)	113
Nematicidal activity of chocho extract against <i>Meloidogyne incognita</i> in tomato crop (<i>Solanum lycopersicum</i>) / Actividad nematocida del extracto de chocho contra <i>Meloidogyne incognita</i> en el cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	115
Leaf plasticity of Mexican <i>Lupinus</i> species / Plasticidad foliar de especies mexicanas de <i>Lupinus</i>	117
Phylogenetic resources of the genus <i>Lupinus</i> in Baja California: Exploration and <i>in situ</i> characterization strategies / Recursos fitogenéticos del género <i>Lupinus</i> en Baja California: estrategias de exploración y caracterización <i>in situ</i>	119
Distribution, ethnobotany, and phytochemistry of <i>Lupinus</i> in three communities of the Trans-Mexican Volcanic Belt / Distribución, etnobotánica y fitoquímica de <i>Lupinus</i> en tres comunidades del Cinturón Volcánico Transmexicano	121
Morphological and physiological characterisation of wild lupinus seeds (<i>Lupinus</i> spp.) / Caracterización morfológica y fisiológica de semillas silvestres de lupinus (<i>Lupinus</i> spp.)	123
Legume generation: the Lupin Innovation Community (LUPIC) – driving genetic gain through targeted introgression and molecular breeding / Generación de leguminosas: la comunidad de innovación del lupino (LUPIC) – Impulsando el avance genético mediante la introgresión dirigida y el mejoramiento molecular.....	125
Uncovering flowering time diversity across the new world lupins / Descubriendo la diversidad de épocas de floración en los lupinos del nuevo mundo	127
Identification of promising tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) cultivars for growing regions in the department of La Paz-Bolivia / Identificación de cultivares promisorios de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) para zonas productoras del departamento de La Paz-Bolivia	129
Mexican <i>Lupinus</i> as a food protein resource: a bibliometric analysis / El lupino mexicano como recurso proteico alimentario: un análisis bibliométrico	131
Phenolic composition and antioxidant properties of white Lupin (<i>Lupinus albus</i>) seeds and sprouts as a functional food / Composición fenólica y propiedades antioxidantes de las semillas y brotes de lupino blanco (<i>Lupinus albus</i>) como alimento funcional.....	134
Characterization and valorization of lupin hull dietary fiber / Caracterización y valorización de la fibra dietética de la cáscara de lupino	136

Development of organic high-quality rye and lupin for human consumption (RUPIN) / Desarrollo de centeno y lupino orgánico de alta calidad para el consumo humano (RUPIN)	138
Environmental effects on total nitrogen, quinolizidine alkaloids, and fat content in <i>Lupinus mutabilis</i> seeds / Efectos ambientales sobre el nitrógeno total, los alcaloides quinolizidínicos y el contenido de grasa en las semillas de <i>Lupinus mutabilis</i>	140
Biomarkers of nutritional, functional and agro-industrial quality in <i>Lupinus mutabilis</i> . A tool for the generation of new materials with added value / Biomarcadores de calidad nutricional, funcional y agroindustrial en <i>Lupinus mutabilis</i> . Una herramienta para la generación de nuevos materiales con valor agregado	142
Evaluation of nutritional properties of a mini-pizza made from modified cassava starch and lupin flour / Evaluación de las propiedades nutricionales de una mini pizza elaborada con almidón de yuca modificado y harina de lupino	143
Effect of a bacterial association based on <i>Bacillus</i> spp. and <i>Brevibacillus brevis</i> on the yield and systemic resistance of <i>Lupinus mutabilis</i> / Efecto de una asociación bacteriana basada en <i>Bacillus</i> spp. y <i>Brevibacillus brevis</i> sobre el rendimiento y la resistencia sistémica de <i>Lupinus mutabilis</i>	145
A retrospective review of the first 16 International Lupin Conferences / Una revisión retrospectiva de las primeras 16 Conferencias Internacionales del Lupino	147
Research on <i>Lupinus</i> , Faculty of Agronomy, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia / Investigaciones en <i>Lupinus</i> , Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia	150
Morphological characterization and development of <i>Lupinus bilineatus</i> in an agricultural system of central Mexico / Caracterización morfológica y desarrollo de <i>Lupinus bilineatus</i> en un sistema agrícola del centro de México	152
Phytoremediation of glyphosate-contaminated soils using <i>Lupinus</i> for landscape and biodiversity conservation / Fitorremediación de suelos contaminados con glifosato utilizando <i>Lupinus</i> para la conservación del paisaje y la biodiversidad	154
Analytical validation of a low-cost bioassay for monitoring selective quinolizidine alkaloid removal in <i>Lupinus mutabilis</i> via optimized supercritical fluid extraction / Validación analítica de un bioensayo de bajo costo para el monitoreo de la eliminación selectiva de alcaloides quinolizidínicos en <i>Lupinus mutabilis</i> mediante extracción optimizada con fluidos supercríticos	156
Improve nutrition by using <i>L. mutabilis</i> in baked goods, pasta and snacks / Mejora de la nutrición utilizando <i>L. mutabilis</i> en productos horneados, pasta y aperitivos	158
Advances in the genetic improvement of chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>) in Ecuador / Avances en el mejoramiento genético del chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>) en Ecuador	160

Memorias de la 17.^a Conferencia Internacional del Lupino / Proceedings of the 17th International Lupine Conference

Introduction

The genus *Lupinus* has gained increasing global recognition as a strategic crop for addressing some of the most pressing challenges of our time, including food security, sustainable agriculture, and human health. Lupins are valued for their high nutritional quality, typically containing above 40% protein and 30% dietary fiber, along with beneficial lipids rich in unsaturated fatty acids, essential minerals, and bioactive compounds. Their consumption has been associated with improved glycemic control, reduced cholesterol levels, and enhanced gut health, positioning lupin as an important ingredient in functional foods and plant-based diets. Agronomically, lupins are well adapted to diverse and often marginal environments and contribute to biological nitrogen fixation, improving soil fertility and reducing dependence on synthetic fertilizers.

Worldwide *Lupinus* production is highly influenced by external factors such as climate variability, market demand, and shifts in regional production. Over the past decade, both harvested area and total production have exhibited marked interannual variability rather than a consistent upward or downward trend, underscoring the crop's sensitivity to these drivers. The global harvested area increased from 763,108 ha in 2014 to a peak of 1,144,732 ha in 2022 - an overall rise of about 50% - before declining to 971,536 ha in 2024, which remains approximately 27% above 2014 levels. Notably, a sharp expansion occurred between 2014 and 2015, with area increasing by around 34%, likely reflecting growth in major producing regions. Production followed a comparable pattern, rising from 995,208 t in 2014 to a maximum of 1,967,504 t in 2022 - an increase of roughly 98% - and then stabilizing at 1,509,172 t in 2024, about 52% higher than in 2014 (FAOSTAT 2014–2024). Overall, these trends highlight both the expansion potential of lupin and the strong influence of year-to-year variability on global production.

The 17th International Lupine Conference features a dynamic five-day scientific program that highlights cutting-edge research, development, and innovation in lupin from around the world. The program includes 29 oral presentations, 2 workshops, and 38 poster presentations delivered by leading researchers from diverse countries. The program hosted primarily at USFQ's Cumbayá campus, included other activities in Cotopaxi and a field day at INIAP - Estación Experimental Santa Catalina. Together, these contributions offered a comprehensive and up-to-date perspective on the scientific and technological advances shaping the future of lupin research and development.

As the proud host of the 17th International Lupin Conference, Universidad San Francisco de Quito (USFQ) and INIAP warmly welcomes academics, professionals, and stakeholders to Quito, Ecuador. This global gathering provides a unique platform to connect experts from research, academia, industry, and commerce, fostering dialogue and collaboration around the latest developments in biodiversity, plant breeding, crop management, food technology, agroindustry, health, and emerging markets. In this context, international scientific meetings play a crucial role by facilitating the exchange of knowledge, fostering collaboration, and accelerating the transfer of research outcomes into practical solutions.

Memorias de la XVII Conferencia Internacional del Lupino / Proceedings of the 17th International Lupine Conference

Presentación

El género *Lupinus* ha adquirido un creciente reconocimiento mundial como cultivo estratégico para abordar algunos de los desafíos más importantes de nuestro tiempo, como la seguridad alimentaria, la agricultura sostenible y la salud humana. Los *Lupinus* son valorados por su alto valor nutricional, con un contenido superior al 40 % de proteínas y al 30 % de fibra dietética, además de lípidos beneficiosos ricos en ácidos grasos insaturados, minerales esenciales y compuestos bioactivos. Desde el punto de vista agronómico, los *Lupinus* se adaptan bien a entornos diversos y a menudo marginales, y contribuyen a la fijación biológica de nitrógeno, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos.

La producción mundial de *Lupinus* está fuertemente influenciada por factores externos como la variabilidad climática, la demanda del mercado y los cambios en la producción regional. Durante la última década, tanto la superficie cosechada como la producción total han mostrado una marcada variabilidad interanual en lugar de una tendencia constante al alza o a la baja, lo que subraya la sensibilidad del cultivo a estos factores. La superficie cosechada a nivel mundial aumentó de 763.108 ha en 2014 a un máximo de 1.144.732 ha en 2022 (un incremento general de aproximadamente el 50 %), antes de descender a 971.536 ha en 2024. Cabe destacar que entre 2014 y 2015 se produjo una fuerte expansión, con un aumento de la superficie de alrededor del 34 %, lo que probablemente refleja el crecimiento en las principales regiones productoras. La producción siguió una tendencia similar, pasando de 995.208 t en 2014 a un máximo de 1.967.504 t en 2022 —un incremento de aproximadamente el 98 %— y estabilizándose posteriormente en 1.509.172 t en 2024, un 52 % superior a la de 2014 (FAOSTAT 2014-2024). En general, estas tendencias ponen de manifiesto tanto el potencial de expansión del *Lupino* como la fuerte influencia de la variabilidad interanual en la producción mundial.

La 17.^a Conferencia Internacional del Lupino ofrece un programa científico de cinco días que destaca la investigación, el desarrollo y la innovación en el cultivo e industrialización a nivel mundial. El programa incluye 29 conferencias, 2 workshops y 38 presentaciones en formato póster a cargo de investigadores líderes de diversos países. El programa, que se desarrolla principalmente en el campus de Cumbayá de la USFQ, incluye además actividades en Cotopaxi y una jornada de campo en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP. En conjunto, el programa ofrece una perspectiva integral y actualizada sobre los avances científicos y tecnológicos que configuran el futuro de la investigación y el desarrollo del Lupino.

Como anfitriones de la 17.^a Conferencia Internacional del Lupino, la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) y el INIAP dan una cálida bienvenida a Quito, Ecuador. Este encuentro global ofrece una plataforma única para conectar a expertos de la investigación, la academia, la industria y el comercio, fomentando el diálogo y la colaboración en torno a los últimos avances en investigación y desarrollo tecnológico. En este contexto, las reuniones científicas internacionales desempeñan un papel crucial al facilitar el intercambio de conocimientos, fomentar la colaboración y acelerar la transferencia de los resultados de la investigación a soluciones prácticas.

Agenda

Monday, June 1 / Lunes 1 de junio / 2026

Time / Hora	Theme / Tema	Name / Nombre	Affiliation / Afilación
8:00	Registration / Registro		
9:00	Welcome, event opening / Bienvenida, apertura del evento		
09:20	Past, present and future of lupin, tarwi o chocho	Erick Von Baer	Campex Semillas Baer, Chile
Topic 1: Biochemistry, physiology and functional analysis / Tema 1: Bioquímica, fisiología y análisis funcional			
10:00	The genetic basis for the production of toxic quinolizidine alkaloids in lupins	Fernando Geu-Flores	University of Copenhagen, Denmark
10:30	Break		
10:50	Quantification by HPLC of lysine and its relationship with the concentration of total alkaloids during the development of <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet, early line	Emma Urrunaga de Rozas	Universidad Nacional de San Antonio Abad, Perú
11:20	Biosynthesis of quinolizidine alkaloids in <i>Lupinus bilineatus</i> Benth	Arianna Hernández	Instituto Politécnico Nacional, México
11:50	The Multifaceted Potential of the Genus <i>Lupinus</i>	Kalina Bermudez	Instituto Politécnico Nacional, México
12:30	Characterization of the physicochemical properties of protein isolates obtained from Lupin bean (<i>Lupinus mutabilis</i>) cultivars and their application as micronutrient delivery systems.	Juan Andrade	University of Florida, USA
13:00	Lunch / Almuerzo		
14:10	Root phenotyping using a dual-chamber rhizotron reveals that proteoid roots are not universal in <i>Lupinus</i>	Juan Espinosa	Colegio de Postgraduados, México
Topic 2: Plant health and biotic and abiotic Stress / Tema 2: Salud de las plantas y estrés biótico y abiótico			
14:40	From seed to harvest: managing anthracnose in Andean lupin	César Falconí	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador
15:20	Seed treatment with bacterial biostimulants induces resistance against fungal pathogens in <i>Lupinus angustifolius</i> and <i>Lupinus mutabilis</i>	Marco Loehrer	RWTH Aachen University, Germany
15:50	Genomic insights into the lupin anthracnose pathogen <i>Colletotrichum lupini</i>	Joris A. Alkemade	University of Oxford, UK.

16:30	Break		
16:50	Poster sesión / Presentación de posters		
18:00	Closure / Cierre		

Tuesday, June 2 / Martes 2 de junio / 2026

Time / Hora	Theme / Tema	Name / Nombre	Affiliation / Afiliación
	Topic 3: Genetic diversity and plant genetic resources / Tema 3: Diversidad genética y recursos fitogenéticos		
9:00	Wild relatives of <i>Lupinus mutabilis</i> : a multipurpose genetic resource in the context of climate change in the Altiplano	Alejandro Bonifacio	PROINPA, Bolivia
9:40	The contribution of research to the development of the chocho or lupin (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) in Ecuador	Eduardo Peralta	Independent Researcher, Ecuador
10:10	Coffe break		
10:30	Taxonomic revision of <i>Lupinus</i> in Argentina: reduction from 86 described species to 31 accepted taxa	Ana Planchuelo	Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
	Topic 4: Plant breeding and genomics / Tema 4: Fitomejoramiento y genómica		
11:00	Lupins – a multipurpose legume in Australia for over 50 years	Jonathan Clements	Glycemic Lupin Company, Australia
11:40	Advances and Challenges in the Breeding Program of <i>Lupinus albus</i> in Chile: New Tools for the Development of Future Varieties	Claudia Osorio	INIA, Chile
12:20	Expansion of low-alkaloid genetic diversity in narrow-leafed lupin (<i>Lupinus angustifolius</i>) through EMS mutagenesis	Erdmann, Lucas	Julius Kuehn-Institute, Germany
13:00	Almuerzo		
14:10	Utilizing molecular markers to combine ultra-low alkaloid content and anthracnose resistance in an organic white lupin breeding program	Chistine Arcken	Research Institute of Organic Agriculture, Switzerland
14:40	Towards winter-hardy yellow lupin (<i>Lupinus luteus</i> L.): exploring genetic variability for frost tolerance	Florian Haase	Julius Kuehn Institute, Germany
15:10	Unlocking the sweet trait: identifying a candidate locus for low-alkaloid content in <i>Lupinus mutabilis</i> using BSA-seq	Diego Rodríguez	INIAP, Ecuador

15:40	Dissecting flowering induction in wild lupins through RIL-based genetic mapping	Wojciech Bielski	Polish Academy of Sciences, Poland
16:10	Reimagining <i>Lupinus mutabilis</i> : from Andean food heritage to a functional plant protein platform	Mario Tadeo Laverde	La Verde, Ecuador
16:40	Break		
17:00	Poster sesión / Presentación de posters		
18:00	Closure / Cierre		

Wednesday, June 3 / Miércoles 3 de junio / 2026

Time / Hora	Theme / Tema	Name / Nombre	Affiliation / Afilación
Topic 5: Agronomy and production systems / Tema 5: Agronomía y sistemas de producción			
8:30	Tarwi or Andean Lupin in Andean Agroecology	Mario Tapia	AEDES, Perú
9:10	Progress Toward Agroecological Production and Commercial Scaling of Tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) in Cochabamba, Bolivia	Franz Terrazas	PROINPA, Bolivia
9:40	Coffe break		
10:00	Crop Rotation with Chocho (<i>Lupinus mutabilis</i> S.) in Production Systems of the Ecuadorian Highlands	José Velásquez	INIAP, Ecuador
Topic 6: Agroindustry, Product Development and Markets / Tema 6: Agroindustria, desarrollo de productos y mercados			
10:30	Chemical Composition, Processing, and Utilization of <i>Lupinus mutabilis</i> in Emerging Food	Elena Villacres	INIAP, Ecuador
11:10	Optimizing the development of lupin products, processes and technologies by combining mathematical, physical, biochemical, econometrical and GAI approaches	Francisco Carvajal-Larenas	Consultor Independiente, Ecuador
11:40	Protein blending as a strategy to improve functional and nutritional properties of lupin-based ingredients	Anna Maria Tschigg	Technical University of Munich, Germany
Topic 7: Nutrition, health and human consumption / Tema 7: Nutrición, salud y consumo humano			

12:10	Effect of the consumption of a snack based on <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet on the nutritional status and intestinal microbiota of schoolchildren in the Galapagos and the Andean region	Manuel Baldeón	Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador
12:50	Almuerzo		
14:00	Food or feed? – do we need the animal feed market in order to develop the food markets for lupin?	David McNaughton	Soya UK Ltd, United Kingdom
14:40	Workshop I: Uses, applications and market of Lupin / Usos, aplicaciones y mercado del Lupino (María de Fátima Arévalo, Karina Morales, Wendolin Borges, Víctor Miranda, Patricia Glorio) Moderator: Manuel Baldeón Workshop II: Genetics, Plant Breeding and Biodiversity / Genética, Fitomejoramiento y biodiversidad (Fluß Helge, Yasmín Garduño, Yamid Orozco, Diego Rodríguez) Moderator: Jose Luis Zambrano		
16:10	Break		
16:30	Closing remarks, delivery of certificates / Cierre de conferencias, entrega de certificados		
17:00	ILA Meeting / Reunión ILA		

Thursday, June 4 / Jueves 4 de junio / 2026

Time / Hora	Theme / Tema
	Agritourism tour of the lupin to Cotopaxi / Gira agroturística del chocho a Cotopaxi
7:00	Bus departure from USFQ University / Salida en bus desde la Universidad USFQ
11:00	Visit farmers' plots, processing plant, entrepreneurship exhibition / Visita parcelas de agricultores, planta de procesamiento, exposición de emprendimientos
13:00	Lunch / Almuerzo (Quilotoa)
15:00	Return to Quito / Retorno a Quito
18:30	Arrive USFQ / Llegada a la USFQ

Friday, June 5 / Viernes 5 de junio / 2026

Time / Hora	Theme / Tema
Field day at INIAP, Santa Catalina Experimental Station / Día de campo en INIAP, Estación Experimental Santa Catalina	
08:00	Bus departure from the University USFQ / Salida en bus desde la Universidad USFQ
09:00	Arrive at Santa Catalina, registration / Llegada a Santa Catalina, registro
09:30	Opening, Welcome at Santa Catalina / Apertura, Bienvenida a Santa Catalina
10:00	Refreshment / Refrigerio
10:30	INIAP field and laboratory demonstrations / Demostraciones en campo y laboratorio del INIAP. Exponents / Exponentes: Diego Rodriguez, José Velásquez, Elena Villacrés Visit lupin processing plant, experimental plots, entrepreneurship exhibition / Visita a planta de procesamiento de chocho, lotes experimentales y exposición de emprendimientos y negocios
13:30	Lunch / Almuerzo
14:30	Closing remarks / Clausura del evento
14:45	Return to USFQ / Retorno a USFQ

Conferences / Conferencias

Past, present and future of lupin, tarwi or chocho (*Lupinus mutabilis*) / Pasado, presente y futuro del lupino, tarwi o chocho (*Lupinus mutabilis*)

Erik von Baer

Campex Semillas Baer, Fundo el Hualle, Temuco, Chile

*Corresponding author email: erik@semillasbaer.cl

Abstract

Two centers of origin contain the diverse species of lupin: the Mediterranean basin (the old world) and the Americas (the new world). In contrast to the old world, in the new world many species are able to form hybrids, either naturally or artificially, due to the fact that share the same number of chromosomes. In both regions, more than 2,000 different species can be found. Their ability for nitrogen fixation through symbiosis with rhizobium is one of the reasons for their wide adaptation. Some species, such as *Lupinus albus*, also have cluster roots capable of releasing phosphorus fixed in the soil. Their soil improving effect was recognized very early in both the old and new worlds, where they were used as green manure. Their alkaloid content protects them against herbivores, while phenolic compounds defend them against fungi infection. All wild forms are dehiscent: when the pods are mature, they open releasing the seeds. Domestication consisted of obtaining forms that did not shatter. The grain was sacred for the Tiahuanaco culture, to Muslims, and later to the Christian Church, which introduced it in Ukraine. Its anti-hyperglycemic effect was described by the Greek physician Claudius Galen, famous in Rome, in the year 129. The modern era began with von Sengbusch, who in 1926 obtained the first mutations of *L. luteus*, *L. angustifolius*, and *L. albus*. This work formed the basis for the global expansion of these species, including Australia, thanks to Gladstone. The last variety developed by von Sengbusch was Multolupa, whose selections were sown in many countries. With *L. mutabilis*, which von Sengbusch referred to as the oilseed lupin, while the maintenance of the sweet (low alkaloid) trait was not achieved. This was successfully obtained much later using germplasm from Oscar Blanco, resulting in the variety of Inti. This genetic base was subsequently crossed with large seeded types and *L. polyphyllus*. In Chile, sweet forms of *L. albus* show bitter back mutations at a frequency of 2 per thousand. Because cross pollination occurs via insects and the sweet trait is recessive, if strict purity maintenance is not practiced, the seeds population becomes bitter again over time. Future of lupins has already begun here in Ecuador, where *L. mutabilis* is the leading species due to its composition, having the highest protein and oil content. Its origin makes adaptation to more southern and northern latitudes difficult. However, numerous species are adaptation to regions with longer photo periods, but achieving this adaptation remains a challenge. In southern Chile, this has been accomplished. However, none of this has practical value without demand, and that demand has been achieved in Ecuador, my congratulations. This case demonstrates how the linkage between research, production, and processing, supported by nutritional studies that demonstrate the antihyperglycemic effect, has created a virtuous circle of success.

Keywords: center of origin, nitrogen fixation, Claudius Galenus, von Sengbusch, photoperiod, back mutation, phenolic compounds, antihyperglycemic effect

Resumen

Dos centros de origen albergan las diversas especies de lupino: la cuenca mediterránea (el viejo mundo) y América (el nuevo mundo). A diferencia del viejo mundo, en el nuevo mundo muchas especies pueden formar híbridos, ya sea de forma natural o artificial, debido a que comparten el mismo número de cromosomas. En ambas regiones se pueden encontrar más de

2000 especies diferentes. Su capacidad de fijación de nitrógeno mediante simbiosis con rizobios es una de las razones de su amplia adaptación. Algunas especies, como *Lupinus albus*, también poseen raíces en racimo capaces de liberar el fósforo fijado en el suelo. Su efecto mejorador del suelo fue reconocido muy pronto tanto en el viejo como en el nuevo mundo, donde se utilizaban como abono verde. Su contenido de alcaloides los protege de los herbívoros, mientras que los compuestos fenólicos los defienden de las infecciones por hongos. Todas las formas silvestres son dehiscentes: cuando las vainas maduran, se abren liberando las semillas. La domesticación consistió en obtener formas que no se desprendieran. El grano era sagrado para la cultura Tiahuanaco, para los musulmanes y, posteriormente, para la iglesia cristiana, que lo introdujo en Ucrania. Su efecto antihiper glucémico fue descrito por el médico griego Claudio Galeno, famoso en Roma, en el año 129. La era moderna comenzó con von Sengbusch, quien en 1926 obtuvo las primeras mutaciones de *L. luteus*, *L. angustifolius* y *L. albus*. Este trabajo sentó las bases para la expansión global de estas especies, incluyendo Australia, gracias a Gladstone. La última variedad desarrollada por von Sengbusch fue Multolupa, cuyas selecciones se sembraron en muchos países. Con *L. mutabilis*, a la que von Sengbusch denominó lupino oleaginoso, no se logró mantener el rasgo dulce (bajo contenido de alcaloides). Esto se obtuvo con éxito mucho más tarde utilizando germoplasma de Oscar Blanco, dando como resultado la variedad Inti. Esta base genética se cruzó posteriormente con tipos de semilla grande y de *L. polyphyllus*. En Chile, las variedades dulces de *L. albus* presentan mutaciones que las hacen amargas con una frecuencia de 2 por mil. Debido a que la polinización cruzada se produce por insectos y el rasgo dulce es recesivo, si no se practica un estricto control de la pureza, la población de semillas vuelve a volverse amarga con el tiempo. El futuro del lupino ya ha comenzado aquí en Ecuador, donde *L. mutabilis* es la especie líder por su composición, con el mayor contenido de proteínas y aceite. Su origen dificulta la adaptación a latitudes más australes y septentrionales. Sin embargo, numerosas especies se están adaptando a regiones con fotoperiodos más largos, pero lograr esta adaptación sigue siendo un reto. En el sur de Chile, esto se ha conseguido. No obstante, nada de esto tiene valor práctico sin demanda, y esa demanda se ha logrado en Ecuador, ¡felicitaciones! Este caso demuestra cómo la vinculación entre investigación, producción y procesamiento, respaldada por estudios nutricionales que demuestran el efecto antihiper glucémico, ha creado un círculo virtuoso de éxito.

Palabras clave: centro de origen, fijación de nitrógeno, Claudius Galenus, von Sengbusch, fotoperiodo, mutación inversa, compuestos fenólicos, efecto antihiper glucémico

The genetic basis for the production of toxic quinolizidine alkaloids in lupins (*Lupinus* spp.) / Bases genéticas para la producción de alcaloides quinolizidínicos tóxicos en los lupinos (*Lupinus* spp.)

Davide Mancinotti¹, Hajar Golshadi Galehshahi¹, Isabella Kruse-Andersen¹, Louise Kjaerulff², Ting Yang¹, Dan Stærk², Fernando Geu-Flores^{1*}

¹Section for Plant Biochemistry and Copenhagen Plant Science Centre, Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Frederiksberg, Denmark

²Department of Drug Design and Pharmacology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark

*Corresponding author email: feg@plen.ku.dk

Abstract

Lupins (*Lupinus* spp.) are promising protein crops that accumulate bitter and toxic quinolizidine alkaloids (QAs). The effective removal of QAs via new breeding technologies is hampered by a poor understanding of their biosynthesis. Here, we used pathway reconstruction and mutant analysis to elucidate the full QA pathway in *L. angustifolius* (NLL) comprising 15 enzymatic steps. Noteworthy is the prominence of major latex protein-like proteins dramatically improving flow through the pathway as well as an oxidoreductase-like protein that ensures pathway stereoselectivity. Furthermore, we created a new low-alkaloid NLL line and identified the causal mutation in an existing low-alkaloid line of *L. albus*. Our work reveals the genetic and biochemical basis of toxic QA production and streamlines the *de novo* domestication of wild lupins and other QA-containing legumes.

Keywords: breeding technologies, mutants, quinolizidine alkaloids

Resumen

Los lupinos o altramuces (*Lupinus* spp.) son cultivos proteicos prometedores que acumulan alcaloides quinolizidínicos (AQ) amargos y tóxicos. La eliminación eficaz de los AQ mediante nuevas tecnologías de mejoramiento genético se ve dificultada por el escaso conocimiento de su biosíntesis. En este estudio, utilizamos la reconstrucción de la ruta metabólica y el análisis de mutantes para dilucidar la ruta completa de los AQ en *L. angustifolius* (NLL), que comprende 15 pasos enzimáticos. Cabe destacar la prominencia de proteínas similares a las del látex, que mejoran drásticamente el flujo a través de la ruta, así como una proteína similar a una oxidorreductasa que garantiza la estereoselectividad de la ruta. Además, creamos una nueva línea de NLL con bajo contenido de alcaloides e identificamos la mutación causante en una línea existente de *L. albus* con bajo contenido de alcaloides. Nuestro trabajo revela la base genética y bioquímica de la producción de AQ tóxicos y facilita la domesticación de novo de altramuces silvestres y otras leguminosas que contienen AQ.

Palabras clave: tecnologías de mejoramiento genético, mutantes, alcaloides quinolizidínicos

Quantification by HPLC of lysine and its relationship with the concentration of total alkaloids during the development of *Lupinus mutabilis* Sweet, early line / Cuantificación por HPLC de lisina y su relación con la concentración de alcaloides totales durante el desarrollo de *Lupinus mutabilis* Sweet, línea temprana

Emma Urrunaga de Rozas*, Juana Torres Polanco, Emely Ccoa Oblitas

Dirección del Departamento Académico de Química-Facultad de Ciencias, Centro de Estudios de Plantas Alimenticias y Medicinales (CEPLAM), Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú

*Corresponding author email: emma.urrunaga@unsaac.edu.pe

Abstract

Lupinus mutabilis Sweet has a high protein content used in human and animal nutrition, but it contains quinolizidine alkaloids (QA) that limit its use. The objective of this research was to determine the content of total alkaloids and free lysine (Lys, K) by HPLC and to analyze the relationship between these results during plant growth. The crop was grown in open field conditions, and tissues were sampled at each phenological stage using liquid nitrogen: cotyledons (CT), leaves (H), inflorescence (IF), flowers (F), green pods (GP), physiological maturity (PM), and harvest maturity (HM); stored at -76.8°C, dried at 40°C, and ground into flour. Alkaloids were quantified by titration (modified Von Baer D. et al. method), spectrophotometry (Bromocresol Purple method), and free Lys by HPLC with derivatization. Defatted tarwi flour was used, and amino acids were extracted with 0.1 N HCl, filtered through a 0.45 µm hydrophilic membrane, and analyzed using a ZORBAX Eclipse AAA rapid-resolution column. Results by titration and spectrophotometry were as follows (dry basis): CT 19.93% and 7.79%, H 2.03% and 4.03%, IF 14.04% (spectrophotometry only), F 14.04% and 5.20%, GP 20.54% and 14.93%, PM 3.49% and 2.40%, and HM 3.56% and 1.90%, respectively. Free Lys quantification yielded the following values (g/100 g, dry basis): CT 2.48, H 0.88, IF 0.78, F 0.59, GP 1.69, PM 0.01, HM 0.01. There is a relationship between total QA content and lysine in green pods, except for CT by spectrophotometry, where abundance corresponds to protein degradation. We believe that in GP, the enzymes L/ODC and diaminopimelate decarboxylase coordinate because they are in the same subcellular compartment, but transport from other aerial parts of the plant is possible. Applying Pearson's correlation test between lysine concentration and total alkaloid concentration (dry basis) using the spectrophotometry technique yielded a value of 0.5271286, indicating a moderate positive correlation between the two concentrations; that is, as alkaloid concentration increases, lysine concentration also increases. The p-value for the correlation between the variables is less than the significance level of 0.05, indicating that the association between the concentrations is significant.

Keywords: *Lupinus mutabilis* Sweet, quinolizidine alkaloids, free lysine, HPLC, biosynthesis

Resumen

Lupinus mutabilis Sweet tiene un alto contenido proteico utilizado en nutrición humana y animal, pero contiene alcaloides quinolizidínicos (QA) que limitan su uso. El objetivo de esta investigación fue determinar el contenido de alcaloides totales y lisina libre (Lys, K) por HPLC y analizar la relación entre estos resultados durante el crecimiento de la planta. El cultivo se cultivó en condiciones de campo abierto, y se tomaron muestras de tejidos en cada etapa fenológica utilizando nitrógeno líquido: cotiledones (CT), hojas (H), inflorescencia (IF), flores (F), vainas verdes (GP), madurez fisiológica (PM) y madurez de cosecha (HM); almacenadas

a -76,8 °C, secadas a 40 °C y molidas hasta obtener harina. Los alcaloides se cuantificaron por titulación (método modificado de Von Baer D. et al.), espectrofotometría (método de púrpura de bromocresol) y la lisina libre por HPLC con derivatización. Se utilizó harina de tarwi desgrasada y se extrajeron los aminoácidos con HCl 0,1 N, se filtraron a través de una membrana hidrofílica de 0,45 µm y se analizaron utilizando una columna ZORBAX Eclipse AAA de resolución rápida. Los resultados por titulación y espectrofotometría fueron los siguientes (base seca): CT 19,93 % y 7,79 %, H 2,03 % y 4,03 %, IF 14,04 % (solo espectrofotometría), F 14,04 % y 5,20 %, GP 20,54 % y 14,93 %, PM 3,49 % y 2,40 %, y HM 3,56 % y 1,90 %, respectivamente. La cuantificación de lisina libre arrojó los siguientes valores (g/100 g, base seca): CT 2,48, H 0,88, IF 0,78, F 0,59, GP 1,69, PM 0,01, HM 0,01. Existe una relación entre el contenido total de QA y la lisina en las vainas verdes, excepto para CT por espectrofotometría, donde la abundancia corresponde a la degradación de proteínas. Creemos que en GP, las enzimas L/ODC y diaminopimelato descarboxilasa interactúan porque están en el mismo compartimento subcelular, pero es posible el transporte desde otras partes aéreas de la planta. La aplicación de la prueba de correlación de Pearson entre la concentración de lisina y la concentración total de alcaloides (base seca) utilizando la técnica de espectrofotometría arrojó un valor de 0,5271286, lo que indica una correlación positiva moderada entre las dos concentraciones; es decir, a medida que aumenta la concentración de alcaloides, también aumenta la concentración de lisina. El valor p de la correlación entre las variables es menor que el nivel de significancia de 0,05, lo que indica que la asociación entre las concentraciones es significativa.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis* Sweet, alcaloides quinolizidínicos, lisina libre, HPLC, biosíntesis

Biosynthesis of quinolizidine alkaloids in *Lupinus bilineatus* Benth / Biosíntesis de alcaloides quinolizidínicos en *Lupinus bilineatus* Benth

Héctor Jiménez Guadalupe¹, Kalina Bermúdez Torres^{1*} y Arianna M. Hernández Sánchez^{1,2*}

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Morelos, México

²Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud, Unidad Milpa, CDMX, México

*Corresponding author: kbermudes@ipn.mx; amhernandezs@ipn.mx

Abstract

Lupinus bilineatus Benth is an annual, biennial, and short-lived perennial native Mexican plant with a shrubby growth habit. During the flowering stage, it produces a blue-to-purple inflorescence measuring 20 to 50 cm, the flowers are arranged in a spiral, and the calyx is pubescent. It grows in temperate climates on mountain slopes in the central states of Mexico, at elevations between 2,000 and 2,800 m above sea level. *Lupinus bilineatus* biosynthesizes quinolizidine alkaloids (QA) as chemical protection against herbivores. Quinolizidine alkaloids are toxic to humans, but they have significant pharmacological potential. Quinolizidine alkaloids are used in traditional medicine to treat diseases such as diabetes. The pharmacological activity of these secondary metabolites ranges from anesthetic, analgesic, antibacterial, and antiviral effects to antineoplastic, antihypertensive, and hypoglycemic agents. Quinolizidine alkaloids are biosynthesized in photosynthetic organs, mainly in leaves, and accumulated in seeds. The first enzyme of the QA biosynthesis pathway, lysine decarboxylase (LDC), and its substrate lysine are located in chloroplasts, decarboxylation of lysine produces cadaverine, used to biosynthesize piperidine, a direct precursor of QA. During germination and early seedling development, QA contained in the cotyledons are metabolized as a source of nitrogen (up to 91.5%), as the seedling develops QA biosynthesis is initiated. In *L. bilineatus*, biosynthesis of QA such as lupanine, aphillidine, aphilline and 11,12-dehydrolupanine begins when the hypocotyl elongates and the cotyledons transform into cotyledonal leaves, before the first leaf emerges. Whether cotyledons participate in QA biosynthesis is unknown. In this regard, it has been reported that the cotyledons of *Lupinus luteus* L. develop functional chloroplasts and acquire a leaf anatomy when they redifferentiate to cotyledonal leaves. However, it is unknown whether cotyledons of *L. bilineatus* redifferentiate to cotyledonal leaves in a similar way, and thus develop the functional organelles and anatomy necessary to biosynthesize QA. The aim of this research project was to investigate whether *L. bilineatus* cotyledonal leaves biosynthesize QA. Quinolizidine alkaloids profiles obtained by mass-coupled gas chromatography were analyzed, anatomical changes were monitored by light microscopy and LDC expression was determined at the transcriptional level by qRT-PCR and endpoint PCR in cotyledonal leaves at different developmental stages. The results show that QA increase as cotyledonal leaves develop. Regarding cotyledonal leaves anatomy, the parenchyma is organized in the same way as it is in leaves, suggesting that cotyledons transform into cotyledonal with green coloration. *Lysine decarboxylase* gene transcripts were detected in cotyledonal leaves at different developmental stages, all these changes suggest that cotyledonal leaves of *Lupinus bilineatus* biosynthesize quinolizidine alkaloids.

Keywords: Mexican lupins, bioactive compounds biosynthesis, *Lupinus* cotyledonal leaves, quinolizidine alkaloid patterns

Resumen

Lupinus bilineatus Benth. es una planta nativa mexicana, anual, bienal y perenne de corta duración, con porte arbustivo. Durante la floración, produce una inflorescencia de color azul a púrpura que mide de 20 a 50 cm, con flores dispuestas en espiral y cáliz pubescente. Crece en climas templados, en laderas de montañas de los estados centrales de México, a altitudes entre 2000 y 2800 m sobre el nivel del mar. *Lupinus bilineatus* biosintetiza alcaloides de quinolizidina (QA) como protección química contra los herbívoros. Los alcaloides de quinolizidina son tóxicos para los humanos, pero poseen un importante potencial farmacológico. Se utilizan en la medicina tradicional para tratar enfermedades como la diabetes. La actividad farmacológica de estos metabolitos secundarios abarca desde efectos anestésicos, analgésicos, antibacterianos y antivirales hasta agentes antineoplásicos, antihipertensivos e hipoglucemiantes. Los alcaloides quinolizidínicos se biosintetizan en los órganos fotosintéticos, principalmente en las hojas, y se acumulan en las semillas. La primera enzima de la vía de biosíntesis de QA, la lisina descarboxilasa (LDC), y su sustrato, la lisina, se encuentran en los cloroplastos. La descarboxilación de la lisina produce cadaverina, que se utiliza para biosintetizar piperideína, un precursor directo de QA. Durante la germinación y el desarrollo temprano de la plántula, los QA contenidos en los cotiledones se metabolizan como fuente de nitrógeno (hasta un 91,5%), y a medida que la plántula se desarrolla, se inicia la biosíntesis de QA. En *L. bilineatus*, la biosíntesis de QA como lupanina, afilidina, afilina y 11,12-dehidrolupanina comienza cuando el hipocótilo se alarga y los cotiledones se transforman en hojas cotiledonares, antes de que emerja la primera hoja. Se desconoce si los cotiledones participan en la biosíntesis de QA. En este sentido, se ha informado que los cotiledones de *Lupinus luteus* L. desarrollan cloroplastos funcionales y adquieren una anatomía foliar al rediferenciarse en hojas cotiledonares. Sin embargo, se desconoce si los cotiledones de *L. bilineatus* se rediferencian en hojas cotiledonares de manera similar y, por lo tanto, desarrollan los orgánulos funcionales y la anatomía necesarios para biosintetizar QA. El objetivo de este proyecto de investigación fue investigar si las hojas cotiledonares de *L. bilineatus* biosintetizan QA. Se analizaron los perfiles de alcaloides quinolizidínicos obtenidos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, se monitorizaron los cambios anatómicos mediante microscopía óptica y se determinó la expresión de LDC a nivel transcripcional mediante qRT-PCR y PCR de punto final en hojas cotiledonares en diferentes etapas de desarrollo. Los resultados muestran que QA aumenta a medida que se desarrollan las hojas cotiledonares. En cuanto a la anatomía de las hojas cotiledonares, el parénquima se organiza de la misma manera que en las hojas, lo que sugiere que los cotiledones se transforman en hojas cotiledonares de color verde. Se detectaron transcritos del gen de la lisina descarboxilasa en hojas cotiledonares en diferentes etapas de desarrollo. Todos estos cambios sugieren que las hojas cotiledonares de *Lupinus bilineatus* biosintetizan alcaloides quinolizidínicos.

Palabras clave: Lupino mexicano, biosíntesis de compuestos bioactivos, hojas cotiledonares de *Lupinus*, patrones de alcaloides quinolizidínicos

The Multifaceted Potential of the Genus *Lupinus* / El potencial multifacético del género *Lupinus*

Kalina Berrmúdez Torres^{1*}, Rodolfo Figueroa Brito¹, Arianna Michell Hernández Sánchez¹, Gerardo Cruz Flores², Jacob Antonio González³

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México

²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

³Secretaría de Educación Pública-DGETAyCM, Parque Administrativo Cuauhtémoc, Toluca de Lerdo, México

*Corresponding author email: kbermudes@ipn.mx

Abstract

The genus *Lupinus*, belonging to the family Fabaceae, is widely distributed across the Americas, Europe, and North Africa, particularly within the Mediterranean region. To date, more than 280 species have been described, of which 14 have been reported in Europe and North Africa; however, the overwhelming majority occur in the Americas. The use of *Lupinus* dates back millennia and is deeply rooted in the agricultural and medicinal traditions of ancient civilizations. Throughout history, several species, particularly *Lupinus albus*, *L. luteus*, *L. angustifolius*, and *L. mutabilis*, were selected for their high protein content and nutritional quality, serving both as human food and as animal feed among the Egyptians, Romans, Greeks, and Incas. The Greek physician Dioscorides documented the properties of lupin and recognized its therapeutic applications, including its use as an anthelmintic and in the treatment of skin disorders. Beyond its nutritional importance, *Lupinus* plays a crucial role in soil recovery and ecological restoration. Its symbiotic association with nitrogen-fixing soil bacteria, especially members of the genus *Bradyrhizobium*, enables *Lupinus* species to improve depleted soils, strengthen soil structure, and reduce agricultural dependence on synthetic fertilizers. These functions align closely with the core principles of sustainable and regenerative agriculture, particularly in marginal or degraded lands. From a future-oriented perspective, *Lupinus* exhibits considerable potential that extends far beyond nutrition and agronomy. In particular, it has attracted increasing scientific interest because of its rich repertoire of secondary metabolites, especially quinolizidine alkaloids. Historically, these compounds were regarded as anti-nutritional factors, prompting intensive breeding efforts to develop modern "sweet" lupin varieties with reduced alkaloid content. More recently, however, this view has shifted, and quinolizidine alkaloids are now increasingly recognized for their promise in specialized pharmacological applications. In nature, these alkaloids function as effective chemical defense compounds, displaying antimicrobial, antifungal, and insecticidal properties that are currently being explored for the development of environmentally friendly biopesticides. In the medical field, lupin extracts were traditionally applied topically to treat dermatological conditions and parasitic infections. Preliminary studies suggest that certain quinolizidine alkaloids exhibit noteworthy anti-inflammatory, analgesic, and potentially metabolic regulatory activities. In addition, specific alkaloid derivatives are being evaluated for their neuropharmacological and cardiovascular effects. Although the therapeutic window of these compounds must be carefully managed because of their inherent toxicity at high concentrations, the responsible and scientifically rigorous exploration of *Lupinus* phytochemistry holds substantial promise for the discovery of novel therapeutic agents. A major constraint is the procurement of raw materials, since species rich in quinolizidine alkaloids are wild and not cultivated. Consequently, it is necessary to establish efficient propagation systems for species of agro-industrial interest in order to generate the biomass required to obtain these specialized metabolites. Although, *in vitro* culture offers a means of propagating species with agro-industrial potential, studies have shown that quinolizidine alkaloid yields in such cultures may be up to 100-fold lower than in

whole plants. For this reason, elicitation strategies must be considered to enhance metabolite production. Another promising approach is the domestication and agronomic development of wild species of agro-industrial interest, which would also allow their beneficial effects on soil quality to be harnessed while contributing to the enhancement of agrobiodiversity.

Keywords: potential, quinolizidine alkaloids, *Aedes aegypti*, biological nitrogen fixation, cultivation systems, domestication

Resumen

El género *Lupinus*, perteneciente a la familia Fabaceae, se distribuye ampliamente por América, Europa y el norte de África, especialmente en la región mediterránea. Hasta la fecha, se han descrito más de 280 especies, de las cuales 14 se han registrado en Europa y el norte de África; sin embargo, la gran mayoría se encuentra en América. El uso del lupino se remonta a milenios y está profundamente arraigado en las tradiciones agrícolas y medicinales de las civilizaciones antiguas. A lo largo de la historia, varias especies, en particular *Lupinus albus*, *L. luteus*, *L. angustifolius* y *L. mutabilis*, fueron seleccionadas por su alto contenido proteico y calidad nutricional, sirviendo tanto como alimento para humanos como para animales entre egipcios, romanos, griegos e incas. El médico griego Dioscórides documentó las propiedades del lupino y reconoció sus aplicaciones terapéuticas, incluyendo su uso como antihelmíntico y en el tratamiento de afecciones cutáneas. Más allá de su importancia nutricional, el lupino desempeña un papel crucial en la recuperación del suelo y la restauración ecológica. Su asociación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno del suelo, especialmente miembros del género *Bradyrhizobium*, permite a las especies de *Lupinus* mejorar suelos agotados, fortalecer su estructura y reducir la dependencia agrícola de fertilizantes sintéticos. Estas funciones se alinean estrechamente con los principios fundamentales de la agricultura sostenible y regenerativa, particularmente en tierras marginales o degradadas. Desde una perspectiva de futuro, *Lupinus* exhibe un potencial considerable que va mucho más allá de la nutrición y la agronomía. En particular, ha atraído un creciente interés científico debido a su rico repertorio de metabolitos secundarios, especialmente alcaloides de quinolizidina. Históricamente, estos compuestos se consideraban factores antinutricionales, lo que impulsó intensos esfuerzos de mejoramiento genético para desarrollar variedades modernas de lupino "dulce" con un contenido reducido de alcaloides. Sin embargo, más recientemente, esta visión ha cambiado, y los alcaloides de quinolizidina son cada vez más reconocidos por su potencial en aplicaciones farmacológicas especializadas. En la naturaleza, estos alcaloides funcionan como compuestos de defensa química eficaces, exhibiendo propiedades antimicrobianas, antifúngicas e insecticidas que actualmente se están explorando para el desarrollo de biopesticidas ecológicos. En el campo médico, los extractos de lupino se han aplicado tradicionalmente por vía tópica para tratar afecciones dermatológicas e infecciones parasitarias. Estudios preliminares sugieren que ciertos alcaloides de quinolizidina presentan notables actividades antiinflamatorias, analgésicas y potencialmente reguladoras del metabolismo. Además, se están evaluando derivados específicos de alcaloides por sus efectos neurofarmacológicos y cardiovasculares. Si bien el margen terapéutico de estos compuestos debe gestionarse cuidadosamente debido a su toxicidad inherente en altas concentraciones, la exploración responsable y científicamente rigurosa de la fitoquímica del lupino ofrece grandes posibilidades para el descubrimiento de nuevos agentes terapéuticos. Una limitación importante es la obtención de materias primas, ya que las especies ricas en alcaloides de quinolizidina son silvestres y no se cultivan. En consecuencia, es necesario establecer sistemas de propagación eficientes para especies de interés agroindustrial con el fin de generar la biomasa necesaria para obtener estos metabolitos especializados. Aunque el cultivo in vitro ofrece un medio para propagar especies con potencial agroindustrial, los estudios han

demostrado que el rendimiento de alcaloides quinolizidínicos en dichos cultivos puede ser hasta 100 veces menor que en plantas enteras. Por esta razón, deben considerarse estrategias de inducción para mejorar la producción de metabolitos. Otro enfoque prometedor es la domesticación y el desarrollo agronómico de especies silvestres de interés agroindustrial, lo que permitiría aprovechar sus efectos beneficiosos sobre la calidad del suelo y contribuir al aumento de la agrobiodiversidad.

Palabras clave: potencial, alcaloides quinolizidínicos, *Aedes aegypti*, fijación biológica de nitrógeno, sistemas de cultivo, domesticación

Characterization of the physicochemical properties of protein isolates obtained from lupin bean (*Lupinus mutabilis*) cultivars and their application as micronutrient delivery systems / Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de aislados proteicos obtenidos de cultivares de chocho o lupino andino (*Lupinus mutabilis*) y su aplicación como sistemas de liberación de micronutrientes

Juan E. Andrade Laborde

University of Florida, Department of Food Science and Human Nutrition, Gainesville, FL, USA

Corresponding author email: jandrade2@ufl.edu

Abstract

Meeting the protein needs of a growing population sustainably is one of the key challenges of our time. Plant-based proteins are increasingly sought as substitutes for more expensive animal-based proteins due to environmental, health, economic, and ethical considerations. Legumes, cultivated globally for human and animal consumption, are valued for their nutrient density. *Lupinus mutabilis* (lupin bean), a high-value legume from the Andean region, offers a nutritional profile comparable to soybeans and serves as a sustainable, non-GMO protein source. Additionally, lupin beans provide a vital income stream for rural and indigenous communities, with significant potential for market expansion. This study focused on isolating and characterizing lupin protein isolate (LPI) from lupin flour (*INIAP 450 Andino*) through alkaline water extraction and isoelectric precipitation. The resulting LPI contained over 95% protein. SDS-PAGE analysis revealed dominant protein bands between 20 and 76 kDa, primarily α - and β -conglutin, with lower concentrations of γ -conglutin. LPI solubility was lowest at its isoelectric point (pH 5) and highest under alkaline conditions (pH 10-12). Emulsifying capacity ranged from 23-25% across LPI concentrations (25 and 50 mg mL⁻¹) and pH levels (3-9). Foam showed stability (55%) even after an hour at room temperature, especially under low pH conditions. To demonstrate LPI's application as a micronutrient delivery system, LPI nanoparticles with vitamin D₃ (LPI-VD₃) were developed. These nanoparticles had a size range of 76-118 nm and a ζ -potential below -30, indicating good stability in solution. This research highlights the potential of lupin beans as a versatile ingredient for human consumption, broadening the understanding of protein functionality in underutilized food sources. Furthermore, it offers sustainable and economic opportunities for low-income farmers in the Andes. Future studies will evaluate the stability and bioavailability of LPI-VD₃ nanoparticles.

Keywords: lupin bean, plant-based proteins, chocho, INIAP 450 Andino

Resumen

Satisfacer de manera sostenible las necesidades proteicas de una población en crecimiento es uno de los principales desafíos de nuestra época. Las proteínas de origen vegetal son cada vez más demandadas como sustitutos de las proteínas animales, generalmente más costosas, debido a consideraciones ambientales, de salud, económicas y éticas. Las leguminosas, cultivadas a nivel mundial para el consumo humano y animal, son valoradas por su alta densidad nutricional. *Lupinus mutabilis* (chocho o lupino andino), una leguminosa de alto valor

originaria de la región andina, presenta un perfil nutricional comparable al de la soya y constituye una fuente proteica sostenible y no transgénica. Además, el chocho representa una importante fuente de ingresos para comunidades rurales e indígenas, con un alto potencial de expansión en el mercado. Este estudio se centró en el aislamiento y la caracterización del aislado proteico de lupino (APL) a partir de harina de chocho (INIAP 450 Andino) mediante extracción acuosa alcalina y precipitación isoeléctrica. El APL obtenido presentó un contenido proteico superior al 95 %. El análisis por SDS-PAGE reveló bandas proteicas predominantes entre 20 y 76 kDa, correspondientes principalmente a α - y β -conglutinas, con menores concentraciones de γ -conglutina. La solubilidad del APL fue mínima en su punto isoeléctrico (pH 5) y máxima en condiciones alcalinas (pH 10–12). La capacidad emulsificante se mantuvo entre 23 y 25 % en las concentraciones evaluadas de APL (25 y 50 mg mL⁻¹) y en un rango de pH de 3 a 9. La capacidad espumante mostró una estabilidad del 55 % incluso después de una hora a temperatura ambiente, especialmente bajo condiciones de pH bajo. Para demostrar la aplicación del APL como sistema de liberación de micronutrientes, se desarrollaron nanopartículas de APL con vitamina D₃ (APL-VD₃). Estas nanopartículas presentaron un tamaño entre 76 y 118 nm y un potencial ζ inferior a -30 mV, lo que indica una buena estabilidad en solución. Esta investigación resalta el potencial del chocho como un ingrediente versátil para la alimentación humana, ampliando el conocimiento sobre la funcionalidad proteica de fuentes alimentarias subutilizadas. Asimismo, ofrece oportunidades sostenibles y económicas para agricultores de bajos ingresos en la región andina. Estudios futuros evaluarán la estabilidad y biodisponibilidad de las nanopartículas APL-VD₃.

Palabras clave: grano de lupino, proteínas de origen vegetal, chocho, INIAP 450 Andino

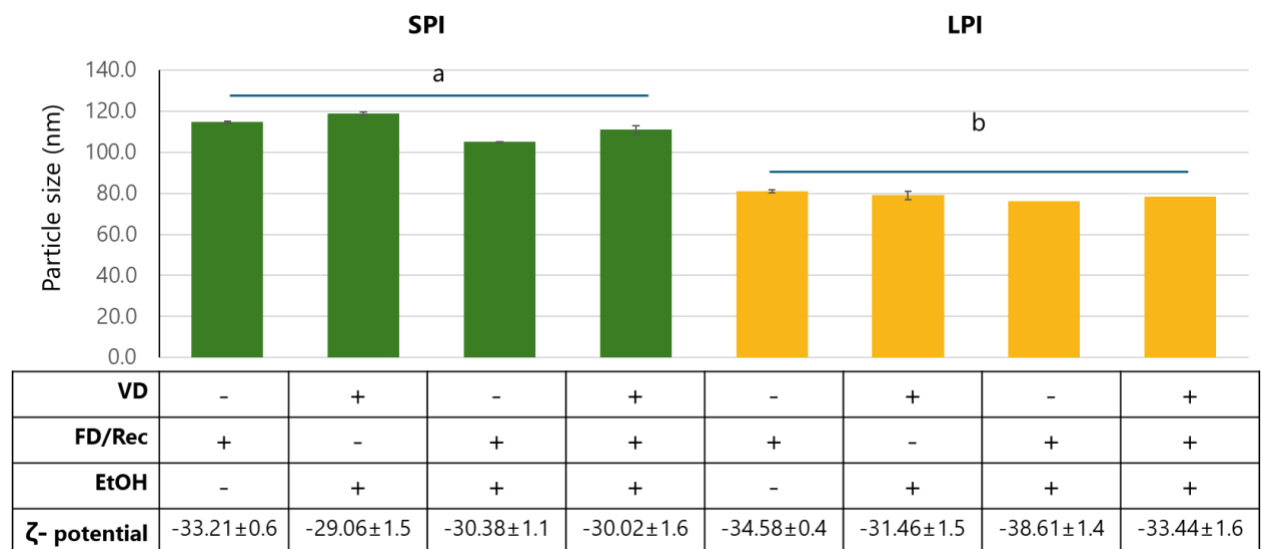


Figure. Comparison in particle size and ζ -potential between LPI and SPI nanoparticles with vitamin D₃ FD = Freeze dried Rec= Reconstituted

Particle size distribution by intensity

Root phenotyping using a Dual-Chamber Rhizotron reveals that proteoid roots are not universal in *Lupinus* / La fenotipificación de raíces mediante un rizotróon de doble cámara revela que las raíces proteoides no son universales en *Lupinus*

Juan Espinosa González^{1*}, V. Espinosa Hernández¹, K. Bermúdez Torres², J. A. González³

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México

²Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México

³Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar (DGETAyCM), Secretaría de Educación Pública, México

*Corresponding author email: vespinos@colpos.mx

Abstract

Proteoid (cluster) roots are widely described as a defining functional trait of the genus *Lupinus*, enhancing phosphorus acquisition under nutrient-limited soil conditions. However, most evidence supporting this assumption derives from a limited number of species, and direct observation of complete root systems across the genus remains scarce due to methodological constraints associated with studying roots in soil. The objective of this study was to evaluate root phenotypic traits in three *Lupinus* species using a Dual-Chamber Rhizotron system, which allows continuous and non-destructive observation of root system architecture. Three species were evaluated: *Lupinus exaltatus* and *Lupinus bilineatus*, native to Mexico, and *Lupinus albus*, a widely studied species commonly associated with proteoid root formation. Plants were grown under controlled conditions in a moderately alkaline soil in order to standardize edaphic influences on root development. The experiment included three biological replicates per species, resulting in a total of nine rhizotron observation chambers. Rhizotron observations revealed clear interspecific differences in root architecture. While *Lupinus albus* developed well-defined proteoid root clusters, the two Mexican species (*L. exaltatus* and *L. bilineatus*) did not exhibit proteoid root formation across any of the observation chambers. These findings suggest that proteoid roots may not represent a universal trait within the genus and may instead reflect evolutionary divergence associated with species-specific adaptation to contrasting edaphoclimatic environments. Our results highlight the importance of direct root phenotyping approaches for revisiting functional traits traditionally generalized at the genus level. Considering that Mexico represents an important center of diversity for *Lupinus*, further research focusing on root architecture in native species may reveal previously unrecognized adaptive strategies. In addition, the complete root systems were preserved through resin encapsulation as part of the Raizoteca collection, creating a physical archive of root architecture that facilitates long-term visualization and comparative analysis of root phenotypes.

Keywords: *Lupinus*, root phenotyping, rhizotron, proteoid roots, root architecture

Resumen

Las raíces proteoides (en racimo) se describen ampliamente como un rasgo funcional definitorio del género *Lupinus*, que mejora la adquisición de fósforo en suelos con escasez de nutrientes. Sin embargo, la mayor parte de la evidencia que respalda esta suposición proviene de un número limitado de especies, y la observación directa de sistemas radiculares completos en todo el género sigue siendo escasa debido a las limitaciones metodológicas asociadas con el estudio de las raíces en el suelo. El objetivo de este estudio fue evaluar los rasgos fenotípicos de las raíces en tres especies de *Lupinus* utilizando un sistema de rizotróon de doble cámara, que

permite la observación continua y no destructiva de la arquitectura del sistema radicular. Se evaluaron tres especies: *Lupinus exaltatus* y *Lupinus bilineatus*, nativas de México, y *Lupinus albus*, una especie ampliamente estudiada, comúnmente asociada por la formación de raíces proteoides. Las plantas se cultivaron en condiciones controladas en un suelo moderadamente alcalino para estandarizar las influencias edáficas en el desarrollo de las raíces. El experimento incluyó tres réplicas biológicas por especie, lo que resultó en un total de nueve cámaras de observación del rizotrófon. Las observaciones del rizotrófon revelaron claras diferencias interespecíficas en la arquitectura de las raíces. Si bien *Lupinus albus* desarrolló agrupaciones de raíces proteoides bien definidas, las dos especies mexicanas (*L. exaltatus* y *L. bilineatus*) no mostraron formación de raíces proteoides en ninguna de las cámaras de observación. Estos hallazgos sugieren que las raíces proteoides podrían no representar un rasgo universal dentro del género y, en cambio, podrían reflejar una divergencia evolutiva asociada con la adaptación específica de cada especie a ambientes edafoclimáticos contrastantes. Nuestros resultados resaltan la importancia de los enfoques de fenotipado directo de raíces para reevaluar rasgos funcionales tradicionalmente generalizados a nivel de género. Considerando que México representa un importante centro de diversidad para *Lupinus*, futuras investigaciones centradas en la arquitectura de las raíces en especies nativas podrían revelar estrategias adaptativas previamente desconocidas. Además, los sistemas radiculares completos se conservaron mediante encapsulación en resina como parte de la colección Raizoteca, creando un archivo físico de la arquitectura radicular que facilita la visualización a largo plazo y el análisis comparativo de los fenotipos de las raíces.

Palabras clave: *Lupinus*, fenotipado de raíces, rizotrófon, raíces proteoides, arquitectura radicular

From seed to harvest: managing anthracnose in Andean Lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) / De la semilla a la cosecha: manejo de la antracnosis en el lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet)

César E. Falconí Saá

Laboratorio de Fitopatología y Control Biológico – Carrera Agropecuaria IASA I, Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura, Grupo de Investigación Diversidad y Restauración Agroecológica (DYRA), Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito, Ecuador
*Corresponding author email: cefalconi@espe.edu.ec

Abstract

The Andean lupin or chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) is an ancient legume with high protein value and great importance for food security in the Andean region. However, its production is severely limited by anthracnose, caused by *Colletotrichum lupini*, the most destructive disease of the crop. The pathogen is mainly disseminated through infected seed, volunteer plants and alternative hosts, and is favored by high humidity and frequent rainfall, leading to rapid epidemics and severe yield losses. In the absence of resistant varieties, management must focus on two main pillars: (i) reduction of the initial inoculum and (ii) continuous crop protection from sowing to harvest. Seed disinfection is the first line of defense. Physical methods such as dry heat (65 °C for 8 h), UV-C radiation (57.6 kJ/m²) and the combination of UV-B + heat in a solar oven (≈76 °C, 45 min) reduce infection by 75–95% without significantly affecting germination and, in some cases, promoting seedling emergence and antioxidant activity. In the field, biological control with native strains of *Bacillus subtilis* has been shown to significantly reduce disease progress (AUDPC), improve plant vigor and induce systemic resistance. Sequential applications every two weeks, especially at critical phenological stages (cotyledonal stage, beginning of flowering, full bloom and pod formation), maintain stable populations of the antagonist on the phyllosphere and suppress pathogen sporulation and dispersal. Integrated management is further strengthened by the rational rotation of fungicides with different FRAC codes, combined with *B. subtilis*, to reduce selection pressure and environmental risks. Other key practices include the removal of volunteer plants and wild lupins, control of alternative hosts, and synchronization of applications with periods of greatest ontogenic susceptibility of the crop. The integration of physical, biological and chemical strategies, applied from seed to harvest, represents a sustainable and effective pathway to reduce anthracnose and improve the productivity of Andean lupin.

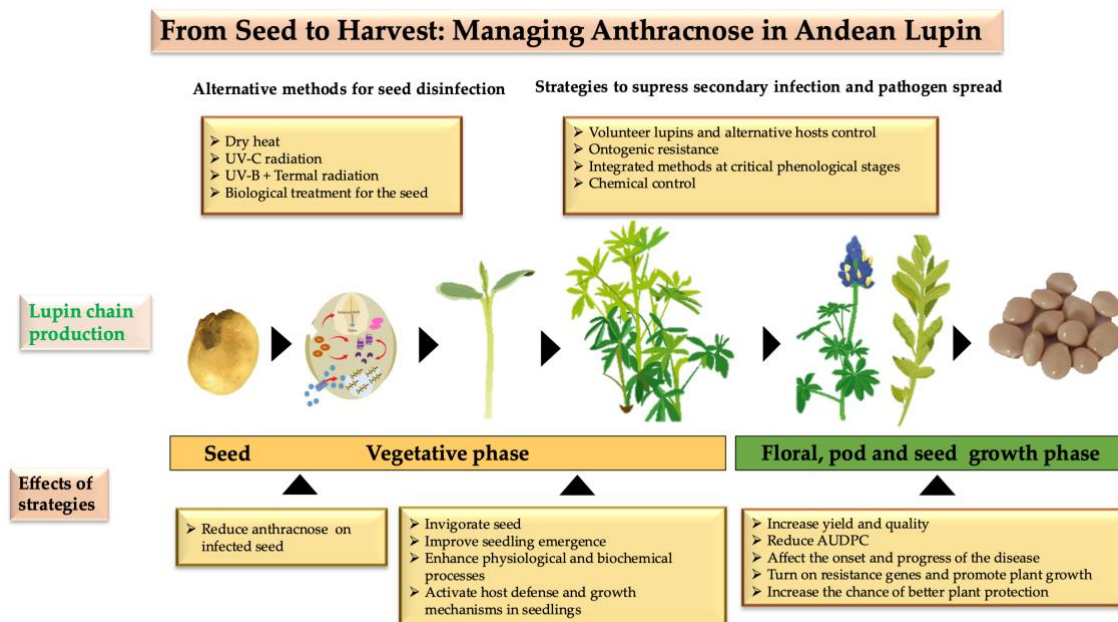
Keywords: *Colletotrichum*, chocho, tarwi, plant disease

Resumen

El chocho o lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet) es una leguminosa ancestral de alto valor proteico y gran importancia para la seguridad alimentaria en la región andina. Sin embargo, su producción está severamente limitada por la antracnosis, causada por *Colletotrichum lupini*, la enfermedad más destructiva del cultivo. El patógeno se disemina principalmente a través de semilla infectada, plantas voluntarias y hospederos alternantes, y se ve favorecido por alta humedad y lluvias frecuentes, lo que conduce a epidemias rápidas y a pérdidas severas de rendimiento. Ante la ausencia de variedades resistentes, el manejo debe enfocarse en dos pilares: (i) la reducción del inóculo inicial y (ii) la protección continua del cultivo desde la siembra hasta la cosecha. La desinfección de semilla es la primera línea de defensa. Métodos

físicos como el calor seco (65 °C por 8 h), la radiación UV-C (57,6 kJ/m²) y la combinación UV-B + calor en horno solar (≈76 °C, 45 min) reducen entre 75 y 95% la infección, sin afectar significativamente la germinación y, en algunos casos, promoviendo la emergencia y la actividad antioxidante de las plántulas. En campo, el control biológico con cepas nativas de *Bacillus subtilis* ha demostrado reducir significativamente el progreso de la enfermedad (AUDPC), mejorar el vigor vegetal e inducir resistencia sistémica. Aplicaciones secuenciales cada dos semanas, especialmente en etapas fenológicas críticas (cotiledonal, inicio de floración, plena floración y formación de vainas), mantienen poblaciones estables del antagonista en la filósfera y suprimen la esporulación y dispersión del patógeno. El manejo integrado se fortalece mediante la rotación racional de fungicidas con distintos códigos FRAC, combinados con *B. subtilis*, para disminuir presión de selección y riesgos ambientales. Otras prácticas clave incluyen la eliminación de plantas voluntarias y lupinos silvestres, el control de hospederos alternantes y la sincronización de aplicaciones con los periodos de mayor susceptibilidad ontogénica del cultivo. La integración de estrategias físicas, biológicas y químicas, aplicada desde la semilla hasta la cosecha, constituye una vía sostenible y eficaz para reducir la antracnosis y mejorar la productividad del lupino andino.

Palabras clave: *Colletotrichum*, chocho, tarwi, enfermedades de plantas



Seed treatment with bacterial biostimulants induces resistance against fungal pathogens in *Lupinus angustifolius* and *Lupinus mutabilis* / El tratamiento de semillas con bioestimulantes bacterianos induce resistencia contra hongos patógenos en *Lupinus angustifolius* y *Lupinus mutabilis*

Marco Loehrer*, Jonas Buecken and Ulrich Schaffrath

RWTH Aachen University, Department of Plant Physiology, Aachen, Germany

*Corresponding author email: loehrer@bio3.rwth-aachen.de

Abstract

In the genus *Lupin* several species are used as crop plants and are a valuable alternative protein source for both human food and animal feed. White- and narrow-leafed lupins are cultivated in Germany alongside traditional protein crops such as broad bean and pea and represent an attractive alternative to (GMO-) soybean from national- and international markets. Currently, there is increasing interest in exploring the use of traditional South American lupin crop species, i.e. *Lupinus mutabilis* (“Chocho”, “Tarwi”) in Europe. In the project “P³roLucas” (Optimization of plant performance and products for lupin cascade use, https://www.biosc.de/p3roLucas_en) we aimed at promoting and improving lupin cultivation in Germany by smart use of so called “biostimulants” as (partial) alternatives to traditional plant protection products which are increasingly being phased-out under European and national regulatory policies. Furthermore, we sequenced and annotated a genome of a bitter variety of *L. mutabilis* as a resource for future breeding programs and molecular approaches. Here, we present our results on the effects of commercially available biostimulants in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) on plant growth and protection against biotic- and abiotic stresses. We present and discuss our approach of biostimulant application via seed treatments including the so-called seed-priming strategy, which is close to agricultural practice. Products based on *Bacillus* spp. were identified as the most promising and showed a resistance inducing effect by reducing lupin anthracnose under controlled conditions. Interestingly, this effect was even more pronounced under combined biotic- and abiotic stresses and thus our approach could be very valuable in the context of climate change. Field experiments proved that our seed treatment strategy is safe for use in agricultural practice and did not increase alkaloid levels in the harvested seeds. Currently, we are extending and adapting our seed treatment method to *L. mutabilis*, and we present data on resistance induction against fungal pathogens under controlled conditions.

Keywords: biotic stress, microbial biostimulants, induced resistance, seed coating, *Lupinus mutabilis* genome

Resumen

En el género *Lupin*, varias especies se utilizan como cultivos y constituyen una valiosa fuente alternativa de proteínas tanto para la alimentación humana como animal. Los altramuces o lupinos de hoja blanca y estrecha se cultivan en Alemania junto con cultivos proteicos tradicionales como el haba y el guisante, y representan una alternativa atractiva a la soja (transgénica) en los mercados nacionales e internacionales. Actualmente, existe un creciente interés en explorar el uso de especies tradicionales de altramuz sudamericano, como *Lupinus mutabilis* (chocho, tarwi), en Europa. En el proyecto «P³roLucas» (Optimización del rendimiento de las plantas y productos para el uso en cascada del altramuz, https://www.biosc.de/p3roLucas_en), nuestro objetivo fue promover y mejorar el cultivo de altramuz en Alemania mediante el uso inteligente de los llamados «bioestimulantes» como alternativas (parciales) a los productos fitosanitarios tradicionales, que se están eliminando progresivamente debido a las políticas regulatorias europeas y nacionales. Además,

secuenciamos y anotamos el genoma de una variedad amarga de *L. mutabilis* como recurso para futuros programas de mejora genética y enfoques moleculares. Aquí presentamos nuestros resultados sobre los efectos de bioestimulantes disponibles comercialmente en el altramuz de hoja estrecha (*Lupinus angustifolius*) sobre el crecimiento de la planta y su protección contra el estrés biótico y abiótico. Presentamos y analizamos nuestro enfoque de aplicación de bioestimulantes mediante tratamientos de semillas, incluyendo la estrategia de pretratamiento de semillas, similar a la práctica agrícola. Los productos basados en *Bacillus* spp. se identificaron como los más prometedores y mostraron un efecto inductor de resistencia al reducir la antracnosis del altramuz en condiciones controladas. Curiosamente, este efecto fue aún más pronunciado bajo estrés biótico y abiótico combinado, por lo que nuestro enfoque podría ser muy valioso en el contexto del cambio climático. Los experimentos de campo demostraron que nuestra estrategia de tratamiento de semillas es segura para su uso en la práctica agrícola y no aumentó los niveles de alcaloides en las semillas cosechadas. Actualmente, estamos extendiendo y adaptando nuestro método de tratamiento de semillas a *L. mutabilis* y presentamos datos sobre la inducción de resistencia contra patógenos fúngicos en condiciones controladas.

Palabras clave: estrés biótico, bioestimulantes microbianos, resistencia inducida, recubrimiento de semillas, genoma de *Lupinus mutabilis*

Genomic insights into the lupin anthracnose pathogen *Colletotrichum lupini* / Información genómica sobre el patógeno de la antracnosis del lupino *Colletotrichum lupini*

Joris A. Alkemade^{1,2,3,4*}, Pierre Hohmann^{3,5}, Monika M. Messmer³, Timothy G. Barraclough^{1,2}

¹ University of Oxford, UK.

² Calvea Research Centre, UK

³ Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Switzerland

⁴ University of Neuchâtel, Switzerland

⁵ Universitat de Barcelona, Spain

*Corresponding author email: joris.alkemade@unine.ch, joris.alkemade@magd.ox.ac.uk

Abstract

White lupins (*Lupinus albus*) are a great source of high-quality plant-based protein and could be a potential alternative to imported soybean. However, anthracnose disease, caused by the fungal lupin pathogen *Colletotrichum lupini*, hampers successful cultivation. To better understand the disease, a comprehensive global isolate collection was established. Through extensive multi-year field- and indoor trials, resistant white lupin varieties were identified, and a diverse virulence spectrum was observed within *C. lupini*. To assess pathogen population dynamics, study evolution and identify pathogenicity factors, whole genome and Oxford Nanopore sequencing was performed. This revealed the presence of five distinct clonal lineages, a diverse transposon landscape and the existence of a highly variable accessory genome. The highest diversity was found in South America, home to all described lineages and is considered to be the centre of origin. The accessory genome is characterized by lineage specific mini-chromosomes and the presence of large mobile genetic elements called *Starships*. These *Starships* are not conformed to clonal lineages and could explain the observed intra-lineage diversity within *C. lupini*. Comparing the effector repertoire between different lineages, revealed lineage and species-specific genes, potentially explaining the diverse virulence observed within this pathogen. Overall, this study underscores the importance of understanding pathogen diversity and highlights the remarkable adaptive potential of clonal pathogens. These insights provide a critical foundation for the development of durable disease management strategies and the breeding of resistant lupin cultivars.

Keywords: anthracnose, *Colletotrichum*, population genetics, genomics, genetic diversity

Resumen

El lupino blanco o altramuz blanco (*Lupinus albus*) es una excelente fuente de proteína vegetal de alta calidad y podría ser una alternativa potencial a la soja importada. Sin embargo, la antracnosis, causada por el hongo patógeno del altramuz *Colletotrichum lupini*, dificulta su cultivo. Para comprender mejor la enfermedad, se estableció una colección global exhaustiva de aislados. Mediante extensos ensayos de campo y en invernadero, realizados durante varios años, se identificaron variedades de altramuz blanco resistentes y se observó un espectro de virulencia diverso dentro de *C. lupini*. Para evaluar la dinámica poblacional del patógeno, estudiar su evolución e identificar factores de patogenicidad, se realizó la secuenciación del genoma completo y la secuenciación con Oxford Nanopore. Esto reveló la presencia de cinco linajes clonales distintos, un panorama diverso de transposones y la existencia de un genoma accesorio altamente variable. La mayor diversidad se encontró en Sudamérica, hogar de todos los linajes descritos y considerada su centro de origen. El genoma accesorio se caracteriza por

mini cromosomas específicos de cada linaje y la presencia de grandes elementos genéticos móviles denominados Starships. Estas naves estelares no se ajustan a linajes clonales y podrían explicar la diversidad intralínaje observada en *C. lupini*. La comparación del repertorio de efectores entre diferentes linajes reveló genes específicos de linaje y especie, lo que podría explicar la diversa virulencia observada en este patógeno. En general, este estudio subraya la importancia de comprender la diversidad de patógenos y destaca el notable potencial adaptativo de los patógenos clonales. Estos hallazgos proporcionan una base fundamental para el desarrollo de estrategias duraderas de manejo de enfermedades y el mejoramiento genético de cultivares de lupinos con resistencia a la enfermedad.

Palabras clave: antracnosis, *Colletotrichum*, genética de poblaciones, genómica, diversidad genética

Wild relatives of *Lupinus mutabilis*: a multipurpose genetic resource in the context of climate change in the highlands / Los parientes silvestres de *Lupinus mutabilis*: recurso genético multipropósito en contexto de cambio climático del altiplano

Alejandro Bonifacio^{1*}, Genaro Aroni², Milton Villca² y Miriam Alcon¹

¹Fundación PROINPA, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

²Fundación PROINPA, Uyuni, Bolivia

*Corresponding author email: a.bonifacio@proinpa.org

Abstract

The Andes is the geographical area where several crop species originated, known as Andean grains, roots, and tubers. Among the Andean grains, tarwi or chocho (*Lupinus mutabilis*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) are the most important crops in the high plateau and inter-Andean valleys. In recent decades, quinoa and tarwi have been recognized for their high nutritional quality, generating interest among producers, food processors, and consumers. The highlands and inter-Andean valleys where these crops are grown are being negatively affected by the adverse effects of climate change and poorly planned human activity in soil and native vegetation management, leading to low productivity of tarwi, quinoa, and other crops. The production cycle of *L. mutabilis* can reach 200 days or more, and during this very long period, adverse factors such as drought, frost, hail, and wind occur, all with detrimental effects on the crop. On the other hand, the trend toward quinoa monoculture and the removal of native vegetation is leading to low yields. To make multiple use of the plant resources available in the highlands, wild relatives of tarwi have been selected as a strategic genetic resource, adopting an approach of evolutionary improvement and multipurpose use in quinoa production systems. In the Bolivian highlands (North, Central, and South), seeds of wild relatives of interest have been collected for the strategic objective of selecting promising lines and restoring soil fertility. The reproductive biology, seed physiology, and artificial selection from natural segregants, with an emphasis on earliness, have been investigated in the samples obtained. Technology for incorporating wild tarwi into quinoa production systems (rotation, intercropping, and improved fallow) has also been developed. As a result of this work, species and ecotypes with annual, biennial, and perennial cycles have been discovered, some with broad adaptation and others suited to specific environments. Through selection of natural segregants in wild relatives of tarwi, a wide diversity in grain color and size has been generated, and quasi-lines similar to cultivated tarwi have been selected with the advantage of an early production cycle of 150 to 160 days. Ecotypes of wild lupin suitable for cultivation (limited branching, biennial cycle) were also identified. Furthermore, simple methods were developed to overcome seed dormancy (pre-drying moisture content, mechanical and chemical scarification), along with planting technology for wild tarwi in quinoa production systems, although seed availability limits scaling up. In conclusion, wild relatives of tarwi constitute a valuable resource for evolutionary improvement. After species or ecotype identification and seed treatment, these wild relatives can be used for multiple purposes in quinoa production systems geared towards sustainable production in the context of climate change. In the upcoming production cycles, the contribution of incorporating tarwi to improve and restore soil fertility will be evaluated, and the targeted seed multiplication of wild relatives will be adjusted.

Keywords: wild lupin, reproductive biology, selection, multipurpose use

Resumen

Los Andes es la zona geográfica donde se han originado varias especies de cultivos conocidos como los granos, raíces y tubérculos andinos. Entre los granos de origen andino, el tarwi o chocho (*Lupinus mutabilis*) y la quinua (*Chenopodium quinoa*) son los cultivos de mayor importancia en el altiplano y valles interandinos. En las últimas décadas, la quinua y el tarwi han sido reconocidos por la alta calidad nutritiva del grano, lo que ha generado el interés de productores, procesadores de alimentos y consumidores. El altiplano y los valles interandinos donde se producen estos cultivos están siendo afectados negativamente por los efectos adversos del cambio climático y la acción antrópica poco planificada en el manejo del suelo y la vegetación nativa, lo cual ha llevado a situaciones de baja productividad de tarwi, quinua y otros cultivos. El ciclo productivo de *L. mutabilis* puede llegar a 200 días o más y en ese periodo muy largo se presentan factores adversos como sequía, heladas, granizo y viento con efectos perjudiciales al cultivo; por otra parte, la tendencia al monocultivo de quinua y la remoción de la vegetación nativa, está conduciendo hacia rendimientos bajos. Con la finalidad de aprovechar en forma múltiple los recursos vegetales disponibles en el altiplano, se ha tomado como recurso genético estratégico a los parientes silvestres del tarwi adoptando el enfoque de mejoramiento evolutivo y aprovechamiento multipropósito en sistemas de producción de quinua. En el altiplano de Bolivia (Norte, Central y Sur), se ha recolectado semilla de parientes silvestres de interés para el objetivo estratégico planteado de seleccionar líneas promisorias y recuperar la fertilidad del suelo. En las muestras obtenidas se ha investigado la biología reproductiva, la fisiología de la semilla, la selección artificial a partir de segregantes naturales con énfasis en la precocidad y el desarrollo de tecnología de incorporación al suelo del tarwi silvestre en sistemas de producción de quinua (rotación, cultivo intercalar, descanso mejorado del suelo). Como resultado del trabajo se ha descubierto especies y ecotipos de ciclo anual, bianual y perenne con amplia adaptación y otros a ambientes particulares. Mediante la selección en segregantes naturales en parientes silvestres del tarwi se ha generado una amplia diversidad en color y tamaño de grano y se ha seleccionado cuasi líneas similares al tarwi cultivado con la ventaja del ciclo productivo precoz de 150 a 160 días, también se identificó ecotipos de lupino silvestre apropiados para el manejo bajo cultivo (escasa ramificación, ciclo bianual). Por otra parte, se desarrolló métodos sencillos para superar la dormancia de semilla (contenido de humedad previo al secado, escarificación mecánica y química) y tecnología de siembra del tarwi silvestre en sistemas de producción de quinua, aunque la disponibilidad de semilla limita el escalamiento. En conclusión, los parientes silvestres del tarwi constituyen un recurso valioso para el mejoramiento evolutivo, los parientes silvestres previa identificación de especies o ecotipos y tratamiento de semilla, se pueden emplear con propósito múltiple en sistema de producción de quinua orientada a la sostenibilidad productiva en contexto de cambio climático. En los próximos ciclos productivos se evaluará el aporte de la incorporación del tarwi para mejorar y recuperar la fertilidad del suelo como también se ajustará la multiplicación dirigida de semilla de los parientes silvestres.

Palabras clave: lupino silvestre, biología reproductiva, selección, uso multipropósito

The contribution of research to the development of chocho or lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) in Ecuador / El aporte de la investigación al desarrollo del chocho o lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet) en Ecuador

Eduardo Peralta I.

Investigador independiente, exINIAP, Quito, Ecuador
Corresponding author email: peraltaedu55@gmail.com

Abstract

In Ecuador, neglected or underutilized Andean crops began to be considered of interest in the 1980s. This group includes Andean grains such as quinoa (*Ch. quinoa* Willd.), chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), and amaranth (*A. quitensis* H.B.K. and *A. caudatus* L.). The National Institute of Agricultural Research (INIAP), at the Santa Catalina Experimental Station, established the units and later the Andean Crops Program and the Department of Genetic Resources (1982-1987), relying on young researchers, financial resources, minimal infrastructure, and support from CIID-Canada and FAO. After receiving training in Bolivia and Peru (IBTA and La Molina University), work began with the collection of seeds throughout the Ecuadorian highlands to establish the National Germplasm Bank of Ecuador. This initial collection consisted of 37 accessions in this region. In 1988, the Legume Program transferred 153 accessions from Ecuador, Peru, and Bolivia to the Andean Crops Program, totaling 257 national and introduced accessions. In 2018, the National Department of Plant Genetic Resources of INIAP reported the conservation of approximately twenty lupin species, with *L. mutabilis* standing out with 398 accessions. Parallel to this work, the National Program for Legumes and Andean Grains (1999) recognized that applied agricultural research and participatory research are key to crop development and, consequently, to production chains—chocho (lupin) being an example in Ecuador—and the Department of Nutrition and Quality joined in, making significant contributions to the agro-industry and consumption of the grain. Plant genetic improvement began with the characterization of the gene bank, and through selection, two improved, semi-early, white-grain varieties were released: INIAP 450 Andino (1999) and INIAP 451 Guaranguito (2009). Simultaneously, research was conducted on agronomic management, harvesting, post-harvest handling, seed production, agro-industry, and consumption methods, leading to the generation of technical, educational, and scientific publications. The Andean Grain Agricultural Manual was printed four times (2008, 2012, 2014, 2016) and distributed in both print and digital formats, along with other related publications. In 2006, the only workshop on the lupin agro-food chain in Ecuador was held, with the participation of 56 stakeholders from the public and private sectors to connect its members. INIAP, universities, and private enterprises made decisive contributions through research, technology transfer, and innovation to the development of lupin cultivation and consumption in Peru, always with the support of national and international institutions. This once-forgotten crop, a rural staple food, a street food for small farmers, has been elevated to a status symbol thanks to research, becoming a food consumed across all social strata and possessing enormous export potential due to its nutritional and nutraceutical qualities.

Keywords: Andean legume, protein-rich, ecological, economic, and social importance

Resumen

En Ecuador, los cultivos andinos olvidados o subutilizados fueron considerados de interés a partir de la década de los años 80. Dentro de este grupo se encuentran los granos andinos: quinua (*Ch. quinoa* Willd.), chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) y amaranto (*A. quitensis* H.B.K.

y *A. caudatus* L.). El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, en la Estación Experimental Santa Catalina, creó las unidades y luego el Programa de Cultivos Andinos y el Departamento de Recursos Genéticos (1982-1987), contando con investigadores jóvenes, recursos económicos, una mínima infraestructura y apoyo del CIID-Canadá y la FAO. Luego de recibir capacitación y entrenamiento en Bolivia y Perú (IBTA y U. La Molina), el trabajo se inició con la recolección de las semillas a lo largo de la sierra ecuatoriana para formar el Banco Nacional de Germoplasma del Ecuador. Se inició con una colecta de 37 accesiones en esta región. En 1988 el Programa de Leguminosas entregó al Programa de Cultivos Andinos 153 accesiones provenientes de Ecuador, Perú y Bolivia, que en total sumaban 257 entradas nacionales e introducidas. En 2018 el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos del INIAP, informa de la conservación de una veintena de especies de lupinos, donde sobresale *L. mutabilis* con 398 accesiones. Paralelo a este trabajo, en el Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos (1999) se consideró que la investigación agrícola aplicada y la investigación participativa son claves para el desarrollo del cultivo y por ende para las cadenas de producción —el chocho es un ejemplo en Ecuador—, a lo cual se sumó el Dpto. de Nutrición y Calidad, realizando contribuciones significativas para la agroindustria y consumo del grano. La mejora genética vegetal se inició con la caracterización del banco genético y por selección se entregaron dos variedades mejoradas de grano blanco, semi precoces: INIAP 450 Andino (1999) e INIAP 451 Guaranguito (2009). Paralelamente se realizó la investigación en el manejo agronómico, cosecha, postcosecha, producción de semilla, agroindustria y formas de consumo; que permitió la generación de publicaciones técnicas, divulgativas y científicas. El Manual Agrícola de Granos Andinos se imprimió en cuatro ocasiones (2008, 2012, 2014, 2016) y se distribuyó tanto impreso como digital junto a otras publicaciones relacionadas. En 2006, se realizó el único taller de la Cadena Agroalimentaria del Chocho en Ecuador, con la participación de 56 actores del sector público y privado para enlazar a sus miembros. El INIAP, las universidades y los emprendimientos privados, contribuyeron decididamente a través de la investigación, transferencia e innovación al desarrollo del cultivo y consumo del chocho en el país; contando siempre con el apoyo de instituciones nacionales e internacionales. Un cultivo olvidado, alimento rural, de la calle, de pequeños agricultores, que con el aporte de la investigación se puso en valor y pasó a ser un alimento con estatus, consumido en todos los estratos sociales y con un enorme potencial para la exportación, por sus cualidades nutricionales y nutraceuticas.

Palabras clave: leguminosa andina, rica en proteína, importancia ecológica, económica y social

Taxonomic revision of *Lupinus* in Argentina: reduction from 86 described species to 31 accepted taxa / Revisión taxonómica del género *Lupinus* en Argentina: reducción de 86 especies descritas a 31 taxones aceptados

Ana Planchuelo

Independent International Researcher for the Center for Surveying and Assessment of Agriculture and Natural Resources (CREAN-IMBIV-CONICET-UNC), Córdoba, Argentina

*Corresponding author email: aplanch@gmail.com

Abstract

Argentina, located in the southern cone of South America, is the only country harboring species of *Lupinus* from both subregions of the South American Region: Atlantic Subregion, which extends from the Brazilian Planalto to eastern Argentina, reaching 40°S; and Andean Subregion, which runs along the Andes from Venezuela to Tierra del Fuego and reaches the Patagonian plateau, in the extreme southeast. Owing to this distinctive biogeographic setting, Argentina represents a crucial area for understanding the complex diversification and taxonomy of *Lupinus* in South America. The first comprehensive taxonomic treatment of *Lupinus* in the country was conducted by Charles P. Smith in his work *Signatures in Species Lupinorum*, where he recognized 86 taxa. However, 49 of the species described by Smith are known only from type material, and several exhibit nomenclatural inconsistencies, including shared collection data among distinct taxa and unclear diagnostic boundaries. These issues have generated persistent taxonomic uncertainty within the genus at the national level. This study integrates bibliographic review, examination of vegetative and floral characters from type specimens and additional herbarium material, and field observations. Based on this revision, the number of accepted taxa in Argentina flora is reduced to 31. Numerous names are placed into synonymy, and several nomenclatural inconsistencies are resolved. Synonymy per taxon ranges from zero to nine names, reflecting a historical pattern of over-description within the genus. The accepted taxa are distributed across both biogeographic subregions. The Atlantic Subregion comprises 13 taxa, including both perennial and annual species. Perennials display diverse leaf morphologies: simple leaves (*L. guaraniticus*, *L. sellowianus*), both simple and compound leaves (*L. paraguariensis*), or exclusively compound leaves (*L. magnistipulatus*, *L. lanatus*, *L. albescens*, *L. aureonitens*, *L. multiflorus*). Annual representatives include *L. bracteolaris*, *L. linearis*, and *L. gibertianus*, the latter with three accepted varieties (var. *gibertianus*, var. *berroanus*, and var. *reineckianus*). The Andean Subregion, with 18 taxa, exhibits greater structural and architectural diversity. Growth forms range from prostrate perennials (*L. buchtienii*) and basal rosette taxa (five varieties of *L. andicola*) to bushy species (*L. austrorientalis* and its three varieties, *L. burkartianus*, *L. hieronymi*, *L. ultramontanus*, *L. polyphyllus*). Shrubs and subshrubs include *L. arboreus*, *L. erectifolius*, *L. ignobilis*, and *L. tomentosus*, while *L. microcarpus* represents the annual component of this subregion. This morphological diversity highlights distinct evolutionary and ecological trajectories between Atlantic and Andean lineages. The conservation status of each taxon was evaluated using standard IUCN categories (NE, DD, LC, NT, VU, EN, CR, EW, EX). Most taxa fall within the Near Threatened (NT) or Vulnerable (VU) categories, reflecting restricted distributions and habitat pressures. Two species are categorized as Endangered (EN), one as Data Deficient (DD), and several as Least Concern (LC). No taxa are currently considered Extinct (EX) or Extinct in the Wild (EW). Figure 1, illustrate representative taxa organized by distribution, leaf morphology, and plant architecture, highlighting morphological differentiation between subregions and supporting the revised taxonomic circumscription. This revision forms part of a broader effort to update the taxonomy of *Lupinus* within the South

American flora and provides a clarified framework for future systematic, biogeographic, and conservation studies.

Keywords: Andean subregion, Atlantic subregion, conservation status, floristic review, *Lupinus*, taxonomy

Resumen

Argentina, ubicada en el cono sur de Sudamérica, es el único país que alberga especies de *Lupinus* de ambas subregiones de la región sudamericana: la subregión atlántica, que se extiende desde el Planalto brasileño hasta el este de Argentina, alcanzando los 40°S; y la subregión andina, que recorre los Andes desde Venezuela hasta Tierra del Fuego y llega hasta la meseta patagónica, en el extremo sureste. Debido a esta singular configuración biogeográfica, Argentina representa un área crucial para comprender la compleja diversificación y taxonomía de *Lupinus* en Sudamérica. El primer tratamiento taxonómico integral de *Lupinus* en el país fue realizado por Charles P. Smith en su obra *Signatures in Species Lupinorum*, donde reconoció 86 taxones. Sin embargo, 49 de las especies descritas por Smith se conocen solo a partir del material tipo, y varias presentan inconsistencias nomenclaturales, incluyendo datos de recolección compartidos entre distintos taxones y límites diagnósticos poco claros. Estos problemas han generado una persistente incertidumbre taxonómica dentro del género a nivel nacional. Este estudio integra la revisión bibliográfica, el examen de caracteres vegetativos y florales de especímenes tipo y material de herbario adicional, y observaciones de campo. Con base en esta revisión, el número de taxones aceptados en la flora argentina se reduce a 31. Numerosos nombres se colocan en sinonimia y se resuelven varias inconsistencias nomenclaturales. La sinonimia por taxón varía de cero a nueve nombres, lo que refleja un patrón histórico de sobre descripción dentro del género. Los taxones aceptados se distribuyen en ambas subregiones biogeográficas. La subregión atlántica comprende 13 taxones, incluyendo especies perennes y anuales. Las perennes presentan diversas morfologías foliares: hojas simples (*L. guaraniticus*, *L. sellowianus*), hojas simples y compuestas (*L. paraguariensis*), o exclusivamente hojas compuestas (*L. magnistipulatus*, *L. lanatus*, *L. albescens*, *L. aureonitens*, *L. multiflorus*). Entre los representantes anuales se incluyen *L. bracteolaris*, *L. linearis* y *L. gibertianus*, este último con tres variedades aceptadas (var. *gibertianus*, var. *berroanus* y var. *reineckianus*). La subregión andina, con 18 taxones, exhibe una mayor diversidad estructural y arquitectónica. Las formas de crecimiento varían desde perennes postradas (*L. buchtienii*) y taxones de roseta basal (cinco variedades de *L. andicola*) hasta especies arbustivas (*L. austrorientalis* y sus tres variedades, *L. burkartianus*, *L. hieronymi*, *L. ultramontanus*, *L. polyphyllus*). Los arbustos y subarbustos incluyen *L. arboreus*, *L. erectifolius*, *L. ignobilis* y *L. tomentosus*, mientras que *L. microcarpus* representa el componente anual de esta subregión. Esta diversidad morfológica resalta trayectorias evolutivas y ecológicas distintas entre los linajes atlántico y andino. El estado de conservación de cada taxón se evaluó utilizando las categorías estándar de la UICN (NE, DD, LC, NT, VU, EN, CR, EW, EX). La mayoría de los taxones se clasifican como Casi Amenazado (NT) o Vulnerable (VU), lo que refleja distribuciones restringidas y presiones sobre su hábitat. Dos especies se clasifican como En Peligro (EN), una como con Datos Insuficientes (DD) y varias como de Preocupación Menor (LC). Actualmente, ningún taxón se considera Extinto (EX) o Extinto en Silvestre (EW). Esta revisión forma parte de un esfuerzo más amplio para actualizar la taxonomía de *Lupinus* dentro de la flora sudamericana y proporciona un marco claro para futuros estudios sistemáticos, biogeográficos y de conservación.

Palabras clave: subregión andina, subregión atlántica, estado de conservación, revisión florística, *Lupinus*, taxonomía

Lupins – a multipurpose legume in Australia for over 50 years / Lupino: una leguminosa multiuso en Australia desde hace más de 50 años

Jonathan Clements¹, Mark Sweetingham²

¹*Glycemic Lupin Company; Green Blueprint Pty Ltd, Australia*

²*Sweet Spot Ag Research, Western Australia*

*Corresponding author email: jonathan.clements@agric.wa.gov.au

Abstract

In Australia, lupins have been a multipurpose legume for over 50 years. The successful breeding, adoption and development of agronomic practices to achieve profitable yields in *Lupinus angustifolius* is explained in a large part by their adaptation to the Mediterranean-type, winter growing season climates and to the abundance of well-drained, light-textured, acidic soils. In this review, we address the rise in cultivation area and production to its annual peak in 1999/2000 (almost 2 million tonnes, when Australia's lupin production was 94% of globally reported production), subsequent decline, followed by moderation to a still important place in Australian broad-acre agriculture. We cover breeding progress, economic role in crop rotations and both current and future objectives for the further development of crop. After its full domestication breeding phase completion (including low alkaloids, early flowering and reduced pod-shattering), *L. angustifolius* crop improvement then progressed with basic disease resistances, broadening the genetic base, further development of disease resistance (including anthracnose), some efforts with appropriate phenology and establishment of expected benchmarks for seed quality (protein, phomopsis and alkaloids) and fungal and virus disease resistance levels. By the mid-2000s, the breeding program produced the first herbicide tolerant variety and introduced standards for resistance to metribuzin (Group C/Group 5), which had a role in the need for better weed control/suppression options (eg. capeweed, doublegee, wild radish). Breeding has achieved annual yield increases of approximately 2.3% per year over 52 years. The breeding programs have incorporated marker assisted breeding for two key disease traits and more recently, the adoption of genomic selection by an Australian private crop breeding company. We discuss environmental impact of lupin production, its fixed nitrogen input and the further development of traits likely to support and enhance its role in farming systems and sustainable grain production for feed and healthy food ingredients.

Keywords: protein, alkaloids, regenerative agriculture, break crop

Resumen

En Australia, el lupino o altramuz ha sido una leguminosa multipropósito durante más de 50 años. El éxito en el mejoramiento genético, la adopción y el desarrollo de prácticas agronómicas para lograr rendimientos rentables en *Lupinus angustifolius* se explica en gran medida por su adaptación a climas mediterráneos de invierno y a la abundancia de suelos ácidos, ligeros y bien drenados. En esta revisión, analizamos el aumento de la superficie cultivada y la producción hasta su pico anual en 1999/2000 (casi 2 millones de toneladas, cuando la producción de altramuz de Australia representaba el 94 % de la producción mundial), su posterior declive y, finalmente, su moderación hasta mantener un lugar importante en la agricultura extensiva australiana. Abordamos los avances en el mejoramiento genético, su papel económico en las rotaciones de cultivos y los objetivos actuales y futuros para el desarrollo del cultivo. Tras la finalización de su fase de domesticación (que incluyó bajos niveles de alcaloides, floración temprana y reducción de la dehiscencia de las vainas), el

mejoramiento del cultivo de *L. angustifolius* progresó con resistencias básicas a enfermedades, ampliando la base genética, desarrollando aún más la resistencia a enfermedades (incluida la antracnosis), realizando esfuerzos con una fenología adecuada y estableciendo parámetros de referencia para la calidad de la semilla (proteína, fomopsina y alcaloides) y los niveles de resistencia a enfermedades fúngicas y virales. A mediados de la década de 2000, el programa de mejoramiento produjo la primera variedad tolerante a herbicidas e introdujo estándares para la resistencia a la metribuzina (Grupo C/Grupo 5), lo que influyó en la necesidad de mejores opciones de control/supresión de malezas (por ejemplo, hierba del cabo, hierba de doble gee, rábano silvestre). El mejoramiento ha logrado incrementos anuales de rendimiento de aproximadamente un 2,3 % por año durante 52 años. Los programas de mejoramiento han incorporado el mejoramiento asistido por marcadores para dos características clave de resistencia a enfermedades y, más recientemente, la adopción de la selección genómica por parte de una empresa privada australiana de mejoramiento de cultivos. Analizamos el impacto ambiental de la producción de altramuza, su aporte de nitrógeno fijado y el desarrollo de características que puedan favorecer y potenciar su papel en los sistemas agrícolas y la producción sostenible de grano para piensos e ingredientes alimentarios saludables.

Palabras clave: proteína, alcaloides, agricultura regenerativa, cultivo rotativo

Advances and challenges in the breeding program of *Lupinus albus* in Chile: new tools for the development of future varieties / Avances y desafíos en el programa de mejoramiento genético de *Lupinus albus* en Chile: nuevas herramientas para el desarrollo de futuras variedades

Ana Luengo¹, Gloria López¹, Catalina Silva¹, David Alarcon¹, Javier Arias¹, José Alcalde¹,
Claudia E. Osorio^{1*}

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Carillanca, Temuco, Chile

*Corresponding author email: claudia.osorio@inia.cl

Abstract

The genetic improvement program for *Lupinus albus* in Chile has faced the challenge of incorporating new technologies that contribute to the development of varieties adapted to the emerging conditions of southern Chile. These varieties must exhibit higher productivity, increased protein content, adaptation to changing climatic conditions, and reduced time to release. To address these objectives, efforts have been focused on three main lines of work: (i) increasing grain protein content through conventional breeding, (ii) studying future scenarios through the simulation of adverse environmental conditions, and (iii) the use of New Breeding Techniques (NBTs). The increase in protein content, measured across different seasons and agroclimatic conditions, was determined using Near-Infrared Reflectance (NIR), a method that efficiently enables the selection of advanced lines with protein levels that enhance crop profitability. Through systematic selection based on this tool, a four-percentage-point increase in grain protein content has been achieved. In parallel, the resistance of advanced lines from the INIA breeding program to abiotic stress has been evaluated at different developmental stages (vegetative growth and flowering) under water deficit conditions. To better understand the physiological responses of these lines, several parameters have been assessed, including total chlorophyll index (SPAD index), maximum quantum yield of photosystem II (Fv/Fm), leaf water potential (LWP), relative water content (RWC), and maximum photosynthetic rate (Amax). Although Fv/Fm and SPAD results indicated that deficit irrigation (DI, 60% less water than optimal crop requirements) did not induce stress in the evaluated genotypes, RWC values showed significant differences among treatments in advanced lines such as ClovisSPI-5 and ClovisSPI-55. In contrast, ClovisSPI-37 was less affected by water loss, which was reflected in its LWP levels during flowering. Regarding Amax, a significant reduction under DI was observed in all studied genotypes (–85%), with ClovisSPI-37 showing the smallest decline. These results highlight genotypes with greater tolerance to water deficit and suggest differences in the mechanisms that enable more efficient water conservation. These physiological studies have recently been complemented by biochemical analyses, providing a clearer understanding of mechanisms related to antioxidant responses, oxidative damage, pigment degradation, and the accumulation of compatible osmolytes. This has allowed a more precise identification of desirable traits in advanced lines as elite materials for the development of new drought-tolerant varieties. Concurrently, a tissue culture and transformation platform for white lupin has been developed, which will enable future trait editing and open new avenues for research aimed at elucidating the biochemical and molecular mechanisms underlying the response of agronomically important monogenic traits in advanced lupin lines. Current efforts focus on two approaches: the culture of immature embryos, with the aim of *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation, and pollen-mediated transformation, a method that overcomes the recalcitrant nature of lupin to tissue culture.

Keywords: white lupin, abiotic stress, NBTs, lupin transformation

Resumen

El programa de mejoramiento genético de *Lupinus albus* en Chile se ha enfrentado al reto de incorporar nuevas tecnologías que contribuyan al desarrollo de variedades adaptadas a las condiciones emergentes del sur de Chile. Estas variedades deben presentar mayor productividad, mayor contenido proteico, adaptación a las condiciones climáticas cambiantes y menor tiempo de lanzamiento. Para alcanzar estos objetivos, los esfuerzos se han centrado en tres líneas principales de trabajo: (i) aumentar el contenido proteico del grano mediante mejoramiento convencional, (ii) estudiar escenarios futuros mediante la simulación de condiciones ambientales adversas y (iii) el uso de nuevas técnicas de mejoramiento (NBT). El aumento en el contenido proteico, medido en diferentes temporadas y condiciones agroclimáticas, se determinó utilizando la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR), un método que permite seleccionar eficientemente líneas avanzadas con niveles de proteína que mejoran la rentabilidad del cultivo. Mediante la selección sistemática basada en esta herramienta, se ha logrado un aumento de cuatro puntos porcentuales en el contenido proteico del grano. Paralelamente, se ha evaluado la resistencia de líneas avanzadas del programa de mejoramiento del INIA al estrés abiótico en diferentes etapas de desarrollo (crecimiento vegetativo y floración) bajo condiciones de déficit hídrico. Para comprender mejor las respuestas fisiológicas de estas líneas, se evaluaron varios parámetros, incluyendo el índice total de clorofila (índice SPAD), el rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (Fv/Fm), el potencial hídrico foliar (LWP), el contenido relativo de agua (RWC) y la tasa fotosintética máxima (Amax). Si bien los resultados de Fv/Fm y SPAD indicaron que el riego deficitario (DI, 60% menos de agua que los requerimientos óptimos del cultivo) no indujo estrés en los genotipos evaluados, los valores de RWC mostraron diferencias significativas entre tratamientos en líneas avanzadas como ClovisSPI-5 y ClovisSPI-55. Por el contrario, ClovisSPI-37 se vio menos afectado por la pérdida de agua, lo que se reflejó en sus niveles de LWP durante la floración. Con respecto a Amax, se observó una reducción significativa bajo DI en todos los genotipos estudiados (-85%), siendo ClovisSPI-37 el que mostró la menor disminución. Estos resultados resaltan genotipos con mayor tolerancia al déficit hídrico y sugieren diferencias en los mecanismos que permiten una conservación de agua más eficiente. Estos estudios fisiológicos se han complementado recientemente con análisis bioquímicos, lo que ha permitido comprender mejor los mecanismos relacionados con las respuestas antioxidantes, el daño oxidativo, la degradación de pigmentos y la acumulación de osmolitos compatibles. Esto ha posibilitado una identificación más precisa de rasgos deseables en líneas avanzadas, considerándolas como material de élite para el desarrollo de nuevas variedades tolerantes a la sequía. Paralelamente, se ha desarrollado una plataforma de cultivo de tejidos y transformación para el lupino blanco, que permitirá la edición de rasgos en el futuro y abrirá nuevas vías de investigación para dilucidar los mecanismos bioquímicos y moleculares que subyacen a la respuesta de rasgos monogénicos agrónomicamente importantes en líneas avanzadas de lupino. Los esfuerzos actuales se centran en dos enfoques: el cultivo de embriones inmaduros, con el objetivo de la transformación mediada por *Agrobacterium tumefaciens* y la transformación mediada por polen, un método que supera lo recalcitrante del lupino para el cultivo de tejidos.

Palabras clave: lupino blanco, estrés abiótico, NBT, transformación de lupino

Expansion of low-alkaloid genetic diversity in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) through EMS mutagenesis / Expansión de la diversidad genética de bajo contenido de alcaloides en el lupino de hoja estrecha (*Lupinus angustifolius*) mediante mutagénesis por EMS

Erdmann, Lucas¹; Fließ, Helge¹; Haase, Florian^{1*}

¹Julius Kühn-Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Breeding Research on Agricultural Crop, Germany

*Corresponding author email: florian.haase@julius-kuehn.de

Abstract

Lupins are valued for their high content of protein, fibre, minerals and vitamins, but they also contain anti-nutritive secondary metabolites known as quinolizidine alkaloids (QA), which are potentially toxic and cause a bitter taste. Therefore, low QA content is essential for crop safety and the marketability of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds. Since the identification of the low-alkaloid alleles *iucundus*, *esculentus* and *depressus* during the first half of the last century, breeding has relied almost exclusively on the *iucundus* allele, resulting in a narrow genetic base in low-alkaloid breeding germplasm. Recent observations from experimental sites in Central Europe indicate that currently cultivated *iucundus*-varieties can be vulnerable to climate-related stress. Environmental factors such as spring drought during the inflorescence stage or elevated temperatures can increase QA concentrations and occasionally cause them to exceed the thresholds of 0.05% for livestock feed and 0.02% for human consumption. Increasing the genetic diversity of low-alkaloid breeding material is therefore an important objective. One approach to achieve this is forward genetic screening of induced mutagenesis populations. In this study, an EMS mutagenesis panel derived from the low-alkaloid cultivar ‘Boruta’ (*iucundus*) was evaluated across nine environments in northern Germany. Agronomic traits, including grain yield, thousand kernel weight and plant development, were recorded, and seed alkaloid content and composition were analysed after harvest. The mutagenesis panel showed substantial variation in yield components, protein content and QA concentration. Three lines with significantly lower and more environmentally stable alkaloid contents than the donor cultivar ‘Boruta’ were selected for further investigation. To explore the mechanisms underlying the improved alkaloid stability, transcriptomic analyses using RNA sequencing were performed on the selected mutants together with sweet and bitter reference genotypes. These analyses aimed to identify gene expression patterns associated with reduced and more stable seed alkaloid content. Differentially expressed gene analyses followed by KEGG and GO pathway enrichment revealed significant enrichment of genes associated with responses to external stress and environmental stimuli as well as genes involved in cuticular component biosynthesis. These findings suggest that regulatory processes related to stress perception and physiological adaptation may contribute to the modulation of alkaloid biosynthesis under varying environmental conditions. The identified EMS-derived lines improve the understanding of quinolizidine alkaloid biosynthesis and stability in *L. angustifolius* and represent promising genetic resources for breeding environmentally resilient low-alkaloid cultivars. As these lines originate from EMS mutagenesis, their use in breeding is not restricted by GMO regulations, facilitating their integration into conventional breeding strategies.

Keywords: EMS, mutagenesis, mutation breeding

Resumen

Los altramuces o lupinos son apreciados por su alto contenido en proteínas, fibra, minerales y vitaminas, pero también contienen metabolitos secundarios antinutritivos conocidos como alcaloides quinolizidínicos (QA), que son potencialmente tóxicos y causan un sabor amargo. Por lo tanto, un bajo contenido de QA es esencial para la seguridad del cultivo y la comercialización de las semillas de altramuz de hoja estrecha (*Lupinus angustifolius*). Desde la identificación de los alelos de bajo contenido de alcaloides *iucundus*, *esculentus* y *depressus* durante la primera mitad del siglo pasado, el mejoramiento genético se ha basado casi exclusivamente en el alelo *iucundus*, lo que ha resultado en una base genética limitada en el germoplasma de mejoramiento de bajo contenido de alcaloides. Observaciones recientes de sitios experimentales en Europa Central indican que las variedades *iucundus* cultivadas actualmente pueden ser vulnerables al estrés relacionado con el clima. Factores ambientales como la sequía primaveral durante la etapa de inflorescencia o las temperaturas elevadas pueden aumentar las concentraciones de QA y, ocasionalmente, hacer que superen los umbrales del 0,05 % para la alimentación animal y del 0,02 % para el consumo humano. Por lo tanto, aumentar la diversidad genética del material de mejoramiento con bajo contenido de alcaloides es un objetivo importante. Un enfoque para lograrlo es el cribado genético directo de poblaciones de mutagénesis inducida. En este estudio, se evaluó un panel de mutagénesis EMS derivado del cultivar con bajo contenido de alcaloides 'Boruta' (*iucundus*) en nueve ambientes del norte de Alemania. Se registraron características agronómicas, incluyendo el rendimiento de grano, el peso de mil granos y el desarrollo de la planta, y se analizó el contenido y la composición de alcaloides de la semilla después de la cosecha. El panel de mutagénesis mostró una variación sustancial en los componentes del rendimiento, el contenido de proteínas y la concentración de QA. Se seleccionaron tres líneas con contenidos de alcaloides significativamente menores y más estables ambientalmente que el cultivar donante 'Boruta' para una investigación posterior. Para explorar los mecanismos subyacentes a la mayor estabilidad de los alcaloides, se realizaron análisis transcriptómicos mediante secuenciación de ARN en los mutantes seleccionados junto con genotipos de referencia dulces y amargos. Estos análisis tuvieron como objetivo identificar patrones de expresión génica asociados con un contenido de alcaloides en la semilla reducido y más estable. Los análisis de genes con expresión diferencial, seguidos del enriquecimiento de vías KEGG y GO, revelaron un enriquecimiento significativo de genes asociados con respuestas al estrés externo y estímulos ambientales, así como genes involucrados en la biosíntesis de componentes cuticulares. Estos hallazgos sugieren que los procesos reguladores relacionados con la percepción del estrés y la adaptación fisiológica pueden contribuir a la modulación de la biosíntesis de alcaloides bajo diversas condiciones ambientales. Las líneas derivadas de EMS identificadas mejoran la comprensión de la biosíntesis y estabilidad de los alcaloides quinolizidínicos en *L. angustifolius* y representan recursos genéticos prometedores para el mejoramiento de cultivares con bajo contenido de alcaloides y resistentes al medio ambiente. Dado que estas líneas se originan a partir de mutagénesis por EMS, su uso en el mejoramiento genético no está restringido por las regulaciones sobre OMG, lo que facilita su integración en estrategias de mejoramiento convencionales.

Palabras clave: EMS, mutagénesis, mejoramiento por mutación

**Utilizing molecular markers to combine ultra-low alkaloid content and anthracnose resistance in an organic white lupin breeding programme /
Utilización de marcadores moleculares para combinar un contenido ultrabajo de alcaloides y resistencia a la antracnosis en un programa de mejoramiento genético de lupino blanco orgánico**

Christine Arncken^{1*}, Andrés Patyi¹, Miriam Kamp², Monika Messmer¹, Michael Schneider¹, Mariateresa Lazzaro¹

¹Department of Crop Sciences, Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, Switzerland

²Getreidezüchtung Peter Kunz (gzpk), Feldbach, Switzerland

*Corresponding author email: christine.arncken@fibl.org

Abstract

White lupin (*Lupinus albus*) is a nutrient-rich, deep-rooting, insect friendly climate resilient legume crop whose enforcement in Swiss and European agriculture can contribute substantially to biodiversity and the future transformation of food systems towards sustainability and health. However, two challenges are presently hampering its larger expansion in Swiss agriculture: its susceptibility to anthracnose, caused by the fungal pathogen *Colletotrichum lupini*, and the presence of quinolizidine alkaloids in the grains above the recommended threshold for food, even in low-alkaloid (“sweet”) cultivars. Aiming to improve the suitability of locally cultivated lupins in the food value chain in Central Europe, FiBL Switzerland initiated a pre-breeding programme for anthracnose resistant, sweet white lupin in 2015 and started co-operation with the non-profit, organic breeding company Getreidezüchtung Peter Kunz (gzpk) in 2017. Offspring of crosses between susceptible commercial sweet cultivars and bitter (high alkaloid) genetic resources have been selected for anthracnose tolerance and low alkaloid content. The selection took place on organically farmed fields in Switzerland and Germany under high natural disease pressure, as well as under controlled conditions with artificial infection. We successfully selected lines that were sweet due to the causal mutation in the pauper gene and had alkaloid contents below the recommended threshold (200 mg kg⁻¹) for food. However, to minimize the risk of enhanced alkaloid content due to environmental stresses during cultivation, we followed the additional approach to stack alleles of two different low alkaloid loci within the same breeding line to further reduce the alkaloid content. We crossed the cultivar Dieta which is sweet despite not bearing the pauper mutation, with the pauper-bearing cultivar Frieda. Bulk segregant analysis of the F₂ population allowed us to detect a new QTL on Chromosome 5 and develop an associated marker for selection. It was therefore possible to identify stacked allele recombinants for the two independent low-alkaloid chemotype loci. The identified stacked allele recombinants were analyzed for alkaloid content and showed a remarkable reduction by the factor 10 compared to the parental lines, as well as a reduced number of alkaloid types in the grains. Fifty individuals, the progeny of plants with exceptionally low quinolizidine alkaloid levels in the F₂ generation, were assessed for anthracnose resistance in the F₃ generation in the field. There was significant variation in late-season disease scores, ranging from 4 to 9. Segregating for resistance to anthracnose, this population served the purpose of the application of molecular markers for the selection of individuals with increased resistance. A genomic prediction (GP) model based on a minimal set of 42 SNP-markers, derived from a training data set from a collection of 192 accessions phenotyped in controlled conditions, was applied to this population. The presentation will give an overview of the newest results of FiBL-gzpk breeding with focus on the development of lines that combine ultra-low alkaloid content and increased anthracnose resistance.

Keywords: white lupin breeding, anthracnose resistance, low quinolizidine alkaloid content, stacked low alkaloid genes, genomic resistance prediction

Resumen

El altramuza blanco o lupino blanco (*Lupinus albus*) es una leguminosa rica en nutrientes, de raíces profundas, resistente a los insectos y apta para el clima, cuya promoción en la agricultura suiza y europea puede contribuir sustancialmente a la biodiversidad y a la futura transformación de los sistemas alimentarios hacia la sostenibilidad y la salud. Sin embargo, dos desafíos están frenando actualmente su mayor expansión en la agricultura suiza: su susceptibilidad a la antracnosis, causada por el hongo patógeno *Colletotrichum lupini*, y la presencia de alcaloides quinolizidínicos en los granos por encima del umbral recomendado para el consumo, incluso en cultivares con bajo contenido de alcaloides ("dulces"). Con el objetivo de mejorar la idoneidad de los altramuces cultivados localmente en la cadena de valor alimentaria de Europa Central, FiBL Suiza inició en 2015 un programa de premejora genética para obtener altramuces blancos dulces resistentes a la antracnosis y en 2017 comenzó a colaborar con la empresa de mejoramiento genético orgánico sin ánimo de lucro Getreidezüchtung Peter Kunz (gzpk). Se seleccionaron descendientes de cruces entre cultivares dulces comerciales susceptibles y recursos genéticos amargos (con alto contenido de alcaloides) para la tolerancia a la antracnosis y el bajo contenido de alcaloides. La selección se llevó a cabo en campos de cultivo orgánico en Suiza y Alemania bajo una alta presión natural de la enfermedad, así como en condiciones controladas con infección artificial. Seleccionamos con éxito líneas que eran dulces debido a la mutación causal en el gen pauper y tenían contenidos de alcaloides por debajo del umbral recomendado (200 mg kg^{-1}) para alimentos. Sin embargo, para minimizar el riesgo de un mayor contenido de alcaloides debido al estrés ambiental durante el cultivo, seguimos un enfoque adicional para apilar alelos de dos loci de bajo contenido de alcaloides diferentes dentro de la misma línea de mejoramiento para reducir aún más el contenido de alcaloides. Cruzamos el cultivar Dieta, que es dulce a pesar de no portar la mutación pauper, con el cultivar Frieda, portador de pauper. El análisis de segregación masiva de la población F2 nos permitió detectar un nuevo QTL en el cromosoma 5 y desarrollar un marcador asociado para la selección. Por lo tanto, fue posible identificar recombinantes de alelos apilados para los dos loci de quimio tipo de bajo contenido de alcaloides independientes. Los recombinantes de alelos apilados identificados se analizaron para determinar el contenido de alcaloides y mostraron una notable reducción del factor 10 en comparación con las líneas parentales, así como una reducción en el número de tipos de alcaloides en los granos. Cincuenta individuos, la progenie de plantas con niveles excepcionalmente bajos de alcaloides quinolizidina en la generación F2, se evaluaron para la resistencia a la antracnosis en la generación F3 en el campo. Se observó una variación significativa en las puntuaciones de enfermedad al final de la temporada, que oscilaron entre 4 y 9. Esta población, que segregaba para la resistencia a la antracnosis, sirvió para la aplicación de marcadores moleculares en la selección de individuos con mayor resistencia. Se aplicó a esta población un modelo de predicción genómica (GP) basado en un conjunto mínimo de 42 marcadores SNP, derivados de un conjunto de datos de entrenamiento de una colección de 192 accesiones fenotipadas en condiciones controladas. La presentación ofrecerá una visión general de los resultados más recientes del mejoramiento genético FiBL-gzpk, con especial atención al desarrollo de líneas que combinan un contenido ultrabajo de alcaloides y una mayor resistencia a la antracnosis.

Palabras clave: mejoramiento genético de altramuza blanco, resistencia a la antracnosis, bajo contenido de alcaloides quinolizidínicos, genes de bajo contenido de alcaloides apilados, predicción genómica de resistencia

Towards winter-hardy yellow lupin (*Lupinus luteus* L.): exploring genetic variability for frost tolerance / Hacia el lupino amarillo (*Lupinus luteus* L.) resistente al frío: exploración de la variabilidad genética para la tolerancia a las heladas

Florian Haase¹, Regine Dieterich², Ulrike Lohwasser³

¹Julius Kuehn Institute, Institute for Breeding Research on Agricultural Crops, Groß Lüsewitz, Germany

²Saatzucht Steinach GmbH & Co KG, Bocksee, Germany

³Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, Germany

Corresponding author email: florian.haase@julius-kuehn.de

Abstract

Yellow lupin (*Lupinus luteus* L.) is a grain legume characterized by several agronomically valuable traits, including seed protein concentrations frequently exceeding 40% crude protein, adaptation to acidic and nutrient-poor sandy soils, and comparatively high drought tolerance. These characteristics make the species attractive for low-input production systems and crop diversification. In Central Europe, however, yellow lupin is cultivated exclusively as a spring-sown crop because winter-hardy genotypes are not yet known. The development of winter-adapted genotypes could enable autumn sowing, allowing earlier crop establishment, improved utilization of winter precipitation, and partial avoidance of spring drought. This study investigates the genetic variability of frost tolerance and winter hardiness in yellow lupin germplasm. A diverse set of genotypes (N = 87), including breeding lines, cultivars, and genetic resources, was evaluated under controlled and field conditions. Controlled freezing experiments were conducted in climate chambers, where plants were exposed to defined sub-zero temperatures following acclimation. Frost damage was assessed using visual damage scores and plant regrowth after freezing events. Complementary observations were obtained from autumn-sown field trials in Northern Germany, where winter survival and regrowth capacity were recorded after natural frost exposure. Substantial differences in frost response were observed among the evaluated genotypes. Several accessions maintained comparatively high tolerance to freezing temperatures and showed strong regrowth after frost exposure, whereas others exhibited severe damage or complete plant mortality. This variation indicates that valuable allelic diversity for frost tolerance is present within the available germplasm and can serve as a foundation for targeted breeding. In addition to phenotypic assessments, initial transcriptomic analyses were conducted to investigate molecular responses to frost stress. Gene expression profiling revealed numerous differentially expressed genes after freezing exposure, with distinct expression patterns between frost-tolerant and frost-sensitive genotypes. These findings suggest genotype-specific transcriptional responses associated with cold stress adaptation and provide a basis for identifying candidate genes and molecular markers related to improved winter hardiness. Overall, the results demonstrate substantial genetic variation for frost tolerance within yellow lupin germplasm that can be exploited in breeding. The identification of genotypes with enhanced frost resilience provides a basis for developing winter-adapted cultivars. Combined with transcriptomic insights into genotype-specific cold stress responses, these findings contribute to understanding the mechanisms underlying frost tolerance and support efforts to establish autumn-sown yellow lupin in temperate cropping systems.

Keywords: frost tolerance, frost damage, lupin breeding

Resumen

El lupino amarillo o altramuza amarillo (*Lupinus luteus* L.) es una leguminosa de grano caracterizada por varios rasgos agrónomicamente valiosos, incluyendo concentraciones de proteína en la semilla que frecuentemente superan el 40% de proteína cruda, adaptación a suelos arenosos ácidos y pobres en nutrientes, y una tolerancia a la sequía relativamente alta. Estas características hacen que la especie sea atractiva para sistemas de producción de bajo insumo y para la diversificación de cultivos. Sin embargo, en Europa Central, el altramuza amarillo se cultiva exclusivamente como cultivo de siembra primaveral porque aún no se conocen genotipos resistentes al invierno. El desarrollo de genotipos adaptados al invierno podría permitir la siembra de otoño, lo que permitiría un establecimiento más temprano del cultivo, un mejor aprovechamiento de las precipitaciones invernales y una evitación parcial de la sequía primaveral. Este estudio investiga la variabilidad genética de la tolerancia a las heladas y la resistencia al invierno en germoplasma de altramuza amarillo. Se evaluó un conjunto diverso de genotipos (N = 87), incluyendo líneas de mejoramiento, cultivares y recursos genéticos, en condiciones controladas y de campo. Se realizaron experimentos de congelación controlada en cámaras climáticas, donde las plantas fueron expuestas a temperaturas bajo cero definidas después de la aclimatación. Los daños por heladas se evaluaron mediante puntuaciones visuales y el rebrote de las plantas tras los eventos de congelación. Se obtuvieron observaciones complementarias de ensayos de campo sembrados en otoño en el norte de Alemania, donde se registró la supervivencia invernal y la capacidad de rebrote tras la exposición a heladas naturales. Se observaron diferencias sustanciales en la respuesta a las heladas entre los genotipos evaluados. Varias accesiones mantuvieron una tolerancia relativamente alta a las temperaturas bajo cero y mostraron un fuerte rebrote tras la exposición a las heladas, mientras que otras exhibieron daños severos o la muerte completa de la planta. Esta variación indica que existe una valiosa diversidad alélica para la tolerancia a las heladas dentro del germoplasma disponible, la cual puede servir como base para el mejoramiento genético dirigido. Además de las evaluaciones fenotípicas, se realizaron análisis transcriptómicos iniciales para investigar las respuestas moleculares al estrés por heladas. El perfil de expresión génica reveló numerosos genes con expresión diferencial tras la exposición a las heladas, con patrones de expresión distintos entre los genotipos tolerantes y sensibles a las heladas. Estos hallazgos sugieren respuestas transcripcionales específicas de cada genotipo asociadas con la adaptación al estrés por frío y proporcionan una base para identificar genes candidatos y marcadores moleculares relacionados con una mayor resistencia al invierno. En general, los resultados demuestran una variación genética sustancial en la tolerancia a las heladas dentro del germoplasma de lupino amarillo, la cual puede aprovecharse en el mejoramiento genético. La identificación de genotipos con mayor resistencia a las heladas proporciona una base para el desarrollo de cultivares adaptados al invierno. Combinados con información transcriptómica sobre las respuestas al estrés por frío específicas de cada genotipo, estos hallazgos contribuyen a la comprensión de los mecanismos subyacentes a la tolerancia a las heladas y respaldan los esfuerzos para establecer el cultivo de lupino amarillo de siembra otoñal en sistemas de cultivo templados.

Palabras clave: tolerancia a las heladas, daños por heladas, mejoramiento genético del lupino

Unlocking the sweet trait: identifying a candidate locus for low-alkaloid content in *Lupinus mutabilis* using BSA-seq / Descifrando el rasgo dulce: identificación de un locus candidato para el bajo contenido de alcaloides en *Lupinus mutabilis* mediante BSA-seq

Pamela Vega-Polo¹, Diego Rodríguez², Milton Gordillo-Romero³, Eibertus N. van Loo⁴, Maria de Lourdes Torres³, Andres F. Torres^{1,3}

¹Radicle Crops, Wageningen, The Netherlands

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, Programa de Leguminosas y Granos Andinos, Cutuglagua, Ecuador

³Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Universidad San Francisco de Quito - USFQ, COCIBA, Quito, Ecuador

⁴Plant Breeding, Wageningen University and Research, Wageningen, The Netherlands

Corresponding author email: andres@radiclecrops.com

Abstract

Andean lupin (*Lupinus mutabilis*) is a high-protein legume native to the Andean region with strong potential for diversification of sustainable cropping systems and plant-based protein supply. Despite its superior protein and lipid profile, its broader adoption is hindered by high concentrations of bitter quinolizidine alkaloids (QAs) in the seeds, which exceed safe consumption thresholds. Post-harvest debittering, the current industry standard, is an ecological and economic burden requiring 63 kg of water per kg of seed and incurring in processing-related yield losses of approximately 27%. More critically, this aqueous leaching significantly reduces the seed's primary nutritional advantages, including soluble proteins and antioxidant flavonoids. Developing "sweet" (low-alkaloid) varieties is therefore the only viable path to making *L. mutabilis* a competitive, resource-efficient protein crop. While major low-alkaloid loci like *iucundus* (*L. angustifolius*) and *pauper* (*L. albus*) are well-documented in other lupin species, sweet germplasm has been scarce in *L. mutabilis*. This lack of available sources has prevented the characterization of the genetic architecture underlying the sweet trait, leaving breeders without the molecular tools needed for selection and introgression. In this study we aimed to identify the genomic region responsible for the low-alkaloid phenotype in *L. mutabilis* and to detect candidate genes that can support marker-assisted breeding. A segregating F2:3 mapping population (N = 405; INIAP-ECU-29325 x INIAP-ECU-29328) was phenotyped for seed bitterness using a standardized sensory scoring scale, revealing a 3:1 bitter to sweet segregation ratio consistent with monogenic recessive inheritance. Bulked segregant analysis coupled with whole-genome sequencing (BSA-seq) was performed by pooling individuals with extreme phenotypes. High-throughput sequencing data were aligned to the reference genome, and allele frequency differences between bulks were assessed using a sliding-window analysis of the Δ (SNP-index). This approach identified a single major association peak on one chromosome, indicating a genomic region strongly linked to alkaloid content in *L. mutabilis*. Within this interval, we identified a non-synonymous SNP in a gene encoding lysine/ornithine decarboxylase (L/ODC), an enzyme involved in the first committed step of the quinolizidine alkaloid biosynthetic pathway. The variant causes an amino acid substitution and showed complete co-segregation with the sweet phenotype across the mapping population, making it a strong candidate for the causal mutation. These results provide the first high-resolution genomic evidence linking a specific locus to low alkaloid content in *L. mutabilis*. More broadly, they show that BSA-seq can accelerate trait discovery in an underutilized crop where breeding tools are still limited. The candidate locus identified here offers a direct route to develop molecular markers for marker-assisted selection, a critical step toward making this crop more competitive, more efficient, and easier to integrate into sustainable protein production systems.

Keywords: *Lupinus mutabilis*, Andean lupin, quinolizidine alkaloids, BSA-seq, marker-assisted selection, sweet lupin, plant breeding, sustainable protein crops

Resumen

El lupino andino o chocho (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa rica en proteínas, originaria de la región andina, con un gran potencial para la diversificación de sistemas de cultivo sostenibles y el suministro de proteínas de origen vegetal. A pesar de su excelente perfil proteico y lipídico, su adopción generalizada se ve obstaculizada por las altas concentraciones de alcaloides quinolizidínicos amargos (AQ) en las semillas, que superan los límites de consumo seguros. El proceso de eliminación del amargor posterior a la cosecha, el estándar actual de la industria, representa una carga ecológica y económica, ya que requiere 63 kg de agua por kg de grano y genera pérdidas de rendimiento relacionadas con el procesamiento de aproximadamente el 27 %. Más importante aún, esta lixiviación acuosa reduce significativamente las principales ventajas nutricionales del grano, incluyendo las proteínas solubles y los flavonoides antioxidantes. Por lo tanto, el desarrollo de variedades "dulces" (con bajo contenido de alcaloides) es la única vía viable para convertir a *L. mutabilis* en un cultivo proteico competitivo y eficiente en el uso de recursos. Si bien los principales loci de bajo contenido de alcaloides, como *iucundus* (*L. angustifolius*) y *pauper* (*L. albus*), están bien documentados en otras especies de lupino, el germoplasma dulce ha sido escaso en *L. mutabilis*. Esta falta de fuentes disponibles ha impedido la caracterización de la arquitectura genética subyacente al rasgo dulce, dejando a los mejoradores sin las herramientas moleculares necesarias para la selección y la introgresión. En este estudio, nuestro objetivo fue identificar la región genómica responsable del fenotipo de bajo contenido de alcaloides en *L. mutabilis* y detectar genes candidatos que puedan respaldar el mejoramiento asistido por marcadores. Una población de mapeo segregante F2:3 (N = 405; INIAP-ECU-29325 x INIAP-ECU-29328) fue fenotipada para el amargor de la semilla utilizando una escala de puntuación sensorial estandarizada, revelando una proporción de segregación de 3:1 de amargo a dulce consistente con la herencia recesiva monogénica. Se realizó un análisis de segregación agrupada acoplado a secuenciación del genoma completo (BSA-seq) agrupando individuos con fenotipos extremos. Los datos de secuenciación de alto rendimiento se alinearon con el genoma de referencia y se evaluaron las diferencias en la frecuencia alélica entre los grupos mediante un análisis de ventana deslizante del Δ (índice SNP). Este enfoque identificó un único pico de asociación principal en un cromosoma, lo que indica una región genómica fuertemente ligada al contenido de alcaloides en *L. mutabilis*. Dentro de este intervalo, identificamos un SNP no sinónimo en un gen que codifica la lisina/ornitina descarboxilasa (L/ODC), una enzima involucrada en el primer paso comprometido de la vía biosintética de los alcaloides quinolizidínicos. La variante causa una sustitución de aminoácidos y mostró una cosegregación completa con el fenotipo dulce en toda la población de mapeo, lo que la convierte en una fuerte candidata para la mutación causal. Estos resultados proporcionan la primera evidencia genómica de alta resolución que vincula un locus específico con un bajo contenido de alcaloides en *L. mutabilis*. En términos más generales, demuestran que la secuenciación BSA puede acelerar el descubrimiento de rasgos en un cultivo subutilizado donde las herramientas de mejoramiento genético aún son limitadas. El locus candidato identificado aquí ofrece una vía directa para desarrollar marcadores moleculares para la selección asistida por marcadores, un paso fundamental para lograr que este cultivo sea más competitivo, más eficiente y más fácil de integrar en sistemas sostenibles de producción de proteínas.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis*, lupino andino, alcaloides quinolizidínicos, secuenciación BSA, selección asistida por marcadores, lupino dulce, mejoramiento vegetal, cultivos proteicos sostenibles

Dissecting flowering induction in wild lupins through RIL-based genetic mapping / Análisis de la inducción de la floración en lupinos silvestres mediante mapeo genético basado en líneas recombinantes endogámicas (RIL)

Wojciech Bielski^{1*}, Sandra Rychel-Bielska², Jolanta Belter¹, Sonia Nowak¹, Wioletta Glonek¹, Michal Ksiazkiewicz¹ and Renata Galek²

¹*Department of Gene Structure and Function, Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, Poznan, Poland*

²*Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Wrocław, Poland*

*Corresponding author email: wbie@igr.poznan.pl

Abstract

The global demand for high-protein, nitrogen-fixing crops is rising as agriculture seeks to reduce reliance on synthetic fertilizers. Simultaneously, increasing temperatures and shifting precipitation patterns favor crops adapted to dry, sandy soils, a characteristic common to many lupin species. While lupins are widely used for feed, food, and soil improvement, further genetic improvement is needed to enhance their agronomic performance and resistance to climate variability. One of the major challenges in lupin breeding is fine-tuning flowering and maturation times to fit local agricultural conditions. This is especially crucial, as extreme weather events such as heat waves and terminal droughts increasingly threaten yields, particularly in late-flowering genotypes. Yet, advances in enhancing flowering time and disease resistance have been limited by the narrow genetic diversity of the three domesticated old-world lupin species. Investigation of genetic variability in wild lupins, which are adapted to diverse environments, offers a promising way to accelerate the domestication of new species and expand the genetic pool of cultivated lupins. Our initial research on wild old-world lupins highlighted three species, with significant variation in flowering time, vernalization response, or photoperiod sensitivity, as suitable candidates for genetic improvement: *Lupinus cosentinii* Guss., *L. hispanicus* Boiss. et Reut., and *L. pilosus* L. These species present valuable opportunities for genetic studies on their responses to environmental cues. To assess their genetic variability, we conducted a GWAS on a global genotype collection of these species, which revealed quantitative regulation of flowering time and vernalization responsiveness, likely involving multiple genes, anchored in particular QTLs. Consequently, we proceeded with the development of recombinant inbred line (RIL) populations to facilitate genetic studies on early phenology and reduced vernalization requirements in these species. The RIL populations originate from crosses between parental lines that differ in traits such as flowering time, vernalization responsiveness, or photoperiod response. Three RIL populations for each species are being developed to capture diverse genetic backgrounds. The F1 to F5 RIL generations are being grown in a glasshouse under "speed breeding" lamps to accelerate growth and maturity. The F2 to F5 generations are generated using a single-seed descent (SSD) method. Phenotyping of the F5 RILs will be conducted under two photoperiods, with vernalized and non-vernalized treatments, across three different environments. All F5 RILs will then be subjected to genotyping-by-sequencing, and the resulting markers will be used for constructing genetic maps. Integrating these genetic maps with phenotypic data will facilitate QTL mapping and the identification of candidate genes involved in flowering induction and vernalization response in the studied species.

Keywords: lupins, flowering, vernalization, QTL, RIL, mapping population

Resumen

La demanda mundial de cultivos con alto contenido proteico y fijadores de nitrógeno está en aumento, ya que la agricultura busca reducir su dependencia de los fertilizantes sintéticos. Simultáneamente, el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación favorecen los cultivos adaptados a suelos secos y arenosos, una característica común a muchas especies de lupino. Si bien el lupino se utiliza ampliamente para la alimentación animal, humana y vegetal, y para mejorar el suelo, se requiere un mayor mejoramiento genético para optimizar su desempeño agronómico y su resistencia a la variabilidad climática. Uno de los principales desafíos en el mejoramiento del lupino es ajustar con precisión los tiempos de floración y maduración a las condiciones agrícolas locales. Esto es especialmente crucial, ya que los fenómenos meteorológicos extremos, como las olas de calor y las sequías terminales, amenazan cada vez más los rendimientos, particularmente en los genotipos de floración tardía. Sin embargo, los avances en la mejora del tiempo de floración y la resistencia a las enfermedades se han visto limitados por la escasa diversidad genética de las tres especies de lupino domesticadas del viejo mundo. La investigación de la variabilidad genética en los lupinos silvestres, que están adaptados a diversos entornos, ofrece una vía prometedora para acelerar la domesticación de nuevas especies y ampliar el acervo genético de los lupinos cultivados. Nuestra investigación inicial sobre lupinos silvestres del viejo mundo destacó tres especies, con variación significativa en el tiempo de floración, respuesta a la vernalización o sensibilidad al fotoperiodo, como candidatas idóneas para el mejoramiento genético: *Lupinus cosentinii* Guss., *L. hispanicus* Boiss. et Reut. y *L. pilosus* L. Estas especies ofrecen valiosas oportunidades para estudios genéticos sobre sus respuestas a señales ambientales. Para evaluar su variabilidad genética, realizamos un GWAS en una colección global de genotipos de estas especies, que reveló una regulación cuantitativa del tiempo de floración y la respuesta a la vernalización, probablemente involucrando múltiples genes, anclados en QTL específicos. En consecuencia, procedimos con el desarrollo de poblaciones de líneas endogámicas recombinantes (RIL) para facilitar los estudios genéticos sobre la fenología temprana y los requerimientos reducidos de vernalización en estas especies. Las poblaciones RIL se originan a partir de cruces entre líneas parentales que difieren en rasgos como el tiempo de floración, la respuesta a la vernalización o la respuesta al fotoperiodo. Se están desarrollando tres poblaciones RIL para cada especie con el fin de capturar diversos antecedentes genéticos. Las generaciones F1 a F5 de líneas recombinantes endogámicas (RIL) se cultivan en un invernadero bajo lámparas de cultivo intensivo para acelerar su crecimiento y maduración. Las generaciones F2 a F5 se generan mediante el método de selección de semilla única (SSD). El fenotipado de las RIL F5 se realizará bajo dos fotoperiodos, con tratamientos vernalizados y no vernalizados, en tres ambientes diferentes. Posteriormente, todas las RIL F5 se someterán a genotipado por secuenciación, y los marcadores resultantes se utilizarán para la construcción de mapas genéticos. La integración de estos mapas genéticos con los datos fenotípicos facilitará el mapeo de QTL y la identificación de genes candidatos implicados en la inducción de la floración y la respuesta a la vernalización en la especie estudiada.

Palabras clave: lupino, floración, vernalización, QTL, RIL, población de mapeo

Reimagining *Lupinus mutabilis*: from andean food heritage to a functional plant protein platform / Reimaginando a *Lupinus mutabilis*: del patrimonio alimentario andino a una plataforma funcional de proteína vegetal

Mario Tadeo Laverde

Empresa laVerde Foods, Machachi, Ecuador

*Corresponding author email: info@laverde.com.ec; laverdemario@hotmail.com

Abstract

Lupinus mutabilis Sweet, known as chocho or tarwi in the Andean region, is a legume of profound cultural significance and high nutritional and agroindustrial potential. Although traditionally consumed as a whole grain, its composition and regional adaptation position it as a strategic source in the global search for diversified, sustainable, and locally adapted plant proteins. However, its transition from a traditional food to a modern ingredient remains limited by technological, sensory, and market barriers. This presentation proposes a translational perspective on *L. mutabilis* as a functional plant protein platform for next-generation food systems. Rather than approaching it solely as a traditional crop or food, we will analyze the requirements for transforming it into a standardized, functional, and desirable ingredient for modern food applications. From the perspective of laVerde Foods, an Ecuadorian company working at the intersection of biotechnology, product development, and commercialization, the discussion will focus on three critical challenges: raw material standardization, protein functionality, and consumer desirability. The presentation argues that the future of *L. mutabilis* depends not only on its nutritional composition but also on the ability of academia, public research institutions, and industry to translate its biological potential into food matrices.

Keywords: Andean lupin; plant-based proteins; protein functionality; food innovation; sustainable food systems; consumer acceptance; agroindustrial valorization; alternative proteins; food biotechnology

Resumen

Lupinus mutabilis Sweet conocido como chocho o tarwi en la región andina, es una leguminosa de profunda relevancia cultural y alto potencial nutricional y agroindustrial. Aunque tradicionalmente se consume como grano entero, su composición y adaptación regional lo posicionan como una fuente estratégica dentro de la búsqueda global de proteínas vegetales diversificadas sostenibles y localmente adaptadas. Sin embargo, su transición desde alimento tradicional hacia un ingrediente moderno, continúa limitada por las barreras tecnológicas, sensoriales y de mercado. Esta intervención propone una perspectiva translacional de *L. mutabilis* como plataforma funcional de proteína vegetal para sistemas alimentarios de nueva generación. Más que abordarlo únicamente como cultivo o alimento tradicional, se analizarán los requerimientos para convertirlo en un ingrediente estandarizado, funcional y deseable para aplicaciones alimentarias modernas. Desde la perspectiva de laVerde Foods, empresa ecuatoriana que aplica biotecnología para el desarrollo de productos y comercialización. La discusión se centrará en tres desafíos críticos: estandarización de la materia prima, funcionalidad proteica y deseabilidad del consumidor. La intervención plantea que el futuro de *L. mutabilis* no depende únicamente de su composición nutricional sino de la capacidad de la academia, las instituciones públicas de investigación y la industria para traducir su potencial biológico en matrices alimentarias escalables. Al presentar el lupino andino como patrimonio e innovación, este dialogo busca contribuir al desarrollo de sistemas proteicos regionales capaces de conectar la biodiversidad, la tecnología alimentaria y adopción del mercado.

Palabras claves: lupino andino, proteínas vegetales, funcionalidad de las proteínas, innovación de alimentos, sistema alimenticio sustentable, aceptabilidad del consumidor, valorización agroindustrial, proteína alternativa, biotecnología alimentaria

The tarwi or Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) in Andean agroecology / El tarwi o lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet) en la agroecología Andina

Mario E. Tapia, S. Agüero

Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible – AEDES, Arequipa, Perú

*Corresponding author email: mario.tapia.n@gmail.com

Abstract

Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) has been cultivated for centuries in the central Andean region, on family plots (300 to 2000 m²) at altitudes above 2200 meters above sea level. It is a food with high protein content, a source of oils, and is used for various traditional purposes, making it a predominantly organic crop. Three groups or types of *L. mutabilis* are distinguished by their agronomic differences, such as tolerance to low temperatures and morphological characteristics. They receive different local names: chocho in Spanish in the northern region, tarwi in the central region (from Quechua), and tauri in the southern Andean region (from Aymara). Cultivation is concentrated between October and May during the rainy season, and it adapts to different latitudes, as is the case in Peru, ranging from 1° to 17° south latitude. Tarwi cultivation follows different agronomic management patterns, from soil preparation and fertilization to crop rotation with corn, potatoes, and cereals. This includes various intercropping systems, such as tarwi/corn or with tubers like oca and olluco, or planting it along field borders as a repellent barrier for pest control. Tarwi yields are highly variable, ranging from 600 to 2,500 kg ha⁻¹ of grain. Studies characterizing high Andean agriculture confirm that these are traditional mountain farming systems, developed under tropical latitude conditions, utilizing diverse species and varieties as a safeguard against climate variations. The agricultural season begins with the cultivation of different potato species and varieties in the highest areas above 3500 meters above sea level, and corn below that altitude. Tarwi is a component of these systems and is generally planted before potatoes and corn, providing additional nitrogen through the symbiotic relationship between its roots and *Rhizobium lupini*. Nitrogen fixation levels (50 to 120 kg ha⁻¹) vary depending on soil type and tarwi variety. At harvest, the soil has a low phosphorus content due to plant absorption during grain protein formation, which farmers describe as "leaving the soil depleted and poor." A good response is observed when rock phosphate (40 to 80 kg ha⁻¹) is added at planting, increasing grain yield by 30 to 40%. After harvest, the stalks are used as firewood by Andean farmers, yielding between 1.2 and 3.0 t ha⁻¹ of dry matter with high calorific value. Due to the alkaloid content in the seeds, a debittering process is required before consumption. The extracted alkaloids are traditionally used to control external parasites such as mange (*Sarcoptes scabiei*) in alpacas and sheep. The use of these alkaloids in the pharmaceutical industry, such as sparteine, has also been explored, with varying results that require further investigation. Given these diverse contributions of tarwi cultivation in family farming, with its limited use of chemical products, a comprehensive evaluation of tarwi is necessary, considering its economic, nutritional, and agroecological contributions.

Keywords: Andean lupin, tarwi, cultivation systems, traditional uses, ecological contributions

Resumen

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), se cultiva por siglos en la región central andina, en parcelas familiares (300 a 2000 m²) sobre los 2200 msnm como alimento de buen valor proteico, fuente de aceites, así como por diferentes usos tradicionales, constituyendo un cultivo eminentemente

ecológico. Se distinguen tres grupos o tipos de *L. mutabilis* por sus diferencias agronómicas, como tolerancia a las bajas temperaturas y características morfológicas, recibiendo diferentes nombres locales: chocho en español en la región norte, tarwi en la región central por su origen quechua y tauri en la región sur andina, de origen aimara. Su cultivo se concentra en los meses de octubre a mayo en la época de lluvias y se adapta a diferentes latitudes, que es el caso de Perú, variando de 1° a 17° latitud sur. El cultivo de tarwi sigue diferentes patrones de manejo agronómico, desde la preparación de suelos, fertilización y la rotación con maíz, papa y cereales, incluyéndose asociaciones que varían, tarwi/maíz o con tubérculos como, la oca, olluco; o bordeando campos, actuando como barrera repelente, en el control de plagas. El rendimiento del tarwi es muy variado, oscilando entre 600 a 2500 kg ha⁻¹ de grano. En estudios sobre la caracterización de la agricultura alto andina, se constata que son sistemas agrícolas tradicionales de montañas, en condiciones de latitud tropical, con el uso de diversas especies y sus variedades, como seguridad ante las variaciones del clima. La campaña agrícola se inicia con el cultivo de diferentes especies y variedades de papas, en las partes más altas sobre los 3500 msnm y de maíz, por debajo de dicha altitud. El tarwi es componente de estos sistemas y generalmente antecede a las papas y el maíz, aportando un nivel de nitrógeno adicional, por la simbiosis de sus raíces con el *Rhizobium lupini*. El nivel de fijación de nitrógeno (50 a 120 kg ha⁻¹) dependiendo del tipo de suelos y variedad de tarwi. Los suelos a la cosecha, presentan un bajo contenido de fósforo, por la absorción de la planta en la formación de la proteína del grano, que los campesinos mencionan “deja el suelo cansado y pobre”. Encontrándose una buena respuesta al añadir a la siembra, roca fosfórica (40 a 80 Kg ha⁻¹) con un incremento de 30 a 40 % de kg ha⁻¹ de granos. Una vez terminada la cosecha, los tallos son utilizados como leña por los agricultores/as andinos, con rendimientos que varían entre 1,2 a 3,0 t ha⁻¹ de materia seca, con un alto valor calórico. Por el contenido de alcaloides en las semillas se requiere un proceso de desamargado para su consumo. Los alcaloides extraídos se emplean tradicionalmente en el control de parásitos externos como, la sarna (*Sarcoptes scabiei*) en alpacas y ovinos. El uso de los alcaloides en la industria farmacológica, también ha sido experimentada como la esparteína, con diferentes resultados que requieren una mayor investigación. Por estos diferentes aportes del cultivo del tarwi, en la agricultura familiar con el uso limitado de productos químicos, se requiere evaluar al tarwi en forma integral, considerando sus aportes económicos, alimenticios y agroecológicos

Palabras claves: lupino andino o tarwi, sistemas de cultivo, usos tradicionales, aportes ecológicos

Progress towards agroecological production and commercial scaling of tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) in Cochabamba – Bolivia / Avances hacia la producción agroecológica y escalamiento comercial de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) en Cochabamba - Bolivia

Franz Terrazas Andía*, Giovana Plata

Fundación PROINPA, Bolivia

*Corresponding author email: f.terrazas@proinpa.org

Abstract

Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) cultivation in Cochabamba, Bolivia, takes place on small plots averaging 300 m² or as a contour crop, primarily associated with corn or other crops, without requiring additional inputs. Yields are low, not exceeding half a ton per hectare. In "commercial" plots (0.25 to 1 ha), significant pest and disease problems arise, compromising the harvest. At emergence, the incidence of cutworms (*Agrotis* sp., *Copitarsia turbata*), tarwi fly larvae (*Delia platura*), and root rots caused by *Rhizoctonia solani* result in 10 to 30% plant mortality. During crop development, foliar diseases such as anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) and rust (*Uromyces lupini*), along with damage such as root and stem galleries caused by the weevil (*Apion* spp.), plus the incidence of thrips (*Frankliniella* spp.) during flower drop, drastically reduce yields by more than 60% if not controlled. The long crop cycle of 8 to 10 months increases the vulnerability and exposure of tarwi to extreme weather events such as frost and, especially, prolonged droughts. In this context, the PROINPA Foundation, with the aim of improving yields and scaling up commercial tarwi production, has made significant progress in developing agroecological and climate-resilient production strategies. This involves incorporating a set of technological innovations and best production practices into the production system, including the use of *Rhizobium*-inoculated seeds, bio-inputs made from beneficial microorganisms, and plant extracts that act as fungicides, insecticides, and biofertilizers. Additionally, the use of drip irrigation and advanced harvesting and post-harvest technologies is promoted to improve yields in a resilient and environmentally friendly manner. The main results reveal that preventive pest and disease control is efficient with the application of Bioinputs such as Tricobal (*Trichoderma* and *Bacillus*) and Energytop (nitrogen-fixing biofertilizer and phosphorus and potassium solubilizer) at planting and during crop development, the commercial biological fungicide Bacterial Mix (containing six species of *Bacillus*) and bioactivated Bacterial Mix (made and used locally) for the control of foliar diseases, along with Biomax (plant extract with insecticidal properties plus copper and zinc), Baumet (entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*) for the control of pests such as tarwi fly larvae, weevil and thrips and Vigortop Plus (Biofertilizer and biostimulant). Within the framework of a transitioning agroecological production, synthetic fungicides and insecticides were also occasionally applied curatively to control anthracnose and tarwi fly larvae, respectively. The harvesting and threshing of tarwi were substantially improved with the use of equipment that performs threshing, winnowing, and bagging, particularly facilitating the work of women. The agroecological and resilient strategy developed by PROINPA improved traditional yields by 50 to 100% with an approximate production cost of 5,000 to 7,000 Bolivianos per hectare.

Keywords: sustainability, agroecology, tarwi, economic benefit

Resumen

El cultivo tradicional de tarwi en Cochabamba, Bolivia se realiza en pequeñas superficies cuya media es de 300 m² o como cultivo de contorno asociado principalmente al maíz u otros cultivos no implicando el uso de insumos productivos adicionales. Los rendimientos son bajos, no supera la media tonelada por hectárea. En parcelas “comerciales” (0,25 a 1 ha) surgen problemas importantes de plagas y enfermedades que comprometen la cosecha. A la emergencia la incidencia de gusanos cortadores (*Agrotis sp.*, *Copitarsia turbata*), larvas de la mosca del tarwi (*Delia platura*) y pudriciones de la raíz ocasionadas por *Rhizoctonia solani*, ocasionan 10 a 30 % de mortandad de plantas. Durante el desarrollo del cultivo se presentan enfermedades foliares como antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y roya (*Uromyces lupini*) y daños como galerías en la raíz y al tallo provocados por el Gorgojo o Picudo (*Apion spp.*) más la incidencia de Trips (*Frankliniella spp*) en la caída de flores, reducen drásticamente los rendimientos en más del 60 % sino se controlan. El ciclo largo del cultivo de 8 a 10 meses, incrementa la vulnerabilidad y exposición del tarwi a fenómenos climáticos extremos como heladas y principalmente sequías prolongadas. En ese contexto, la Fundación PROINPA con el propósito de mejorar los rendimientos y escalar la producción comercial de tarwi, ha logrado avances importantes en el desarrollo de estrategias de producción agroecológica y resiliente al cambio climático incorporando un conjunto de innovaciones tecnológicas y buenas prácticas productivas al sistema de producción que comprende el uso de semilla inoculada con *Rhizobium*, bioinsumos elaborados a base de microorganismos benéficos y extractos de planta que desempeñan funciones fungicidas, insecticidas y de biofertilización. Complementariamente, se promueve el uso de riego tecnificado por aspersión y tecnologías de cosecha y post cosecha, de tal forma que se pueda mejorar los rendimientos de manera resiliente y amigable con el medio ambiente. Los principales resultados revelan que el control preventivo de plagas y enfermedades es eficiente con la aplicación de Bioinsumos como Tricobal (*Trichoderma* y *Bacillus*) y Energytop (biofertilizante fijador de nitrógeno y solubilizador de fósforo y potasio) a la siembra y durante el desarrollo del cultivo, el fungicida biológico Bacterial Mix comercial (contiene seis especies de *Bacillus*) y Bacterial mix bioactivado (elaborado y usado localmente) para el control de enfermedades foliares, junto a Biomax (extracto de plantas con propiedades insecticidas más cobre y zinc), Baumet (hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*) para el control de plagas como larvas de la mosca del tarwi, el picudo y trips y Vigortop Plus (Biofertilizante y bioestimulante). En el marco de una producción agroecológica en transición de manera curativa también se aplicaron ocasionalmente fungicidas e insecticidas sintéticos para el control de antracnosis y larvas de la mosca del tarwi, respectivamente. La cosecha y trilla de tarwi se mejoró sustancialmente con el uso de un equipo que realiza la trilla, venteado y ensacado de la cosecha facilitando especialmente el trabajo de las mujeres. La estrategia agroecológica y resiliente desarrollada por PROINPA mejoró los rendimientos tradicionales en 50 a 100 % con un costo de producción aproximado de 5000 a 7000 bolivianos ha⁻¹.

Palabras clave: sostenibilidad, agroecología, tarwi, beneficio económico

Crop rotation with chocho (*Lupinus mutabilis* S.) in production systems of the Ecuadorian highlands / Rotación de cultivos con chocho (*Lupinus mutabilis* S.) en sistemas de producción de la Sierra ecuatoriana

José Velásquez¹, Marco Araujo¹, Nathaly Santorum² and José Lucero²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, Estación Experimental Santa Catalina – EESC, Departamento de Producción de Semillas, Cutuglagua, Ecuador

²INIAP, EESC, Departamento de Manejo de Suelos y Aguas, Cutuglagua, Ecuador

*Corresponding author email: jose.velasquez@iniap.gob.ec

Abstract

In recent decades, the progressive degradation of agricultural soils, mainly associated with intensive production systems and the excessive use of chemical inputs, has generated growing concern worldwide. Facing this scenario, the adoption of sustainable agricultural practices, such as conservation agriculture and crop rotation, has gained special relevance due to their capacity to improve and conserve soil quality. These practices allow for the maintenance of fertility, the improvement of soil structure, and the promotion of edaphic biodiversity, while simultaneously reducing negative environmental impacts. In the Ecuadorian Highlands, these strategies are particularly important due to the mountainous topography, the fragility of the ecosystems, and the agroecological limitations that hinder the sustainability of productive systems. Various global studies have demonstrated that crop rotation has a positive effect on the content and stability of soil organic matter (SOM). In this sense, the inclusion of legumes in rotation schemes plays a fundamental role, as it directly influences the carbon/nitrogen (C/N) dynamics of the soil. Among these species, the chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) stands out for its agronomic, environmental, and nutritional importance in Ecuador. This traditional crop has a high protein content (47.8% in dry grain), in addition to carbohydrates, lipids, minerals, and fiber, making it a key component of food security. Likewise, it generates a high amount of residual biomass after harvest, which contributes to soil enrichment. Based on background, a four-year study was conducted at the INIAP Santa Catalina Experimental Station, located at 3058 masl, with the objective of evaluating the effect of different crop rotation schemes on soil fertility. Two rotation systems were established on a total area of two hectares: Rotation 1 (R1), composed of oat–potato–corn–oat, and Rotation 2 (R2), integrated by wheat–chocho–quinoa–chocho. The results evidenced significant increases in the main soil nutrients. In rotation R1, the nitrogen content increased by 61.2%, while in R2 the increase exceeded 100%. Similarly, phosphorus showed the greatest increases in the rotation with *chocho*, reaching 84.05%. Furthermore, important improvements were recorded in the levels of potassium, calcium, magnesium, and sulfur, indicating a comprehensive recovery of the soil's chemical fertility. These results are primarily attributed to the inclusion of *chocho* in the rotation, due to its capacity to fix atmospheric nitrogen, its high biomass production, and the development of proteoid roots, which allow for the mobilization of phosphorus in soils with low availability of this nutrient. The low C/N ratio of its residues favors microbial activity and accelerates the mineralization of organic matter, increasing the availability of nutrients for subsequent crops. In conclusion, the integration of *chocho* and other Andean grains into crop rotation systems constitutes a sustainable and resilient strategy for production systems in the Ecuadorian Highlands, contributing to soil conservation, food security, and the adaptation of producers to current economic and environmental challenges.

Keywords: sustainable, rotation, proteoid roots

Resumen

En las últimas décadas, la progresiva degradación de los suelos agrícolas, asociada principalmente a los sistemas de producción intensiva y al uso excesivo de insumos químicos, ha generado una creciente preocupación a nivel mundial. Ante este escenario, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura de conservación y la rotación de cultivos, ha cobrado especial relevancia por su capacidad para mejorar y conservar la calidad del suelo. Estas prácticas permiten mantener la fertilidad, mejorar la estructura del suelo y promover la biodiversidad edáfica, al tiempo que reducen los impactos ambientales negativos. En la Sierra ecuatoriana, estas estrategias son particularmente importantes debido a la topografía montañosa, la fragilidad de los ecosistemas y las limitaciones agroecológicas que dificultan la sostenibilidad de los sistemas productivos. Diversos estudios globales han demostrado que la rotación de cultivos tiene un efecto positivo en el contenido y la estabilidad de la materia orgánica del suelo (MOS). En este sentido, la inclusión de leguminosas en los esquemas de rotación desempeña un papel fundamental, ya que influye directamente en la dinámica carbono/nitrógeno (C/N) del suelo. Entre estas especies, el chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) destaca por su importancia agronómica, ambiental y nutricional en Ecuador. Este cultivo tradicional tiene un alto contenido de proteínas (47,8% en grano seco), además de carbohidratos, lípidos, minerales y fibra, lo que lo convierte en un componente clave de la seguridad alimentaria. Asimismo, genera una gran cantidad de biomasa residual después de la cosecha, lo que contribuye al enriquecimiento del suelo. Con base en estos antecedentes, se realizó un estudio de cuatro años en la Estación Experimental INIAP Santa Catalina, ubicada a 3058 msnm, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes esquemas de rotación de cultivos en la fertilidad del suelo. Se establecieron dos sistemas de rotación en un área total de dos hectáreas: rotación 1 (R1), compuesta por avena-papa-maíz-avena, y rotación 2 (R2), integrada por trigo-chocho-quinua-chocho. Los resultados evidenciaron incrementos significativos en los principales nutrientes del suelo. En la rotación R1, el contenido de nitrógeno aumentó en un 61.2%, mientras que en R2 el incremento superó el 100%. De manera similar, el fósforo mostró los mayores incrementos en la rotación con chocho, alcanzando el 84,05%. Además, se registraron mejoras importantes en los niveles de potasio, calcio, magnesio y azufre, lo que indica una recuperación integral de la fertilidad química del suelo. Estos resultados se atribuyen principalmente a la inclusión del chocho en la rotación, debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, su alta producción de biomasa y el desarrollo de raíces proteoides, que permiten la movilización de fósforo en suelos con baja disponibilidad de este nutriente. La baja relación C/N de sus residuos favorece la actividad microbiana y acelera la mineralización de la materia orgánica, aumentando la disponibilidad de nutrientes para los cultivos subsiguientes. En conclusión, la integración del chocho y otros granos andinos en los sistemas de rotación de cultivos constituye una estrategia sostenible y resiliente para los sistemas de producción en la sierra ecuatoriana, contribuyendo a la conservación del suelo, la seguridad alimentaria y la adaptación de los productores a los desafíos económicos y ambientales actuales.

Palabras clave: sostenible, rotación, raíces proteoides

Chemical composition, processing, and utilization of *Lupinus mutabilis* in emerging food matrices / Composición química, procesamiento y utilización de *Lupinus mutabilis* en matrices alimentarias emergentes

Elena Villacres*, María Belén Quelal

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Nutrición y Calidad de Alimentos, Quito, Ecuador

*Corresponding author email: elena.villacres@iniap.gob.ec

Abstract

Lupin, a crop that can grow on marginal agricultural lands in diverse environmental conditions, has high potential to add significantly into the existing food sources. About 400 species of lupin (genus: *Lupinus*) have been found in nature. Lupin (*L. mutabilis*) have been extensively studied for their agronomical characteristics and nutritional values. Interest in lupin as food has increased as people have become progressively more aware of its unique nutritional profile. *L. mutabilis* has the lowest average fiber content between lupin species. The average fiber content is 82 g kg dw⁻¹, crude protein 51 g 100 g⁻¹. The dietary value of lupine proteins is higher than that of beans or peas, which is mainly due to the high concentrations of the essential amino acids (EAAs), lysine (Lys), leucine (Leu) and threonine (Thr). Lupin species vary widely in their lipid content, with *L. mutabilis* having lipid levels higher than other commonly consumed pulses. The reported lipid content in raw 19 g 100 g dw⁻¹ in *L. mutabilis* with high proportions of oleic (C18:1) and linoleic (C 18:2) across all species. Among the varieties of *L. mutabilis*, lipid content may range from 13.0–24.6 g 100 dw⁻¹. As for minerals, in whole debittered *L. mutabilis*, with the exception of calcium, iron, and zinc, the other mineral contents were lower than in whole raw lupin. Remarkable is the increases in calcium, iron, and zinc contents, after debitter process. Lupin seeds have significant amounts of phytochemicals importantly polyphenols, phytosterols and squalene (triterpene) in comparison with other legume crops. In lupin, flavonoids are predominant over phenolic acids, whereas the reverse is the case for other species. These properties have been used in the development of new products such as crispy grains, flours, beverages, concentrates and protein isolates, sprouted and fermented grains. Research is currently underway to evaluate the effectiveness of nutritional porridges made with *L. mutabilis* in combating malnutrition among children aged 1–2 years.

Keywords: protein, lipids, minerals, phytochemicals, malnutrition, porridges

Resumen

El chocho o tarwi, un cultivo que puede crecer en tierras agrícolas marginales y en diversas condiciones ambientales, tiene un gran potencial para contribuir significativamente a las fuentes de alimentos existentes. Se han encontrado alrededor de 400 especies de chocho (género: *Lupinus*) en la naturaleza. El chocho (*L. mutabilis*) ha sido ampliamente estudiado por sus características agronómicas y valores nutricionales. El interés por el chocho como alimento ha aumentado a medida que las personas se han vuelto progresivamente más conscientes de su perfil nutricional único. *L. mutabilis* tiene el menor contenido promedio de fibra entre las especies de *Lupinus*. El contenido promedio de fibra es de 82 g kg⁻¹, proteína cruda 51 g 100 g⁻¹. El valor dietético de las proteínas del chocho es mayor que el del fréjol y arvejas, lo que se debe principalmente a las altas concentraciones de los aminoácidos esenciales (AAE), lisina (Lys), leucina (Leu) y treonina (Thr). Las especies de chocho varían ampliamente en su contenido de lípidos, siendo *L. mutabilis* quien tiene niveles de lípidos más altos que otras legumbres de consumo común. El contenido lipídico reportado en crudo 19 g 100 g⁻¹ en *L.*

mutabilis con altas proporciones de oleico (C18:1) y linoleico (C 18:2) en todas las especies. Entre las variedades de *L. mutabilis*, el contenido lipídico puede variar de 13,0–24,6 g 100⁻¹. En cuanto a los minerales, en *L. mutabilis* es notable el aumento en los contenidos de calcio, hierro y zinc, después del proceso de desamargado. Las semillas de chocho tienen cantidades significativas de fitoquímicos importantes, polifenoles, fitoesteroles y escualeno (triterpeno) en comparación con otros cultivos de leguminosas. En el chocho, los flavonoides son predominantes sobre los ácidos fenólicos, al contrario que en el resto de las otras especies. Estas propiedades se han utilizado en el desarrollo de nuevos productos como granos crujientes, harinas, bebidas, concentrados y aislados de proteínas, así como granos germinados y fermentados. Actualmente se están realizando investigaciones para evaluar la eficacia de las papillas nutricionales elaboradas con *L. mutabilis* en la lucha contra la desnutrición infantil en niños de 1 a 2 años.

Palabras clave: proteínas, lípidos, minerales, fitoquímicos, desnutrición, papillas

Optimizing the development of lupin products, processes and technologies by combining mathematical, physical, biochemical, econometrical and GAI approaches / Optimización del desarrollo de productos, procesos y tecnologías de lupino mediante la combinación de enfoques matemáticos, físicos, bioquímicos, econométricos y de IA

Francisco Carvajal-Larenas

Consultor independiente, Quito, Ecuador

**Corresponding author email: carvajallarenasfrancisco@gmail.com*

Abstract

As is widely recognized within the lupin community, this crop constitutes a nutritionally valuable seed. Consequently, efforts aimed at the development of products, processes, and technologies (including machinery) related to lupin represent an important contribution to the field. However, not all approaches are equally efficient. For instance, trial-and-error methodologies often require substantial time and resources, and the resulting solution—if one is obtained—may be far from optimal. The application of experimental design methodologies has enabled the establishment of controlled conditions, thereby reducing uncertainty and minimizing the resources required to identify optimal solutions from a defined set of alternatives. Nevertheless, these approaches remain largely empirical. To achieve further improvements, it is necessary to advance beyond purely practical methodologies. This requires the integration of physical principles, nano- and pico-scale biochemistry, advanced mathematics, econometrics, and generative artificial intelligence (GAI). Such an interdisciplinary framework has the potential to yield outcomes that are both highly efficient and innovative. Thus, the application of physical principles such as entropy, diffusion rates, and equilibrium concepts, combined with numerical approaches, can—at once—significantly reduce debittering time and solvent usage, thereby lowering processing costs. Moreover, this approach enables the determination of the optimal number of processing stages required to achieve the best overall solution. In addition, one of the four fundamental physical forces—gravity—when analyzed in conjunction with angular acceleration, geometry, and numerical methods, can be used to precisely predict particle or phase separation times. This information is critical for shelf-life estimation and for the rational design of processes and processing plants. With respect to lupin-derived products, an in-depth understanding of the spatial configuration of the food matrix—including charge distribution, molecular bridges, electric density, electronic rearrangements, and ionic forces at the nano- and pico-scales—can facilitate the development of novel products with enhanced nutritional, rheological, and sensory properties compared to conventional controls. Achieving such products requires not only knowledge of ingredient content, but also a deep understanding of material composition, including the amount and type of proteins, starches, fibers, and lipids, as well as key ratios (*i.e.*, protein/starch, fiber/starch) and their interactions. Furthermore, it is essential to consider the mechanical energy applied, the procedures used to obtain isolates, the utilization of specific material fractions, and targeted chemical reconfigurations. These factors are crucial for the development of high-quality snacks, breads, pastries, and meat and dairy substitutes containing lupin levels exceeding 30%. When the relationships among formulation, processing conditions, and product quality (chemical, sensory, rheological, and economic feasibility) are integrated within a numerical framework, it becomes possible to develop econometric models that quantify true consumer acceptance—not merely preference or liking—as well as willingness to pay as a function of multiple quality attributes. This capability is fundamental for accurately assessing the real market potential of newly developed products, processes, and technologies.

Finally, the integration of optimized products, processes, technologies, and econometric models with a trained and validated GAI system may result in a comprehensive, fully optimized framework. Therefore, the objective of this review is to demonstrate that the adoption of advanced, interdisciplinary approaches can significantly enhance the development and quality of lupin products, along with their associated processes and technologies.

Keywords: Lupins, lupines, optimization, numerical approach, physical approach, nano-biochemistry, econometric, GAI

Resumen

Como es ampliamente reconocido en la comunidad del lupino o altramuza, este cultivo constituye una semilla de gran valor nutricional. Por consiguiente, los esfuerzos dirigidos al desarrollo de productos, procesos y tecnologías (incluida la maquinaria) relacionados con el lupino representan una importante contribución al sector. Sin embargo, no todos los enfoques son igualmente eficientes. Por ejemplo, las metodologías de ensayo y error suelen requerir mucho tiempo y recursos, y la solución resultante —si se obtiene— puede estar lejos de ser óptima. La aplicación de metodologías de diseño experimental ha permitido establecer condiciones controladas, reduciendo así la incertidumbre y minimizando los recursos necesarios para identificar soluciones óptimas a partir de un conjunto definido de alternativas. No obstante, estos enfoques siguen siendo en gran medida empíricos. Para lograr mejoras adicionales, es necesario ir más allá de las metodologías puramente prácticas. Esto requiere la integración de principios físicos, bioquímica a nano y pico escala, matemáticas avanzadas, econometría e inteligencia artificial generativa (IAG). Este marco interdisciplinario tiene el potencial de generar resultados altamente eficientes e innovadores. Así, la aplicación de principios físicos como la entropía, las tasas de difusión y los conceptos de equilibrio, combinados con enfoques numéricos, puede reducir significativamente el tiempo de desamargado y el uso de solventes, disminuyendo así los costos de procesamiento. Además, este enfoque permite determinar el número óptimo de etapas de procesamiento necesarias para lograr la mejor solución global. Asimismo, una de las cuatro fuerzas físicas fundamentales — la gravedad—, al analizarse junto con la aceleración angular, la geometría y los métodos numéricos, puede utilizarse para predecir con precisión los tiempos de separación de partículas o fases. Esta información es fundamental para la estimación de la vida útil y para el diseño racional de procesos y plantas de procesamiento. Con respecto a los productos derivados del altramuza, una comprensión profunda de la configuración espacial de la matriz alimentaria — incluida la distribución de carga, los puentes moleculares, la densidad eléctrica, los reordenamientos electrónicos y las fuerzas iónicas a nano y pico escalas— puede facilitar el desarrollo de nuevos productos con propiedades nutricionales, reológicas y sensoriales mejoradas en comparación con los controles convencionales. Para lograr estos productos se requiere no solo conocimiento de la composición de los ingredientes, sino también un profundo conocimiento de la composición del material, incluyendo la cantidad y el tipo de proteínas, almidones, fibras y lípidos, así como las proporciones clave (es decir, proteína/almidón, fibra/almidón) y sus interacciones. Además, es esencial considerar la energía mecánica aplicada, los procedimientos utilizados para obtener los aislados, la utilización de fracciones específicas del material y las reconfiguraciones químicas dirigidas. Estos factores son cruciales para el desarrollo de snacks, panes, pasteles y sustitutos de la carne y los lácteos de alta calidad con niveles de lupino superiores al 30 %. Cuando las relaciones entre la formulación, las condiciones de procesamiento y la calidad del producto (química, sensorial, reológica y viabilidad económica) se integran en un marco numérico, es posible desarrollar modelos econométricos que cuantifiquen la verdadera aceptación del consumidor —no solo la preferencia o el gusto—, así como la disposición a pagar en función de múltiples atributos de

calidad. Esta capacidad es fundamental para evaluar con precisión el potencial real de mercado de los productos, procesos y tecnologías de reciente desarrollo. Finalmente, la integración de productos, procesos, tecnologías y modelos econométricos optimizados con un sistema GAI entrenado y validado puede dar como resultado un marco integral y completamente optimizado. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es demostrar que la adopción de enfoques avanzados e interdisciplinarios puede mejorar significativamente el desarrollo y la calidad de los productos de chocho, junto con sus procesos y tecnologías asociados.

Palabras clave: lupino, altramuz, optimización, enfoque numérico, enfoque físico, nanobioquímica, econometría, GAI

Protein blending as a strategy to improve functional and nutritional properties of lupin-based ingredients / La mezcla de proteínas como estrategia para mejorar las propiedades funcionales y nutricionales de los ingredientes a base de lupino

Anna Maria Tschigg^{1,2*}, Susanne Gola¹, Stephanie Bader-Mittermaier¹, Peter Eisner^{1,2,3}

¹*Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging IVV, Freising, Germany*

²*Technical University of Munich, School of Life Sciences, Freising, Germany*

³*ZIEL – Institute for Food & Health, TUM School of Life Sciences Weihenstephan, Technical University of Munich, Freising, Germany*

**Corresponding author email: anna.maria.tschigg@ivv.fraunhofer.de*

Abstract

Lupins are widely recognized as a promising crop for sustainable protein production. The seeds combine a high seed protein-to-starch ratio with the plants' ability to fix nitrogen, making them attractive for diversifying the current protein landscape. Nevertheless, only a small share of the European lupin harvest currently enters the food chain, and lupin protein is still used in few foods, including emulsion-based systems such as dressings, drinks or dessert products. This is partly because conventional protein isolates, typically produced via alkaline extraction and isoelectric precipitation, show only moderate emulsifying performance. Even though lupin proteins can stabilize oil-in-water emulsions, lupin proteins produce larger oil droplets and require higher protein concentrations compared with other plant or animal proteins. On a mechanistic level, lupin proteins adsorb slowly to the oil–water interface, and some fractions exhibit little or no interfacial affinity and thus remain in the aqueous phase. These limitations are linked to the rigid structure of lupin storage globulins, which restricts their ability to unfold and rearrange at the interface. In light of these constraints, a promising formulation strategy is to blend lupin proteins with proteins from another source, such as potato, to harness the complementary benefits of both constituents. To assess the effects of this strategy, we formulated oil-in-water emulsions stabilized by each protein alone and by their blends at varying ratios and total protein levels. The systems were characterized for droplet size, surface load, and the composition of non-adsorbed protein in the aqueous phase, and interfacial tension was monitored by pendant drop tensiometry. The results show that minor additions of potato protein were sufficient to markedly improve the behavior of lupin-based emulsions. While potato protein alone formed much smaller droplets at lower protein surface coverage than lupin protein, changes in blends are non-linear. Substitution of one quarter of lupin protein with potato protein yielded droplet size and surface load values approaching those of pure potato protein. Interfacial tension measurements and analysis of the aqueous phases indicated that potato protein fractions rapidly dominate the oil–water interface, while certain lupin protein fractions that scarcely adsorbed on their own were “recruited” to the interface in the presence of potato protein, consistent with cooperative adsorption or multilayer formation. Similar beneficial effects are likely to extend to other techno-functional properties, such as foaming or gelation. Beyond techno-functionality, such blending is also attractive from a nutritional perspective. Lupin proteins are deficient in sulfur amino acids, limiting their amino acid score to around 67% in reference to the FAO pattern. Substituting 25, 50, and 75% of lupin protein with potato protein increases the score to approximately 82, 97, and 102%, respectively, indicating that a minor addition of potato protein to lupin protein systems effectively increases nutritional quality. From a broader perspective, these findings imply that the current limitations of lupin proteins in demanding applications are not necessarily a barrier to their use. Instead, blending with proteins from other sources can enhance techno-functional and nutritional

properties while keeping lupin the primary protein source. This enables the use in additional applications and can help to promote lupin ingredients within sustainable food systems.

Keywords: lupin protein, potato protein, protein blending, emulsifying properties, techno-functional properties, amino acid score, sustainable protein ingredients

Resumen

Los altramuces o lupinos son ampliamente reconocidos como un cultivo prometedor para la producción sostenible de proteínas. Sus semillas combinan una alta proporción de proteína respecto al almidón con la capacidad de las plantas para fijar nitrógeno, lo que las hace atractivas para diversificar el panorama proteico actual. Sin embargo, solo una pequeña parte de la cosecha europea de altramuces se incorpora actualmente a la cadena alimentaria, y la proteína de altramuz se utiliza todavía en pocos alimentos, incluidos los sistemas basados en emulsiones, como aderezos, bebidas o postres. Esto se debe en parte a que los aislados de proteína convencionales, producidos típicamente mediante extracción alcalina y precipitación isoelectrónica, muestran un rendimiento emulsionante moderado. Si bien las proteínas de altramuz pueden estabilizar emulsiones de aceite en agua, producen gotas de aceite más grandes y requieren concentraciones de proteína más elevadas en comparación con otras proteínas vegetales o animales. A nivel mecanístico, las proteínas de altramuz se adsorben lentamente en la interfaz aceite-agua, y algunas fracciones presentan poca o ninguna afinidad interfacial, por lo que permanecen en la fase acuosa. Estas limitaciones están relacionadas con la estructura rígida de las globulinas de almacenamiento de altramuz, que restringe su capacidad de desplegarse y reorganizarse en la interfaz. En vista de estas limitaciones, una estrategia de formulación prometedora consiste en mezclar proteínas de lupino con proteínas de otra fuente, como la patata, para aprovechar los beneficios complementarios de ambos componentes. Para evaluar los efectos de esta estrategia, formulamos emulsiones de aceite en agua estabilizadas por cada proteína por separado y por sus mezclas en diferentes proporciones y niveles totales de proteína. Los sistemas se caracterizaron en cuanto al tamaño de las gotas, la carga superficial y la composición de la proteína no adsorbida en la fase acuosa, y la tensión interfacial se monitorizó mediante tensiometría de gota colgante. Los resultados muestran que pequeñas adiciones de proteína de patata fueron suficientes para mejorar notablemente el comportamiento de las emulsiones a base de lupino. Mientras que la proteína de patata por sí sola formó gotas mucho más pequeñas con una menor cobertura superficial de proteína que la proteína de lupino, los cambios en las mezclas no son lineales. La sustitución de una cuarta parte de la proteína de lupino por proteína de patata produjo valores de tamaño de gota y carga superficial que se aproximan a los de la proteína de patata pura. Las mediciones de tensión interfacial y el análisis de las fases acuosas indicaron que las fracciones de proteína de patata dominan rápidamente la interfaz aceite-agua, mientras que ciertas fracciones de proteína de lupino que apenas se adsorbían por sí solas fueron "reclutadas" a la interfaz en presencia de proteína de patata, lo que concuerda con la adsorción cooperativa o la formación de multicapas. Es probable que efectos beneficiosos similares se extiendan a otras propiedades tecnofuncionales, como la formación de espuma o gelificación. Más allá de la tecnofuncionalidad, esta mezcla también resulta atractiva desde una perspectiva nutricional. Las proteínas de lupino son deficientes en aminoácidos azufrados, lo que limita su puntuación de aminoácidos a alrededor del 67% en referencia al patrón de la FAO. La sustitución del 25%, 50% y 75% de la proteína de lupino por proteína de patata aumenta la puntuación a aproximadamente el 82%, 97% y 102%, respectivamente, lo que indica que una pequeña adición de proteína de patata a los sistemas de proteína de lupino aumenta eficazmente la calidad nutricional. Desde una perspectiva más amplia, estos hallazgos implican que las limitaciones actuales de las proteínas de lupino en aplicaciones exigentes no son

necesariamente una barrera para su uso. En cambio, la mezcla con proteínas de otras fuentes puede mejorar las propiedades tecnofuncionales y nutricionales, manteniendo el altramuz como fuente principal de proteína. Esto permite su uso en aplicaciones adicionales y puede contribuir a promover los ingredientes de altramuz dentro de sistemas alimentarios sostenibles.

Palabras clave: proteína de altramuz, proteína de patata, mezcla de proteínas, propiedades emulsionantes, propiedades tecnofuncionales, índice de aminoácidos, ingredientes proteicos sostenibles

Effect of the consumption of a snack based on *Lupinus mutabilis* Sweet on the nutritional status and intestinal microbiota of school children in the Galapagos and the Andean region / Efecto del consumo de un snack a base de *Lupinus mutabilis* Sweet sobre el estado nutricional y la microbiota intestinal de escolares en Galápagos y la región Andina

Valeria Carpio-Arias³, Paúl Cárdenas², Melanie Chávez¹, Andrea Denisse Benítez², Marco Fornasini¹, Elena Villacrés⁴, Julieta Robles¹, Gabriela Loza¹, Karina Pazmiño¹, Manuel E. Baldeón^{1*}

^{1,5}Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador

²Universidad San Francisco de Quito, Cumbayá, Ecuador

³Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Cutuglagua, Ecuador

⁵Unidad de Investigación Clínica, Hospital Metropolitano de Quito, Quito, Ecuador

*Corresponding author email: manuelb71@gmail.com

Abstract

Childhood malnutrition is a growing public health problem worldwide, and Ecuador is no exception. The provinces of Chimborazo and the Galapagos Islands have the highest rates of chronic childhood malnutrition of the country. An important measure to prevent and manage these serious diseases is to develop healthy, culturally acceptable and low-cost functional foods for children and assess their potential beneficial effects. To evaluate the effect of a protein supplement based on a well-known Ecuadorian Andean legume, *Lupinus mutabilis* sweet, in a group of children from the province of Chimborazo and the Galapagos Islands. This was a quasi-experimental trial in which schoolchildren from middle- to low-socioeconomic strata from Galapagos islands (n =51) and the Andean region (n =71) received a snack based on *L. mutabilis* (20g/d) for 16 weeks. A supplement containing 96 kcal per 20 grams of product and 10.34 grams of protein with a high micronutrient content was used. The weight, height, and BMI-for-age and sex growth charts from Anthro Plus WHO were used for data analysis. The nutritional status was determined using the following indicators: underweight (BMI/age <-2 SD); and overweight/obesity (BMI/age >+2 SD). After 16 weeks of treatment, a reduction in the percentage of children with obesity was observed, from 9.86% to 1.41% in the Andean region and from 21.57% to 11.76% in the Galapagos Islands. In order to determine the potential effect of snack consumption on the microbial diversity of the fecal microbiota of the participating children, the α - and β -diversity indices were compared before and after nutritional supplementation. In the Galápagos group α -diversity was higher in the fecal samples after *L. mutabilis* consumption, although those differences were not statistically significant. Similarly, there were not significant differences in α -diversity in the fecal microbiota of children in the Andean region before and after the nutritional supplementation. Also, when we analyzed the differences in the microbiota patterns before and after the snack consumption in the Andean and the Galapagos children, we did not observe significant differences in their β -diversity within the groups. The LEfSe analysis at the genus level identified 6 taxa to be enriched in the fecal microbiota of Andean children before *L. mutabilis* consumption and 3 to be enriched after the snack intake. In the Andean group, the top 3 genera significantly enriched after the snack supplementation were *Butyrivacter*, *Lachnospira*, and *Coproccoccus_A*. However, only *Odoribacter_865974* was enriched in the fecal microbiota of Galapagos children after *L. mutabilis* intake. The increased bacterium genera were associated with the production of short chain fatty acids. Our findings showed that consumption of a snack based on *L. mutabilis* has

a positive effect on the nutritional status and fecal microbiota of school children with high prevalence of malnutrition in Ecuador.

Keywords: *Lupinus mutabilis* Sweet, malnutrition, microbiota, overweight, obesity, Ecuador

Resumen

La desnutrición infantil es un problema de salud pública creciente a nivel mundial, y Ecuador no es la excepción. Las provincias de Chimborazo y las Islas Galápagos presentan las tasas más altas de desnutrición infantil crónica del país. Una medida importante para prevenir y controlar estas enfermedades graves es desarrollar alimentos funcionales saludables, culturalmente aceptables y de bajo costo para niños, y evaluar sus posibles efectos beneficiosos. El objetivo fue evaluar el efecto de un suplemento proteico a base de una leguminosa andina, *Lupinus mutabilis* sweet, en un grupo de niños de la provincia de Chimborazo y las Islas Galápagos. Este fue un ensayo cuasiexperimental en el que escolares de estratos socioeconómicos medios a bajos de las Islas Galápagos ($n = 51$) y la región andina ($n = 71$) recibieron una merienda a base de *L. mutabilis* (20 g/día) durante 16 semanas. Se utilizó un suplemento que contenía 96 kcal por cada 20 gramos de producto y 10,34 gramos de proteína con un alto contenido de micronutrientes. Para el análisis de datos se utilizaron las tablas de crecimiento de peso, altura e IMC para edad y sexo de Anthro Plus WHO. El estado nutricional se determinó utilizando los siguientes indicadores: bajo peso (IMC/edad < -2 DE); y sobrepeso/obesidad (IMC/edad $> +2$ DE). Después de 16 semanas de tratamiento, se observó una reducción en el porcentaje de niños con obesidad, del 9,86% al 1,41% en la región andina y del 21,57% al 11,76% en las Islas Galápagos. Con el fin de determinar el efecto potencial del consumo de refrigerios en la diversidad microbiana de la microbiota fecal de los niños participantes, se compararon los índices de diversidad α y β antes y después de la suplementación nutricional. En el grupo de Galápagos, la diversidad α fue mayor en las muestras fecales después del consumo de *L. mutabilis*, aunque esas diferencias no fueron estadísticamente significativas. De manera similar, no hubo diferencias significativas en la diversidad α en la microbiota fecal de los niños en la región andina antes y después de la suplementación nutricional. Además, cuando analizamos las diferencias en los patrones de microbiota antes y después del consumo de refrigerio en los niños andinos y de Galápagos, no observamos diferencias significativas en su diversidad β dentro de los grupos. El análisis LEfSe a nivel de género identificó 6 taxones enriquecidos en la microbiota fecal de los niños andinos antes del consumo de *L. mutabilis* y 3 enriquecidos después de la ingesta del refrigerio. En el grupo andino, los 3 géneros principales significativamente enriquecidos después de la suplementación del refrigerio fueron *Butyrivacter*, *Lachnospira* y *Coprococcus_A*. Sin embargo, solo *Odoribacter_865974* se enriqueció en la microbiota fecal de los niños de Galápagos después de la ingesta de lupino. El aumento de géneros bacterianos se asoció con la producción de ácidos grasos de cadena corta. Nuestros hallazgos demostraron que el consumo de un snack a base de *Lupinus mutabilis* tiene un efecto positivo en el estado nutricional y la microbiota fecal de escolares con alta prevalencia de desnutrición en Ecuador.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis*, dulce, desnutrición, microbiota, sobrepeso, obesidad, Ecuador

Food or feed? – Do we need the animal feed market in order to develop the food markets for lupin? / ¿Alimento o pienso? – ¿Necesitamos el mercado de alimento para animales para desarrollar los mercados alimentarios del lupino?

David McNaughton

Soya UK Ltd, United Kingdom

**Corresponding author email: david@soya-uk.com*

Abstract

European countries currently import around 38 million tonnes of soya per annum, with most of it (90%) being used directly in the animal feed industry. In total, soya accounts for around two-thirds of the supplemental protein fed to all livestock in Europe and this reliance on soya meal is almost identical across all European countries. On paper, lupins would be the perfect solution to the problem to Europe's over-reliance on imported soya and European-grown lupins could theoretically replace much of this imported tonnage. However, despite the efforts of various seed companies, the area of lupins grown in Europe remains relatively small, and broad uptake of the crop remains as elusive as ever. Globally, Lupins remain a niche crop with a global area of around 1 million hectares which has remained largely unchanged for decades. Recent geopolitical events have not helped the lupin cause. In 2022, the prospects for lupins looked quite good, with soya prices hitting record highs, and many feed companies starting to look seriously at alternative options for protein. However, since the USA began its tariff war with China in early 2025, we have seen a dramatic shift in Chinese soya purchasing policy. China has moved away from US soya beans and has switched to supplies of South American soya beans (mainly from Brazil and Argentina). The result has been a glut of unmarketable soya beans in the USA, and this has driven down the price of soya. Cheap soya is bad news for alternative proteins like lupin. It makes it easier for feed companies to simply carry on as before using soya, and gives them little incentive to look at alternatives. One possible solution may be to ignore the feed market and look to develop the human consumption market with high-value lupin-based foodstuffs. But can this work? Can we build a viable industry based on human food markets and admit defeat to the utter dominance of soya in the feed markets? Lupin is certainly an accepted human food in certain geographic regions. In South America, Mediterranean regions, and in Africa, we see consumption of Lupin protein in traditional markets. In Europe and North America, a number of alternatives are also being explored – from ice cream to coffee to extruded snacks and protein isolates with many possible uses. However, can lupin break through in these non-traditional markets? Will customer acceptance be high enough? Is it possible to grow a large tonnage of high-quality lupins for food applications without a secondary feed market to take the outgrades and lower grade crops? This paper examines the various reasons why lupins have so far failed to take off as a major crop, what the prospects are for commercial breakthrough in the food and feed markets, and what can be done to take lupins to the next level of commercial uptake. There are mixed prospects for lupins in the coming years, but there is much work to be done in developing new markets. The search for a large volume, sustainable market continues....

Keywords: market, lupino, protein, feed industry, food industry

Resumen

Los países europeos importan actualmente alrededor de 38 millones de toneladas de soja al año, la mayor parte de las cuales (90%) se utiliza directamente en la industria de la alimentación animal. En total, la soja representa aproximadamente dos tercios de la proteína suplementaria suministrada a todo el ganado en Europa, y esta dependencia de la harina de soja es prácticamente idéntica en todos los países europeos. En teoría, los lupinos serían la solución perfecta al problema de la excesiva dependencia europea de la soja importada, y los lupinos o altramuces cultivados en Europa podrían, en teoría, sustituir gran parte de este tonelaje importado. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de varias empresas de semillas, la superficie cultivada de altramuces en Europa sigue siendo relativamente pequeña, y la adopción generalizada de este cultivo sigue siendo tan esquiva como siempre. A nivel mundial, los altramuces siguen siendo un cultivo de nicho, con una superficie global de alrededor de 1 millón de hectáreas que se ha mantenido prácticamente inalterada durante décadas. Los recientes acontecimientos geopolíticos no han favorecido la causa de los altramuces. En 2022, las perspectivas para los altramuces parecían bastante buenas, con los precios de la soja alcanzando máximos históricos, y muchas empresas de piensos empezando a considerar seriamente opciones alternativas de proteína. Sin embargo, desde que Estados Unidos inició su guerra arancelaria con China a principios de 2025, hemos observado un cambio drástico en la política china de compra de soja. China ha dejado de comprar soja estadounidense y ha optado por la soja sudamericana (principalmente de Brasil y Argentina). El resultado ha sido un excedente de soja no comercializable en Estados Unidos, lo que ha provocado una caída en su precio. La soja barata es una mala noticia para las proteínas alternativas como el altramuz. Facilita que las empresas de piensos sigan utilizando soja como antes y les ofrece pocos incentivos para buscar alternativas. Una posible solución podría ser ignorar el mercado de piensos y centrarse en desarrollar el mercado de consumo humano con alimentos de alto valor a base de altramuz. Pero, ¿es viable? ¿Podemos construir una industria viable basada en el mercado de alimentos para consumo humano y admitir la derrota ante el dominio absoluto de la soja en el mercado de piensos? El lupino o altramuz es, sin duda, un alimento aceptado en ciertas regiones geográficas. En Sudamérica, la región mediterránea y África, se observa el consumo de proteína de altramuz en los mercados tradicionales. En Europa y Norteamérica, también se están explorando diversas alternativas, desde helados y café hasta snacks extruidos y aislados de proteínas con múltiples usos posibles. Sin embargo, ¿podrá el altramuz abrirse paso en estos mercados no tradicionales? ¿Tendrá la aceptación del consumidor suficiente? ¿Es posible cultivar grandes cantidades de altramuces de alta calidad para uso alimentario sin un mercado secundario de piensos que absorba los cultivos de menor calidad? Este artículo examina las diversas razones por las que el altramuz no ha logrado consolidarse como un cultivo importante, cuáles son las perspectivas de su comercialización en los mercados de alimentos y piensos, y qué se puede hacer para impulsar su adopción comercial. Las perspectivas para el altramuz en los próximos años son variadas, pero aún queda mucho trabajo por hacer en el desarrollo de nuevos mercados. La búsqueda de un mercado sostenible y de gran volumen continúa...

Palabras clave: mercado, lupino, proteína, industria de piensos, industria alimentaria

Poster Presentations / Presentaciones de posters

Elicitation of *Lupinus bilineatus* Benth in vitro cultures: QAs production and biological effects on *Aedes aegypti* L. / Inducción de cultivos in vitro de *Lupinus bilineatus* Benth: producción de QA y efectos biológicos sobre *Aedes aegypti* L.

Karina Morales Muñoz^{1*}; G. Salcedo Morales¹; M. Octavio Pérez Navarro²; J. García Davila³; R. Figueroa Brito¹; J.D Castañeda Espinoza¹; C.S. Espinal Najera¹, K. Bermúdez Torres¹

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México

²Colegio Mayor de Antioquia, Medellín, Colombia

³Universidad Politécnica de Tlaxcala, México

*Corresponding author email: kmoralesm2301@alumno.ipn.mx

Abstract

Quinolizidine alkaloids (QAs) are specialized nitrogen-containing metabolites characteristic of species of the genus *Lupinus*, known for their ecological role in plant defense and their biological activities, including insecticidal effects. However, the production of these compounds is limited by environmental conditions and plant availability. In vitro culture systems represent a promising biotechnological alternative for the controlled production of specialized metabolites. There are reports showing that quinolizidine alkaloid production in cell cultures can be up to 100-fold lower than in whole plants. In this context, elicitation using signaling molecules such as methyl jasmonate (MeJA) and hydrogen peroxide (H₂O₂) can stimulate secondary metabolism by activating plant defense pathways. This study aimed to evaluate the effect of MeJA and H₂O₂ elicitation on quinolizidine alkaloid production in *Lupinus bilineatus* callus cultures and to assess the larvicidal activity of the resulting extracts against *Aedes aegypti*. Seeds of *L. bilineatus* were germinated under controlled conditions, achieving a germination rate of 96%. Root explants were used to induce callus formation in Murashige and Skoog medium, reaching an induction rate of 85%. Cellular dedifferentiation was observed after 11 days of culture, while friable beige callus masses developed after 17 days. Callus cultures were subjected to elicitation treatments with MeJA (50, 150, and 250 μM), H₂O₂ (50, 150, and 250 μM), and a combined MeJA–H₂O₂ treatment. The effects of elicitation on tissue viability were evaluated through necrosis assessment and membrane integrity analysis using methylene blue staining. The metabolic response of elicited calli was analyzed using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS), high-performance liquid chromatography (HPLC), and high-performance thin-layer chromatography (HPTLC). The biological activity of the extracts was evaluated through bioassays against *Aedes aegypti*. The control showed the highest proportion of viable tissue (79%), whereas elicited calli presented reduced viability depending on the elicitor type and concentration. Biomass accumulation was also affected, with elicited calli showing reductions between 3.7% and 26.7% compared with the control, suggesting a shift in metabolic allocation from primary growth toward secondary metabolite production. GC–MS analysis revealed increased chemical diversity in elicited calli, detecting up to 24 compounds compared with 10 in the control. The treatment with MeJA at 50 μM showed the greatest increase in compound abundance, reaching up to 22 times the control. Several quinolizidine alkaloids characteristic of *L. bilineatus*, including lupanine, epiaphiline, and isolupanine, were detected in elicited samples. The highest mortality (97%) was observed in larvae exposed to extracts from calli elicited with H₂O₂ at 50 μM, while the combined MeJA–H₂O₂ treatment produced 93% mortality. These findings demonstrate that elicitation with MeJA and H₂O₂ promotes metabolic reprogramming in *Lupinus bilineatus* callus cultures, increasing the diversity and abundance of quinolizidine alkaloids and

generating extracts with strong larvicidal activity against *A. aegypti*. This approach highlights the potential of plant cell culture as a sustainable platform for producing bioactive metabolites for vector control.

Keywords: Plant tissue culture, methyl jasmonate, hydrogen peroxide, secondary metabolites, gas chromatography, biocontrol

Resumen

Los alcaloides de quinolizidina (QA) son metabolitos especializados que contienen nitrógeno, característicos de las especies del género *Lupinus*, conocidos por su papel ecológico en la defensa de las plantas y sus actividades biológicas, incluyendo efectos insecticidas. Sin embargo, la producción de estos compuestos está limitada por las condiciones ambientales y la disponibilidad de la planta. Los sistemas de cultivo in vitro representan una alternativa biotecnológica prometedora para la producción controlada de metabolitos especializados. Existen informes que muestran que la producción de alcaloides de quinolizidina en cultivos celulares puede ser hasta 100 veces menor que en plantas enteras. En este contexto, la inducción mediante moléculas señalizadoras como el jasmonato de metilo (MeJA) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) puede estimular el metabolismo secundario activando las vías de defensa de la planta. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inducción con MeJA y H_2O_2 en la producción de alcaloides de quinolizidina en cultivos de callos de *Lupinus bilineatus* y evaluar la actividad larvicida de los extractos resultantes contra *Aedes aegypti*. Se germinaron semillas de *L. bilineatus* en condiciones controladas, alcanzando una tasa de germinación del 96%. Se utilizaron explantes de raíz para inducir la formación de callos en medio Murashige y Skoog, alcanzando una tasa de inducción del 85%. Se observó desdiferenciación celular después de 11 días de cultivo, mientras que se desarrollaron masas de callos beige friables después de 17 días. Los cultivos de callos se sometieron a tratamientos de elicitación con MeJA (50, 150 y 250 μM), H_2O_2 (50, 150 y 250 μM) y un tratamiento combinado de MeJA- H_2O_2 . Los efectos de la elicitación sobre la viabilidad del tejido se evaluaron mediante la evaluación de la necrosis y el análisis de la integridad de la membrana utilizando tinción con azul de metileno. La respuesta metabólica de los callos inducidos se analizó mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y cromatografía de capa fina de alta resolución (HPTLC). La actividad biológica de los extractos se evaluó mediante bioensayos contra *Aedes aegypti*. El control mostró la mayor proporción de tejido viable (79%), mientras que los callos inducidos presentaron una viabilidad reducida dependiendo del tipo y la concentración del inductor. La acumulación de biomasa también se vio afectada, con los callos inducidos mostrando reducciones entre 3,7% y 26,7% en comparación con el control, lo que sugiere un cambio en la asignación metabólica del crecimiento primario hacia la producción de metabolitos secundarios. El análisis GC-MS reveló una mayor diversidad química en los callos inducidos, detectando hasta 24 compuestos en comparación con 10 en el control. El tratamiento con MeJA a 50 μM mostró el mayor aumento en la abundancia de compuestos, alcanzando hasta 22 veces el control. En las muestras obtenidas se detectaron varios alcaloides quinolizidínicos característicos de *L. bilineatus*, como lupanina, epiafilina e isolupanina. La mayor mortalidad (97%) se observó en larvas expuestas a extractos de callos obtenidos con H_2O_2 a 50 μM , mientras que el tratamiento combinado con MeJA y H_2O_2 produjo una mortalidad del 93%. Estos hallazgos demuestran que la obtención de callos con MeJA y H_2O_2 promueve la reprogramación metabólica en cultivos de callos de *Lupinus bilineatus*, aumentando la diversidad y abundancia de alcaloides quinolizidínicos y generando extractos con una fuerte actividad larvicida contra *A. aegypti*. Este enfoque resalta el potencial del cultivo de células vegetales como plataforma sostenible para la producción de metabolitos bioactivos para el control de vectores.

Palabras clave: cultivo de tejidos vegetales, metil jasmonato, peróxido de hidrógeno, metabolitos secundarios, cromatografía de gases, biocontrol

The potential of *Lupinus bilineatus* as dengue vector control / El potencial de *Lupinus bilineatus* como vector de control del dengue

Wendolin Borges Coronel*, Martha L. Arenas Ocampo, Kalina Bermúdez Torres, Tania Eufracia Gonzalez Cadena

Centro de Desarrollo de Productos Bioticos, Instituto Politécnico, Yautepec, Morelos, México

*Corresponding author email: wborgesc2000@alumno.ipn.mx

Abstract

The diseases transmitted by the *Aedes aegypti* vector have become a significant public health concern, placing considerable strain on healthcare systems. Globally, cases of dengue, Zika, and chikungunya have increased significantly, from 6.5 million in 2023 to more than double that number in 2024. In Mexico specifically, a 300% increase was reported in 2025. Despite the implementation of control campaigns involving chemical treatment of larvae and adults, as well as debris removal, the number of cases of these vector-borne diseases continue to rise. A primary concern is the emergence of insect resistance to chemical pesticides. Consequently, the development of products that can be integrated into vector control methods is imperative. One alternative approach involves the formulation of bioinsecticides using specialized plant metabolites, such as quinolizidine alkaloids (QAs) from the *Lupinus* genus. These QAs have demonstrated insecticidal potential and can be formulated to be incorporated into a polymeric matrix, which protects them until they are applied to domestic water bodies. In this study, a larvicidal formulation based on QA extracts was developed via ionic gelation. The QAs were extracted from *Lupinus bilineatus* Benth. seeds using the Borges-Coronel protocol (2023), and their larvicidal activities were confirmed via a bioassay using second-instar larvae of a wild-type strain of *Ae. aegypti*. Formulations containing 200, 400, 600, and 1000 g L⁻¹ of QA were prepared via ionic gelation using sodium alginate encapsulation. The mortality and developmental patterns of insects were thoroughly examined. The formulation containing 1000 g L⁻¹ of QA exhibited a 100% larvicidal effect ($F = 7.543$; $p = 0.005$), thereby delaying larval development by more than 10 days. The pupal stage was prolonged by 11 hours ($p = 0.045$), and the larval stage was shortened by 24 hours compared to the control ($p = 0.022$). The median lethal concentration (LC₅₀) was determined to be 281.81 milligrams per liter (0.28 g L⁻¹). The results demonstrate that the evaluated formulation elicited comparable effects to the crude extract. The formulation evaluated in this study demonstrated the potential to be used as a bioinsecticide and a complementary method for controlling the *A. aegypti* vector.

Keywords: quinolizidine alkaloids, *Aedes aegypti*, bioinsecticide, ionic gelation, encapsulation

Resumen

Las enfermedades transmitidas por el vector *Aedes aegypti* se han convertido en un importante problema de salud pública, ejerciendo una presión considerable sobre los sistemas sanitarios. A nivel mundial, los casos de dengue, Zika y chikungunya han aumentado significativamente, pasando de 6,5 millones en 2023 a más del doble en 2024. En México, en particular, se registró un incremento del 300 % en 2025. A pesar de la implementación de campañas de control que incluyen el tratamiento químico de larvas y adultos, así como la eliminación de desechos, el número de casos de estas enfermedades transmitidas por vectores sigue en aumento. Una preocupación primordial es la aparición de resistencia de los insectos a los plaguicidas

químicos. Por consiguiente, el desarrollo de productos que puedan integrarse en los métodos de control de vectores es imperativo. Un enfoque alternativo consiste en la formulación de bioinsecticidas utilizando metabolitos vegetales especializados, como los alcaloides de quinolizidina (AC) del género *Lupinus*. Estos AC han demostrado potencial insecticida y pueden formularse para incorporarse a una matriz polimérica, que los protege hasta su aplicación en cuerpos de agua domésticos. En este estudio, se desarrolló una formulación larvicida basada en extractos de QA mediante gelificación iónica. Los QA se extrajeron de semillas de *Lupinus bilineatus* Benth. utilizando el protocolo Borges-Coronel (2023), y su actividad larvicida se confirmó mediante un bioensayo con larvas de segundo estadio de una cepa silvestre de *A. aegypti*. Se prepararon formulaciones con concentraciones de 200, 400, 600 y 1000 g L⁻¹ de QA mediante gelificación iónica con encapsulación en alginato de sodio. Se examinaron exhaustivamente la mortalidad y los patrones de desarrollo de los insectos. La formulación con 1000 g L⁻¹ de QA mostró un efecto larvicida del 100% (F = 7,543; p = 0,005), retrasando así el desarrollo larvario en más de 10 días. La fase pupal se prolongó 11 horas (p = 0,045) y la fase larvaria se acortó 24 horas en comparación con el control (p = 0,022). La concentración letal media (CL₅₀) se determinó en 281,81 miligramos por litro (0,28 g L⁻¹). Los resultados demuestran que la formulación evaluada produjo efectos comparables a los del extracto crudo. La formulación evaluada en este estudio demostró su potencial para ser utilizada como bioinsecticida y como método complementario para el control del vector *A. aegypti*.

Palabras clave: alcaloides quinolizidínicos, *Aedes aegypti*, bioinsecticida, gelificación iónica, encapsulación

Sensor-guided fermentation for high-quality tempeh from domestic pulses / Fermentación guiada por sensores para la obtención de tempeh de alta calidad a partir de legumbres nacionales

Isabel Muranyi*, Zinaida Catruc, Christoph Wurm, Thorsten Tybussek, Gina Zeh, Anna Maria Tschigg, Andrea Hickisch

Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging IVV, Freising, Germany

**Corresponding author email: isabel.muranyi@ivv.fraunhofer.de*

Abstract

The growing demand for plant-based, high-protein, and clean-label food products in Europe requires minimally processed products with a balanced nutritional profile as well as a transparent and controllable production process. Tempeh, a traditional Indonesian fermented food product based on solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus*, represents a well-suited product category, but is still largely produced from soy and under small-scale conditions. In this study, lupin, pea and faba bean were investigated as regionally grown pulse substrates in Europe to diversify plant protein portfolio and develop a robust, sensor-supported fermentation process for soy-free tempeh. Prior to fermentation, substrate-specific seed pre-treatments were optimized to achieve consistent mycelial binding and sliceable tempeh cakes. The effects of soaking, cooking, and drying conditions on mycelial coverage, cake formation, and cutting behavior were evaluated. Solid-state fermentation was carried out at 32 °C and controlled humidity using a commercial *R. oligosporus* starter. A low-cost multi-parameter gas sensor continuously monitored CO₂ concentration, temperature, relative humidity and pressure, complemented by conventional process indicators such as pH, visual mycelial growth, and ergosterol measurements. In addition, measurements of volatile organic compounds (VOC) were conducted to complement sensory observations and evaluate their potential as early indicators of fermentation deviations, including co-fermentation by unexpected microorganisms such as *Bacillus subtilis*. All three pulses could be successfully converted into firm, sliceable tempeh cakes, although substrate-specific differences in texture was observed because of varying sensitivities to overcooking. Across all substrates, CO₂ evolution followed a highly reproducible pattern consisting of a lag phase, exponential increase and plateau, corresponding to the main stages of fungal growth. The end of the exponential CO₂ phase consistently coincided with the formation of a compact, white cake with optimal texture and an almost neutral to slightly alkaline pH. Prolonged fermentation resulted in seed discoloration, textural breakdown, and overripe flavor. Deviations from the characteristic CO₂ profile indicated process disturbances or contamination. Lupin tempeh reached its technological optimum within approximately one day and showed the most robust texture and widest processing window compared to pea and faba bean. Fermentation reduced characteristic pulse off-notes and generated roasted and nutty aroma attributes, highlighting sweet lupin as a particularly suitable regional substrate for high-quality tempeh production. Additional trials with co-inoculation of *Lactobacillus plantarum* led to denser mycelial binding and modified flavor profiles, while *Penicillium camemberti* was able to form tempeh-like cakes from lupin and pea at a lower temperature but required substantially longer ripening times. *Actinomyces elegans* did not yield satisfactory product textures. Overall, the results demonstrate that sweet lupin is a particularly promising domestic substrate for tempeh production in terms of process robustness, texture and sensory potential. Online CO₂ monitoring provides a transferable and non-destructive indicator of fermentation progress, enabling the control and standardization of tempeh production across different domestic pulses. The resulting data form the basis for sensor-guided fermentation concepts that allow automated process termination, early detection

of faulty fermentations, and consistent product quality. In addition, sensor-guided monitoring facilitates the development of new tempeh variants with respect to both substrates and microorganisms, as process status and sensory quality can be inferred from CO₂ and VOC markers. Overall, this approach enables the scalable production of high-quality tempeh from regional pulses while reducing processing time, costs, and material losses.

Keywords: lupin, tempeh, solid-state fermentation, *Rhizopus oligosporus*, CO₂ monitoring, plant-based food products, pulses, process control

Resumen

La creciente demanda de alimentos de origen vegetal, con alto contenido proteico y etiquetado limpio en Europa requiere productos mínimamente procesados con un perfil nutricional equilibrado, así como un proceso de producción transparente y controlable. El tempeh, un alimento fermentado tradicional indonesio basado en la fermentación en estado sólido con *Rhizopus oligosporus*, representa una categoría de producto idónea, pero aún se produce mayoritariamente a partir de soja y a pequeña escala. En este estudio, se investigaron el lupino, el guisante y la haba como sustratos de leguminosas cultivadas regionalmente en Europa para diversificar la cartera de proteínas vegetales y desarrollar un proceso de fermentación robusto y asistido por sensores para la producción de tempeh sin soja. Antes de la fermentación, se optimizaron los pretratamientos de semillas específicos para cada sustrato con el fin de lograr una unión micelial consistente y tortas de tempeh que se pudieran cortar. Se evaluaron los efectos de las condiciones de remojo, cocción y secado sobre la cobertura micelial, la formación de la torta y el comportamiento de corte. La fermentación en estado sólido se llevó a cabo a 32 °C y humedad controlada utilizando un iniciador comercial de *R. oligosporus*. Un sensor de gas multiparamétrico de bajo costo monitoreó continuamente la concentración de CO₂, la temperatura, la humedad relativa y la presión, complementado con indicadores de proceso convencionales como el pH, el crecimiento micelial visual y las mediciones de ergosterol. Además, se realizaron mediciones de compuestos orgánicos volátiles (COV) para complementar las observaciones sensoriales y evaluar su potencial como indicadores tempranos de desviaciones de la fermentación, incluyendo la cofermentación por microorganismos inesperados como *Bacillus subtilis*. Los tres tipos de legumbres pudieron convertirse con éxito en pasteles de tempeh firmes y rebanables, aunque se observaron diferencias de textura específicas del sustrato debido a las diferentes sensibilidades a la sobrecocción. En todos los sustratos, la evolución del CO₂ siguió un patrón altamente reproducible que consistió en una fase de latencia, un aumento exponencial y una meseta, correspondientes a las etapas principales del crecimiento fúngico. El final de la fase exponencial de CO₂ coincidió consistentemente con la formación de un pastel blanco compacto con una textura óptima y un pH casi neutro a ligeramente alcalino. La fermentación prolongada resultó en decoloración de las semillas, deterioro de la textura y sabor a sobremaduro. Las desviaciones del perfil característico de CO₂ indicaron perturbaciones en el proceso o contaminación. El tempeh de lupino alcanzó su óptimo tecnológico en aproximadamente un día y mostró la textura más robusta y el margen de procesamiento más amplio en comparación con el de guisante y haba. La fermentación redujo los sabores extraños característicos de las legumbres y generó atributos aromáticos tostados y a nuez, lo que destaca al lupino dulce como un sustrato regional particularmente adecuado para la producción de tempeh de alta calidad. Ensayos adicionales con coinoculación de *Lactobacillus plantarum* dieron como resultado una unión micelial más densa y perfiles de sabor modificados, mientras que *Penicillium camemberti* pudo formar tortas similares al tempeh a partir de lupino y guisante a una temperatura más baja, pero requirió tiempos de maduración sustancialmente más largos. *Actinomucor elegans* no produjo texturas de producto satisfactorias. En general, los resultados

demuestran que el lupino dulce es un sustrato nacional particularmente prometedor para la producción de tempeh en términos de robustez del proceso, textura y potencial sensorial. El monitoreo en línea de CO₂ proporciona un indicador transferible y no destructivo del progreso de la fermentación, lo que permite el control y la estandarización de la producción de tempeh en diferentes legumbres nacionales. Los datos resultantes constituyen la base de conceptos de fermentación guiada por sensores que permiten la terminación automatizada del proceso, la detección temprana de fermentaciones defectuosas y una calidad de producto constante. Además, la monitorización guiada por sensores facilita el desarrollo de nuevas variantes de tempeh en función de los sustratos y los microorganismos, ya que el estado del proceso y la calidad sensorial pueden inferirse a partir de marcadores de CO₂ y COV. En definitiva, este enfoque permite la producción escalable de tempeh de alta calidad a partir de legumbres regionales, reduciendo el tiempo de procesamiento, los costes y las pérdidas de material.

Palabras clave: lupino, tempeh, fermentación en estado sólido, *Rhizopus oligosporus*, monitorización de CO₂, productos alimenticios de origen vegetal, legumbres, control de procesos

Development of greener debittering methods for *Lupinus mutabilis* Sweet grains using Pulsed Electric Fields (PEF) / Desarrollo de métodos más ecológicos para eliminar el amargor de los granos dulces de *Lupinus mutabilis* mediante campos eléctricos pulsados (PEF)

María de Fátima Arevalo-Oliva^{1*}, Gilbert Rodríguez², Tiago Carregari Polachini³, Elza Aguirre⁴, Andrea Brandolini⁵, Alyssa Hidalgo⁶, Edgardo Calandri⁷

¹Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial mención Transformación Avanzada de Granos y Tubérculos Andinos, Ancash, Perú

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Santa, Ancash, Perú

³Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA), Universidad Nacional del Santa, Ancash, Perú

⁴São Paulo State University (UNESP), Institute of Biosciences, Humanities and Exact Sciences (Ibilce), Campus São José do Rio Preto, Food Engineering and Technology Department – 10 DETA, São José do Rio Preto, Brazil

⁵Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Unità di Ricerca per la Zootecnia e l'Acquacoltura (CREA-ZA), Lodi, Italy

⁶Department of Food, Environmental and Nutritional Sciences (DeFENS), Università degli Studi di Milano, Milan, Italy

⁷Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA), Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

*Corresponding author email: 2024818024@uns.edu.pe

Abstract

Lupinus mutabilis Sweet is a legume with high nutritional value due to its elevated protein content and favorable amino acid profile. However, its wider utilization is limited by the presence of bitter quinolizidine alkaloids, which require extensive debittering processes prior to consumption. Conventional methods involve prolonged soaking, commonly 3–7 days, and multiple water exchanges, leading to high water consumption often exceeding 10–15 L per kg of grains, extended processing times, and potential losses in grain quality. Alternatively, the development of more sustainable processing technologies is of great interest. In this sense, Pulsed Electric Fields (PEFs) is a non-thermal technology that has been widely studied for promoting cell membrane permeabilization, thereby enhancing mass transfer phenomena in plant-based materials. This property suggests its potential application as a supportive technology for the debittering of *Lupinus mutabilis* Sweet grains. The present study aims at developing and evaluating the application of PEF of PEF (electrical strength of 2.4 kV cm⁻¹; 10 Hz, 10 μs) with different number of monopolar square pulses (25, 50, 100 and 200) as a sustainable pretreatment to debittering of *Lupinus mutabilis* Sweet. At the time of this presentation, the study is in its initial experimental phase, with baseline characterization completed and PEF treatments set-up. Pretreatments with PEF in different conditions focus on reducing the further debittering time and water usage compared to conventional methods, while maintaining or improving the physicochemical and nutritional quality of the grains. Based on similar plant matrix studies, it is anticipated that PEF-assisted treatments could reduce debittering time by 30–70% and water consumption by 25–50%. This enhanced extraction is associated with increased cell membrane permeability, which may improve alkaloid diffusion rates by 20–60% compared to untreated grains. This data will serve as a foundation for evaluating future changes as well as to model the debittering process. Zero- and first-order empirical models will be used according to the behavior of the kinetics curves. Additionally, fitting theoretical models as Peleg and Naik model will support the experimental data and discussion. After evaluating debittering efficiency (yield, disintegration index, structural effects), the quality of the obtained grains will be systematically assessed. At the time of this presentation, no post-PEF analytical results are available; therefore, this contribution

emphasizes the technological approach, experimental planning, and feasibility of applying PEF to *Lupinus mutabilis* Sweet grains. The expected outcome of this work is to establish a scientifically sound and scalable methodology for incorporating pulsed electric fields into the debittering process of *Lupinus mutabilis* Sweet, with the long-term goal of reducing water usage and processing time while preserving (or even improving) grain quality. By providing a scientific basis for the development of a more sustainable debittering process for *Lupinus mutabilis* Sweet, it is also expected the valorization of this underutilized legume in food applications and supporting future optimization and scale-up studies.

Keywords: pulsed electric fields, *Lupinus mutabilis*, debittering process, sustainable food processing

Resumen

Lupinus mutabilis Sweet es una leguminosa de alto valor nutricional debido a su elevado contenido proteico y su favorable perfil de aminoácidos. Sin embargo, su uso generalizado se ve limitado por la presencia de alcaloides quinolizidínicos amargos, que requieren extensos procesos de eliminación del amargor antes de su consumo. Los métodos convencionales implican un remojo prolongado, generalmente de 3 a 7 días, y múltiples cambios de agua, lo que conlleva un alto consumo de agua, que a menudo supera los 10-15 L por kg de grano, tiempos de procesamiento prolongados y posibles pérdidas en la calidad del grano. Por lo tanto, el desarrollo de tecnologías de procesamiento más sostenibles es de gran interés. En este sentido, los campos eléctricos pulsados (PEF) son una tecnología no térmica que se ha estudiado ampliamente para promover la permeabilización de la membrana celular, mejorando así los fenómenos de transferencia de masa en materiales de origen vegetal. Esta propiedad sugiere su potencial aplicación como tecnología de apoyo para la eliminación del amargor de los granos de *Lupinus mutabilis* Sweet. El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar y evaluar la aplicación de PEF (intensidad eléctrica de 2,4 kV cm⁻¹; 10 Hz, 10 μs) con diferente número de pulsos cuadrados monopolares (25, 50, 100 y 200) como pretratamiento sostenible para la eliminación del amargor de *Lupinus mutabilis* Sweet. En el momento de esta presentación, el estudio se encuentra en su fase experimental inicial, con la caracterización de referencia completada y los tratamientos con PEF establecidos. Los pretratamientos con PEF en diferentes condiciones se centran en reducir el tiempo de eliminación del amargor y el consumo de agua en comparación con los métodos convencionales, manteniendo o mejorando la calidad fisicoquímica y nutricional de los granos. Con base en estudios similares de matrices vegetales, se prevé que los tratamientos asistidos por PEF podrían reducir el tiempo de eliminación del amargor entre un 30 y un 70 % y el consumo de agua entre un 25 y un 50 %. Esta extracción mejorada está asociada con una mayor permeabilidad de la membrana celular, lo que puede mejorar las tasas de difusión de alcaloides entre un 20 y un 60 % en comparación con los granos no tratados. Estos datos servirán de base para evaluar cambios futuros y modelar el proceso de eliminación del amargor. Se utilizarán modelos empíricos de orden cero y primer orden, según el comportamiento de las curvas cinéticas. Además, el ajuste de modelos teóricos, como el de Peleg y Naik, respaldará los datos experimentales y el análisis. Tras evaluar la eficiencia de la eliminación del amargor (rendimiento, índice de desintegración, efectos estructurales), se evaluará sistemáticamente la calidad de los granos obtenidos. Al momento de esta presentación, no se dispone de resultados analíticos posteriores a la aplicación de campos eléctricos pulsados (PEF); por lo tanto, esta contribución se centra en el enfoque tecnológico, la planificación experimental y la viabilidad de aplicar PEF a los granos de *Lupinus mutabilis* Sweet. El resultado esperado de este trabajo es establecer una metodología científicamente sólida y escalable para incorporar campos eléctricos pulsados al proceso de eliminación del amargor de *Lupinus mutabilis* Sweet, con el objetivo a largo plazo de reducir el consumo de

agua y el tiempo de procesamiento, preservando (o incluso mejorando) la calidad del grano. Al proporcionar una base científica para el desarrollo de un proceso de eliminación del amargor más sostenible para *Lupinus mutabilis* Sweet, se espera también la valorización de esta leguminosa subutilizada en aplicaciones alimentarias y el apoyo a futuros estudios de optimización y escalado.

Palabras clave: campos eléctricos pulsados, *Lupinus mutabilis*, proceso de eliminación del amargor, procesamiento sostenible de alimentos

Fermentation of lupin protein isolate via lactic acid bacteria as the key to *in situ* production of cheese aroma compounds / La fermentación del aislado de proteína de lupino mediante bacterias lácticas es clave para la producción in situ de compuestos aromáticos del queso

Daniel Kolesnik^{1,2*}, Lea Friedrich^{1,2}, Andrea Strube¹, Andrea Buettner^{1,2}, Ute Schweiggert-Weisz^{1,3}

¹*Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging IVV, Freising, Germany*

²*Department of Chemistry and Pharmacy, Chair of Aroma and Smell Research, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany*

³*School of Life Sciences, Plant Proteins and Nutrition, Technical University of Munich, Freising, Germany*

**Corresponding author email: daniel.kolesnik@ivv.fraunhofer.de*

Abstract

For several years now, the demand for vegan alternatives to milk and dairy products has been rising significantly, particularly in Europe and Germany. This increase is due to several factors, including trends toward healthier eating habits, greater environmental awareness, and ethical concerns regarding animal welfare. Additionally, there is a growing focus on clean label products in order to meet consumer demands for transparency and naturalness. Consumers increasingly expect food products to contain fewer additives and more recognizable ingredients, while still delivering the sensory qualities they are accustomed to from traditional dairy products. However, dairy alternatives should resemble the original animal products as closely as possible in terms of appearance, texture, and flavor. Achieving this similarity remains one of the major challenges in the development of plant-based dairy alternatives. Currently available cheese alternatives on the market have low consumer acceptance because they do not have an appealing flavor profile and lack the typical cheese flavors associated with traditional dairy products. In many cases, plant-based cheese products are perceived as bland, artificial, or dominated by undesirable off-flavors originating from plant raw materials. However, beyond consumer trends and ethical considerations, the development of plant-based foods is increasingly relevant in the context of global food security and supply chain resilience. Shelf-stable, nutritionally valuable foods based on diversified raw materials can contribute to much more robust food systems and reduce dependency on a limited number of animal-based resources. In this context, plant-based fermented cheese alternatives represent not only an alternative dietary choice but also a strategic approach to creating storable and nutritionally valuable foods from sustainable and widely available crops. Fermentation is a natural and traditional method of producing cow's milk cheese and a promising approach to improving the quality, shelf-stability and consumer acceptance of vegan cheese alternatives. As part of the KäromaVeg project (01IFN22883), we were investigating how different lactic acid bacteria strains can favor the in-situ production of typical cheese flavors using lupin protein isolates. The careful selecting lactic acid bacteria strains capable of fermenting lupin protein isolates allowed us to produce plant-based cheese alternatives with appealing and representative flavor profiles. Different bacterial strains showed distinct metabolic activities during fermentation, resulting in varying aroma profiles and fermentation performance. The formation of the essential aroma-active and flavor-giving substances was determined using instrumental analysis and sensory analysis evaluated by a trained panel to optimally support the product development. Correlations between formed aroma-active compounds, the perceived aroma profiles and fermentation performance were observed. Notably, we demonstrated the complex interaction of various aroma substance classes in the development of typical cheese aromas.

Particularly striking when using lupine protein isolate was the fermentative generation of esters, carboxylic acids, and ketones typical for cheese flavors, as well as the breakdown of undesirable aldehydes, which usually lead to green or grassy off-flavors. These results are a basis for the targeted control of in situ production of cheese flavors using plant-based raw materials such as lupin protein isolate. The findings of the project thus make a decisive contribution to the development of appealing, high-quality plant-based cheese alternatives with a genuine cheese aroma profile.

Keywords: fermentation, lupin protein isolate, lactic acid bacteria, plant-based cheese alternatives, aroma-active compounds, sensory analysis.

Resumen

Desde hace varios años, la demanda de alternativas veganas a la leche y los productos lácteos ha aumentado significativamente, especialmente en Europa y Alemania. Este incremento se debe a diversos factores, como la tendencia hacia hábitos alimenticios más saludables, una mayor conciencia ambiental y la preocupación por el bienestar animal. Además, existe un creciente interés en los productos con etiquetas limpias para satisfacer la demanda de transparencia y naturalidad por parte de los consumidores. Estos esperan cada vez más que los alimentos contengan menos aditivos e ingredientes más reconocibles, sin renunciar a las cualidades sensoriales a las que están acostumbrados en los productos lácteos tradicionales. Sin embargo, las alternativas lácteas deben asemejarse lo máximo posible a los productos animales originales en cuanto a apariencia, textura y sabor. Lograr esta similitud sigue siendo uno de los principales retos en el desarrollo de alternativas lácteas de origen vegetal. Las alternativas al queso disponibles actualmente en el mercado tienen una baja aceptación por parte de los consumidores, ya que carecen de un perfil de sabor atractivo y del sabor típico del queso asociado a los productos lácteos tradicionales. En muchos casos, los productos de queso de origen vegetal se perciben como insípidos, artificiales o con sabores desagradables derivados de las materias primas vegetales. Sin embargo, más allá de las tendencias de consumo y las consideraciones éticas, el desarrollo de alimentos de origen vegetal cobra cada vez más relevancia en el contexto de la seguridad alimentaria mundial y la resiliencia de la cadena de suministro. Los alimentos de larga duración y alto valor nutricional, elaborados con materias primas diversificadas, pueden contribuir a sistemas alimentarios mucho más robustos y reducir la dependencia de un número limitado de recursos de origen animal. En este contexto, las alternativas de queso fermentado de origen vegetal representan no solo una opción dietética alternativa, sino también un enfoque estratégico para crear alimentos de larga duración y alto valor nutricional a partir de cultivos sostenibles y ampliamente disponibles. La fermentación es un método natural y tradicional de producción de queso de leche de vaca y un enfoque prometedor para mejorar la calidad, la vida útil y la aceptación por parte del consumidor de las alternativas de queso vegano. Como parte del proyecto KäromaVeg (01IFN22883), investigamos cómo diferentes cepas de bacterias lácticas pueden favorecer la producción in situ de sabores típicos de queso utilizando aislados de proteína de altramuz o lupino. La cuidadosa selección de cepas de bacterias lácticas capaces de fermentar aislados de proteína de altramuz nos permitió producir alternativas de queso de origen vegetal con perfiles de sabor atractivos y representativos. Las distintas cepas bacterianas mostraron actividades metabólicas diferentes durante la fermentación, lo que dio lugar a perfiles aromáticos y rendimientos de fermentación variables. La formación de las sustancias esenciales aromáticas y que aportan sabor se determinó mediante análisis instrumental y análisis sensorial, evaluados por un panel de catadores expertos, para optimizar el desarrollo del producto. Se observaron correlaciones entre los compuestos aromáticos formados, los perfiles aromáticos percibidos y el rendimiento de la fermentación. Cabe destacar que demostramos la compleja interacción de diversas clases

de sustancias aromáticas en el desarrollo de los aromas típicos del queso. Al utilizar aislado de proteína de altramuz, resultó particularmente llamativa la generación fermentativa de ésteres, ácidos carboxílicos y cetonas, característicos de los sabores del queso, así como la degradación de aldehídos indeseables, que suelen producir sabores desagradables a hierba o a verde. Estos resultados constituyen la base para el control específico de la producción in situ de sabores a queso utilizando materias primas de origen vegetal, como el aislado de proteína de altramuz. Por lo tanto, los hallazgos del proyecto contribuyen decisivamente al desarrollo de alternativas de queso de origen vegetal atractivas y de alta calidad, con un perfil aromático auténtico.

Palabras clave: fermentación, aislado de proteína de altramuz, bacterias lácticas, alternativas vegetales al queso, compuestos aromáticos activos, análisis sensorial.

***Lupinus mutabilis* L flour and *Dioscorea trifida* flour used for nutritional improvement in formulations of partial substituted wheat bread / Harina de *Lupinus mutabilis* L y harina de *Dioscorea trifida* utilizadas para mejorar nutricionalmente las formulaciones de pan de trigo parcialmente sustituido**

Miriam Pino Huasacca¹, Patricia Glorio Paulet^{2*} and Hidalgo, A³

Faculty of Food Industry UNALM (Universidad Nacional Agraria-La Molina), Lima, Perú

²*IIBBM (Instituto de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular) UNALM, Lima, Perú*

³*Department of Food, Environmental and Nutritional Sciences (DeFENS), Università degli Studi di Milano, Milan, Italy*

*Corresponding author email: pgp@lamolina.edu.pe

Abstract

Wheat based bread is consumed everywhere providing energy and essential nutrients. It would be worthwhile to improve its nutritional quality by partial substitution with ingredients rich in protein and bioactive compounds. In this research we developed a bread by partial substitution of wheat flour with debittered tarwi flour (*Lupinus mutabilis*) and purple sachapapa flour (*Dioscorea trifida*). Tarwi is rich in protein and sachapapa in starch and bioactive compounds. To improve the nutritional value of bread developed, without compromising its quality characteristics, a mixture design was used to obtain 10 mixtures for bread making with wheat, tarwi and sacha papa flours. In terms of texture and volume characteristics, tarwi flour had negative effects, but high values in terms of protein content. Purple sachapapa flour had a greater effect on the color of the crumb and crust of the bread due to its anthocyanins and a positive effect on the antioxidant capacity of the bread. An optimal mixture was obtained through simultaneous optimization based on desirability with the variables of hardness, elasticity, specific volume, protein, and antioxidant capacity of the bread. The characterization of bread derived from this optimal mixture resulted in 3.13 ± 0.47 N hardness, in 0.85 ± 0.02 elasticity, in 2.92 ± 0.09 mL g⁻¹ specific volume, in 16.16 ± 0.28 g 100g⁻¹ d.w. protein, and in 1.393 ± 0.024 μmol TE g⁻¹ d.w for antioxidant capacity. Compared to the control bread (100% wheat flour), the optimal mixture bread had an increase in nutritional value and quality characteristics such as steady elasticity. The favorable interaction between tarwi flour and sachapapa flour for partial substitution of wheat bread, opens the door for different types of nutritional improvement at the bread making industry.

Keywords: bread, antioxidant, anthocyanin, protein, tarwi, sacha papa

Resumen

El pan a base de trigo se consume en todas partes, aportando energía y nutrientes esenciales. Sería conveniente mejorar su calidad nutricional mediante la sustitución parcial por ingredientes ricos en proteínas y compuestos bioactivos. En esta investigación, desarrollamos un pan mediante la sustitución parcial de harina de trigo por harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) desamargada y harina de sachapapa morada (*Dioscorea trifida*). El tarwi es rico en proteínas y la sachapapa en almidón y compuestos bioactivos. Para mejorar el valor nutricional del pan desarrollado, sin comprometer sus características de calidad, se utilizó un diseño de mezclas para obtener 10 mezclas para la elaboración del pan con harinas de trigo, tarwi y sachapapa. En cuanto a las características de textura y volumen, la harina de tarwi tuvo efectos negativos, pero valores altos en términos de contenido proteico. La harina de sachapapa morada tuvo un mayor efecto en el color de la miga y la corteza del pan debido a sus antocianinas y un efecto

positivo en la capacidad antioxidante del pan. Se obtuvo una mezcla óptima mediante la optimización simultánea basada en la deseabilidad con las variables de dureza, elasticidad, volumen específico, proteína y capacidad antioxidante del pan. La caracterización del pan elaborado con esta mezcla óptima arrojó una dureza de $3,13 \pm 0,47$ N, una elasticidad de $0,85 \pm 0,02$, un volumen específico de $2,92 \pm 0,09$ mL g⁻¹, un contenido de proteína de $16,16 \pm 0,28$ g 100 g p.s. y una capacidad antioxidante de $1,393 \pm 0,024$ μmol TE g⁻¹ p.s. En comparación con el pan de control (100 % harina de trigo), el pan elaborado con la mezcla óptima presentó un aumento en el valor nutricional y en características de calidad como una elasticidad constante. La interacción favorable entre la harina de tarwi y la harina de sachapapa para la sustitución parcial del pan de trigo abre la puerta a diferentes tipos de mejora nutricional en la industria panadera.

Palabras clave: pan, antioxidante, antocianina, proteína, tarwi, sachapapa

Marketing of tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) derivatives in informal markets in the cities of La Paz, El Alto, and surrounding areas / Comercialización de derivados de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) en mercados informales de las ciudades de La Paz, El Alto, y zonas aledañas

Juan José Vicente Rojas^{1*}, Carmen del Castillo Gutiérrez¹, José Luis Soto Mendizábal²

¹*Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia*

²*Consultor independiente, Bolivia*

*Corresponding author email: jvicens@umsa.bo

Abstract

Tarwi in the department of La Paz is produced mainly in areas surrounding Lake Titicaca (Camacho province, municipalities of Carabuco, Escoma, Ancoraimes, and Copacabana); part of the grain's production is destined for sale in major urban centers such as the cities of La Paz and El Alto. The most common form of tarwi sold is "chuchusmote" (cooked, de-bittered grain). This commercial activity takes place in the working-class neighborhoods of the cities of La Paz. The exact number of people engaged in the sale of these byproducts is unknown, as are the details regarding their commercialization. In this context, the objective of this study is to describe general aspects of the sale of the grain, mote, and other byproducts in the informal sector of the cities of La Paz and El Alto. Survey forms with closed-ended and open-ended questions were developed and administered in March 2026. The study is descriptive in nature. The selected areas have a high concentration of informal activity, where routes were established to locate key informants—the "vendors." The sample consisted of 44 respondents. For statistical analysis, SPSS v.27 was used to generate descriptive statistics for the qualitative variables. Regarding the results, the largest proportion of vendors is found in markets in La Paz (52.3%), El Alto (40.9%), and other regions (6.8%); 75% of vendors are women. The most common place for them to conduct their business is at street stalls—that is, they do not have a fixed point of sale—followed by stalls at fairs or markets. On the other hand, the main byproduct is mote (cooked and de-bittered grain), which accounts for 81.8% compared to other byproducts; notable among these are "tarwi sticks" processed using "artisanal" methods and supplied by informal vendors. Regarding the origin of the byproduct, 60.5% indicate that they purchase it from intermediaries; 25% are crop producers. Regarding the presentation of the product as mote, it is generally stored in plastic buckets and sold in polyethylene bags at a price ranging from 3 to 10 Bs, depending on the volume. When asked about their knowledge of the benefits of consuming tarwi, the most common response is that it has some effect on diabetes, as well as its calcium and protein content. One aspect regarding grain processing is that most tarwi sellers remove the bitterness from the grain using "artisanal" methods, and the wastewater is disposed of without prior treatment. Among the negative aspects for sellers are the lack of a market or a market restricted to low-income sectors, a lack of new recipes, and a lack of ways to promote its consumption. It is concluded that the sale of tarwi products constitutes an economic activity undertaken by a segment of the population as an alternative source of income, carried out in streets or markets with significant economic activity linked to the rural sector. It constitutes an informal activity that deserves attention to promote greater consumption among the population.

Keywords: tarwi, de-bittered grain, informal trade.

Resumen

El tarwi en el departamento de La Paz se produce principalmente en áreas circundantes al lago Titicaca (provincia Camacho, municipios de Carabuco, Escoma, Ancoraimes y Copacabana), una parte de la producción del grano se destina al comercio en las grandes urbes como son las ciudades de La Paz y El Alto. La forma de venta de tarwi más conocida es como “chuchusmote” (grano cocido y desamargado). Es una actividad comercial que se realiza en zonas populares de las urbes paceñas. No se conoce con certeza la población que se dedica a la venta de estos subproductos ni tampoco los aspectos relacionados con la actividad de su comercialización. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo describir aspectos generales de la venta del grano, mote y otros subproductos en el sector informal de las ciudades de La Paz y El Alto. Se elaboraron fichas de encuesta con preguntas cerradas y abiertas que fueron aplicadas en marzo de 2026. El tipo de estudio corresponde al nivel descriptivo. Las zonas seleccionadas concentran un gran nivel de actividad informal, donde se establecieron recorridos para ubicar a los informantes clave “vendedores”. La muestra estuvo compuesta de 44 encuestados. Para el análisis estadístico se empleó el paquete SPSS v.27 para generar las estadísticas descriptivas para las variables cualitativas. En cuanto a los resultados, la mayor proporción de comerciantes se halla en mercados de La Paz (52,3%), El Alto (40,9%) y otras regiones (6,8%); un 75% corresponde a mujeres que realizan la venta. El lugar más frecuente para realizar su actividad es en puestos ambulantes, es decir, no tienen un punto fijo de venta, y luego en puestos de ferias o mercados. Por otra parte, el principal subproducto es el mote (grano cocido y desamargado), que representa el 81,8% con respecto a otros subproductos; destacan los “palitos de tarwi” procesados de forma “artesanal” y que son proporcionados por proveedores informales. Con respecto al origen del subproducto, el 60,5% indica que lo adquiere de intermediarios; un 25% es productor del cultivo. En referencia a la presentación del producto como mote, este se dispone generalmente en baldes de plástico y se expende en bolsitas de polietileno con un precio que oscila entre 3 y 10 Bs según el volumen. Al ser consultados sobre el conocimiento de los beneficios del consumo de tarwi, el término más común es reconocer alguna propiedad sobre la diabetes, así como su aporte de calcio y proteína. Un aspecto en cuanto al procesado de grano es que la mayoría de los vendedores de tarwi desamargan el grano de forma “artesanal” y el agua residual es desechada sin tratamiento previo. Entre los aspectos negativos para los vendedores, están la falta de mercado o mercado restringido a sectores populares, falta de nuevas recetas y formas de promover su consumo. Se concluye que la comercialización de derivados de tarwi se constituye en una actividad económica que es emprendida por un sector de la población como una alternativa o fuente de ingreso que es desarrollada en las calles o mercados con bastante movimiento económico ligado al sector rural. Se constituye en una actividad informal que merece atención para promover el mayor consumo de la población.

Palabras clave: tarwi, grano desamargado, comercio informal

Strategies for the introduction of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.) into Argentine cropping systems / Estrategias para la introducción del lupino de hoja estrecha (*Lupinus angustifolius* L.) en los sistemas de cultivo argentinos

Ana M. Planchuelo^{1,2}, Andrés C. Ravelo^{1,2} and Roberto Zanvettor²

¹Independent International Researcher

²Center for Surveying and Assessment of Agriculture and Natural Resources (CREAN-IMBIV-CONICET-UNC, Córdoba, Argentina

*Corresponding author email: aplanch@gmail.com

Abstract

The “Lupino Research and Technology Transfer Project,” developed by CREAN, identified optimal, marginal, and unsuitable cultivation areas for white lupin (*Lupinus albus* L.) in Argentina. Over the past 20 years, an agrotechnological package was disseminated, enabling the transition of white lupin cultivation from experimental plots to larger-scale production. Based on this experience, a new project was initiated to introduce narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.) as a productive crop for multiple uses. The following production systems were evaluated: (1) cultivation in containers as ornamental plants for decorative gardens; (2) experimental field trials to assess crop performance and provide an alternative for areas with Entisol soils; and (3) intercropping with wheat (*Triticum aestivum* L.) in small farms and family food gardens to obtain two grain products for consumption, sale, or processing. Seeds of cv. Caro, obtained from the Institute of Plant Genetics, Poland, were disinfected and inoculated prior to sowing. Phenological stages, phenometric traits, leaf area index, and dry matter accumulation were evaluated throughout the crop cycle in all trials, each conducted with three replications. Container experiments were performed in black polyethylene bags filled with a substrate consisting of 50% fine sand and 50% sterilized soil under controlled irrigation conditions. Field trials were established in 126 m² plots at a density of 27.7 plants m⁻² under rainfed conditions. Intercropping trials were arranged in alternating rows of lupin and wheat, with two sowing dates, in 5 × 4 m plots spaced 30 cm between rows, with manual weed control. In container trials, plants reached full V10 (end of the vegetative stage) at approximately 52 days after sowing, compared to about 80 days under field conditions. Growth was uniform in plant size and developmental stage, indicating good adaptation of the cultivar to container production under controlled environments. In field trials, late sowing (May) shortened the vegetative phase compared to early sowing (April), although no significant differences were observed during the R1–R4 reproductive stages. Grain yield was markedly affected by sowing date: the first sowing yielded 2996 kg ha⁻¹, whereas the second yielded 1831 kg ha⁻¹. Intercropping trials produced variable results depending on planting date and crop development stage, complicating large-scale management. However, this variability is less critical for home garden systems, where management flexibility is greater. As a conclusion, early sowing under rainfed conditions is recommended to maximize yield, while container cultivation demonstrates potential for ornamental and small-scale production systems. Further refinement of crop management practices will support technology transfer to the private sector and promote lupin cultivation for diversified productive uses.

Keywords: agrotechnological package, food gardens, intercrop trials, lupine project, narrow-leaved lupin, phenological phases, small farming.

Resumen

El “Proyecto de Investigación y Transferencia de Tecnología del Lupino”, desarrollado por CREAN, identificó áreas óptimas, marginales e inadecuadas para el cultivo de lupino blanco (*Lupinus albus* L.) en Argentina. En los últimos 20 años, se difundió un paquete agrotecnológico que permitió la transición del cultivo de lupino blanco de parcelas experimentales a producción a mayor escala. Con base en esta experiencia, se inició un nuevo proyecto para introducir el lupino de hoja estrecha (*Lupinus angustifolius* L.) como cultivo productivo para múltiples usos. Se evaluaron los siguientes sistemas de producción: (1) cultivo en contenedores como plantas ornamentales para jardines decorativos; (2) ensayos de campo experimentales para evaluar el desempeño del cultivo y proporcionar una alternativa para áreas con suelos Entisol; y (3) cultivo intercalado con trigo (*Triticum aestivum* L.) en pequeñas fincas y huertos familiares para obtener dos productos de grano para consumo, venta o procesamiento. Las semillas de cv. Caro, obtenidas del Instituto de Genética Vegetal de Polonia, se desinfectaron e inocularon antes de la siembra. En todos los ensayos, realizados con tres repeticiones, se evaluaron las etapas fenológicas, los rasgos fenométricos, el índice de área foliar y la acumulación de materia seca a lo largo del ciclo del cultivo. Los experimentos en contenedores se realizaron en bolsas de polietileno negro rellenas con un sustrato compuesto por un 50 % de arena fina y un 50 % de suelo esterilizado, bajo condiciones de riego controlado. Los ensayos de campo se establecieron en parcelas de 126 m² con una densidad de 27,7 plantas m⁻² en condiciones de secano. Los ensayos de cultivo intercalado se dispusieron en hileras alternas de lupino y trigo, con dos fechas de siembra, en parcelas de 5 × 4 m espaciadas a 30 cm entre hileras, con control manual de malezas. En los ensayos en contenedores, las plantas alcanzaron la etapa V10 completa (final de la etapa vegetativa) aproximadamente a los 52 días después de la siembra, en comparación con unos 80 días en condiciones de campo. El crecimiento fue uniforme en tamaño de planta y etapa de desarrollo, lo que indica una buena adaptación del cultivar a la producción en contenedores en ambientes controlados. En ensayos de campo, la siembra tardía (mayo) acortó la fase vegetativa en comparación con la siembra temprana (abril), aunque no se observaron diferencias significativas durante las etapas reproductivas R1-R4. El rendimiento de grano se vio notablemente afectado por la fecha de siembra: la primera siembra produjo 2996 kg ha⁻¹, mientras que la segunda produjo 1831 kg ha⁻¹. Los ensayos de cultivos intercalados arrojaron resultados variables según la fecha de siembra y la etapa de desarrollo del cultivo, lo que complica la gestión a gran escala. Sin embargo, esta variabilidad es menos crítica para los sistemas de huertos familiares, donde la flexibilidad de manejo es mayor. En conclusión, se recomienda la siembra temprana en condiciones de secano para maximizar el rendimiento, mientras que el cultivo en contenedores demuestra potencial para sistemas de producción ornamental y a pequeña escala. El perfeccionamiento de las prácticas de manejo de cultivos facilitará la transferencia de tecnología al sector privado y promoverá el cultivo de lupino para diversos usos productivos.

Palabras clave: paquete agrotecnológico, huertos familiares, ensayos de cultivos intercalados, proyecto de lupino, lupino de hoja estrecha, fases fenológicas, agricultura a pequeña escala

Agronomic utilization of two wild legumes from Mexico's central plateau: *Lupinus bilineatus* and *Lupinus exaltatus*, a sustainable option for soil improvement / Utilización agronómica de dos leguminosas silvestres del centro de México: *Lupinus bilineatus* y *Lupinus exaltatus*, una opción sostenible para la mejora del suelo

Jacob Antonio González^{1*}, Kalina Bermúdez Torres², Miguel Ángel Gallegos Robles³, Jorge Alberto Alejandro-Rosas⁴

¹Secretaría de Educación Pública-DGETAyCM, Parque Administrativo Cuauhtémoc Colonia Exhacienda la Magdalena, Toluca de Lerdo, México

² Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México

³ Universidad Politécnica de la Región Laguna, México.

⁴ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Orizaba, Veracruz, México

*Corresponding author email: jacobantonio1@dgetaycm.sems.gob.mx

Abstract

Lupinus bilineatus and *Lupinus exaltatus* are wild legumes in Mexico of significant value as a genetic resource, possessing the capacity to facilitate the rehabilitation of degraded soils through their ability to fix nitrogen. Since 2021, systematic efforts have been made toward their agronomic development, seeking to establish technical foundations for their management and utilization in sustainable agricultural systems. The study was conducted in Papalotla, Mexico (19° 33' 53" N and 98° 51' 49" W) at an elevation of 2268 masl under seasonal conditions. The germplasm utilized in this study was obtained from its natural habitat: *L. bilineatus* from Tres Marías, Huitzilac, Morelos (2849 masl) and *L. exaltatus* from the foothills of Nevado de Colima, Ciudad Guzmán, Jalisco (1770 masl). The production of seedlings was conducted in Styrofoam trays with an inert substrate, and the seedlings were transplanted to the field when the plants reached a height of 7 to 10 centimeters and had true leaves. The experimental design comprised plots with 25 m linear rows and 0.80 m spacing between rows. The planting densities for *L. bilineatus* and *L. exaltatus* were established at 25000 and 31250 plants per hectare, respectively. To circumvent the edge effect, four lateral rows and five meters at the headlands were utilized as borders. The impact of organic matter (OM) and various treatments was assessed over the course of two production cycles (2021–2022 and 2023–2024). Variables such as organic matter, leaf weight, above-ground biomass, plant width, total dry weight, number of nodules, and nitrogen (N) content were measured. A statistical analysis was conducted to assess the presence of significant differences among the experimental treatments. A marginal trend was observed in the plant width variable, with a p-value of approximately 0.08, suggesting a possible but not conclusive difference. However, the incorporation of organic matter (OM) exerted a positive and significant effect on key variables, including leaf weight, the number of leaves, above-ground biomass, plant width, and total dry weight. No significant interaction was detected between the treatments and organic matter, indicating that the beneficial effect of organic matter is consistent and independent of the treatment applied. In relation to the processes of nitrogen fixation and biomass production, the nodules of *L. bilineatus*, when analyzed on a dry weight basis, were found to contain 3.8% total nitrogen. The average green biomass was determined to be 12.46 kg plant⁻¹ (equivalent to 311.6 t ha⁻¹ of green manure) and 59.57 t ha⁻¹ of dry biomass. The nitrogen contribution calculated for the 2021–2022 cycle was 2263.66 kilograms of nitrogen per hectare. For the 2023–2024 cycle, the density-adjusted green biomass was 246 t ha⁻¹ of green manure and 61.7 t ha⁻¹ of dry biomass. In the case of *L. exaltatus*, the nodules weighed 141 g on a dry basis, with 3.18% total N. With organic matter (OM) application, the average green biomass was 1,906 kg plant⁻¹ (59.57 t ha⁻¹

of green manure). In the absence of OM, the mean weight was recorded at 1696 kg plant⁻¹ (53.0 t ha⁻¹). The calculated potential nitrogen contribution was 993.75 kg N ha⁻¹. It was determined that this species is a biennial plant, exhibiting sluggish growth during the initial year and robust development in the subsequent year under moist conditions. The study demonstrated that both species have high potential as high-quality green manures, capable of contributing significant amounts of nitrogen to the soil-plant system. Furthermore, it was demonstrated that the cultivation of *L. bilineatus* and *L. exaltatus* on Mexico's central plateau is viable and represents a sustainable alternative for improving soil fertility. Both species exhibited a high biological capacity for nitrogen fixation and biomass production.

Keywords: biological nitrogen fixation, green manure, nodulation, soil fertility, sustainable agriculture

Resumen

Lupinus bilineatus y *Lupinus exaltatus* son leguminosas silvestres en México de gran valor como recurso genético, con capacidad para facilitar la rehabilitación de suelos degradados gracias a su habilidad para fijar nitrógeno. Desde 2021, se han realizado esfuerzos sistemáticos para su desarrollo agronómico, buscando establecer bases técnicas para su manejo y utilización en sistemas agrícolas sostenibles. El estudio se llevó a cabo en Papalotla, México (19° 33' 53" N y 98° 51' 49" O) a una altitud de 2268 msnm bajo condiciones estacionales. El germoplasma utilizado en este estudio se obtuvo de su hábitat natural: *L. bilineatus* de Tres Marías, Huitzilac, Morelos (2849 msnm) y *L. exaltatus* de las estribaciones del Nevado de Colima, Ciudad Guzmán, Jalisco (1770 msnm). La producción de plántulas se realizó en bandejas de poliestireno expandido con un sustrato inerte, y las plántulas se trasplantaron al campo cuando las plantas alcanzaron una altura de 7 a 10 centímetros y tenían hojas verdaderas. El diseño experimental comprendió parcelas con hileras lineales de 25 m y un espaciamiento de 0,80 m entre hileras. Las densidades de plantación para *L. bilineatus* y *L. exaltatus* se establecieron en 25000 y 31250 plantas por hectárea, respectivamente. Para evitar el efecto de borde, se utilizaron cuatro hileras laterales y cinco metros en las cabeceras como bordes. El impacto de la materia orgánica (MO) y los diversos tratamientos se evaluó a lo largo de dos ciclos de producción (2021-2022 y 2023-2024). Se midieron variables como materia orgánica, peso de las hojas, biomasa aérea, ancho de la planta, peso seco total, número de nódulos y contenido de nitrógeno (N). Se realizó un análisis estadístico para evaluar la presencia de diferencias significativas entre los tratamientos experimentales. Se observó una tendencia marginal en la variable ancho de la planta, con un valor p de aproximadamente 0,08, lo que sugiere una diferencia posible pero no concluyente. Sin embargo, la incorporación de materia orgánica (MO) ejerció un efecto positivo y significativo en variables clave, incluyendo peso de la hoja, número de hojas, biomasa aérea, ancho de la planta y peso seco total. No se detectó interacción significativa entre los tratamientos y la materia orgánica, lo que indica que el efecto beneficioso de la materia orgánica es consistente e independiente del tratamiento aplicado. En relación con los procesos de fijación de nitrógeno y producción de biomasa, los nódulos de *L. bilineatus*, cuando se analizaron en base al peso seco, se encontró que contenían 3,8% de nitrógeno total. La biomasa verde promedio se determinó en 12,46 kg planta⁻¹ (equivalente a 311,6 t ha⁻¹ de abono verde) y 59,57 t ha⁻¹ de biomasa seca. La contribución de nitrógeno calculada para el ciclo 2021–2022 fue de 2263,66 kg ha⁻¹. Para el ciclo 2023–2024, la biomasa verde ajustada por densidad fue de 246 t ha⁻¹ de abono verde y 61,7 t ha⁻¹ de biomasa seca. En el caso de *L. exaltatus*, los nódulos pesaron 141 g en base seca, con 3,18 % de N total. Con la aplicación de materia orgánica (MO), la biomasa verde promedio fue de 1906 kg planta⁻¹ (59,57 t ha⁻¹ de abono verde). En ausencia de MO, el peso medio se registró en 1696 kg planta⁻¹ (53,0 t ha⁻¹). La contribución potencial de nitrógeno calculada fue de 993,75 kg N ha⁻¹. Se determinó que

esta especie es una planta bienal, con un crecimiento lento durante el primer año y un desarrollo vigoroso en el año siguiente bajo condiciones de humedad. El estudio demostró que ambas especies tienen un alto potencial como abonos verdes de alta calidad, capaces de aportar cantidades significativas de nitrógeno al sistema suelo-planta. Además, se demostró que el cultivo de *L. bilineatus* y *L. exaltatus* en el altiplano central de México es viable y representa una alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo. Ambas especies mostraron una alta capacidad biológica para la fijación de nitrógeno y la producción de biomasa.

Palabras clave: fijación biológica de nitrógeno, abono verde, nodulación, fertilidad del suelo, agricultura sostenible

Evaluation of agronomic parameters of *Lupinus exaltatus* and *Lupinus campestris* under two establishment conditions / Evaluación de parámetros agronómicos de *Lupinus exaltatus* y *Lupinus campestris* bajo dos condiciones de establecimiento

Carmen Yazmin Rojas Cardona^{1*}, Kalina Bermúdez Torres¹, Jacob Antonio González²

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México

²DGETAYCM-Secretaría de educación Pública, Col. Ex Hacienda La Magdalena, Toluca de Lerdo, Estado de México.

*Corresponding author email: crojas2400@alumno.ipn.mx

Abstract

The genus *Lupinus* is a group of legumes of high value in Mexico due to its high protein content, its capacity for biological nitrogen fixation, and the presence of quinolizidine alkaloids (QAs) with high potential for the agro-industry. The country is home to more than 100 species, predominantly found in mountainous regions. Despite their ecological significance, the transition of these species from wild conditions to agricultural production systems necessitates an understanding of their physiological and agronomic responses to diverse environmental conditions. The objective of this study was to determine the agronomic parameters and biomass partitioning of *L. exaltatus* and *L. campestris* under two establishment conditions: pots and open fields. The study was conducted during the February 2025–February 2026 growing season at the INIFAP-Santa Lucia and OCIMA-INIFAP in Texcoco, Estado de Mexico. Growth variables such as plant height, stem diameter, number of branches, number of flowers, pods, and total grain yield were evaluated. Phenology and biomass accumulation were also monitored through destructive sampling, which entailed the separation of plants into roots, nodules, stems, and leaves. The chlorophyll index and symbiotic efficiency by characterizing root nodules were determined. The results of the study demonstrate that open field cultivation promoted agronomic development in both species, exhibiting enhanced vegetative growth and biomass accumulation in comparison to the pot system. *Lupinus exaltatus* demonstrated superior vegetative vigor in the field, reaching heights of 129 cm compared to 75 cm in pots, while *L. campestris* exhibited no significant differences in height between the two environments. Regarding overall yield, both species demonstrated optimal performance in open fields. With respect to the symbiotic response, a significant disparity in nodule morphology was observed between the two environments. In field conditions, the nodules manifested increased volume and a localized distribution on the main root. Conversely, potted plants exhibited increased nodule density, albeit with reduced individual nodule size. It is concluded that the environmental conditions of Texcoco allow for the expression of the productive potential of these species, with the field system being the most suitable for their domestication and future agro-industrial use. However, the potential of potted plants as ornamentals should not be overlooked. These plants could be integrated into urban landscaping and conservation efforts, diversifying economic opportunities while supporting the preservation of Mexico's native resources.

Keywords: *Lupinus*, dry biomass, nodulation, biological nitrogen fixation, cultivation systems

Resumen

El género *Lupinus* es un grupo de leguminosas de gran valor en México debido a su alto contenido proteico, su capacidad de fijación biológica de nitrógeno y la presencia de alcaloides quinolizidínicos (AC) con alto potencial para la agroindustria. El país alberga más de 100 especies, que se encuentran predominantemente en regiones montañosas. A pesar de su importancia ecológica, la transición de estas especies de condiciones silvestres a sistemas de producción agrícola requiere comprender sus respuestas fisiológicas y agronómicas a diversas condiciones ambientales. El objetivo de este estudio fue determinar los parámetros agronómicos y la partición de biomasa de *L. exaltatus* y *L. campestris* bajo dos condiciones de establecimiento: macetas y campo abierto. El estudio se realizó durante la temporada de crecimiento de febrero de 2025 a febrero de 2026 en el INIFAP-Santa Lucía y OCIMA-INIFAP en Texcoco, Estado de México. Se evaluaron variables de crecimiento tales como altura de la planta, diámetro del tallo, número de ramas, número de flores, vainas y rendimiento total de grano. La fenología y la acumulación de biomasa también se monitorearon mediante muestreo destructivo, que implicó la separación de las plantas en raíces, nódulos, tallos y hojas. Se determinó el índice de clorofila y la eficiencia simbiótica mediante la caracterización de los nódulos radiculares. Los resultados del estudio demuestran que el cultivo en campo abierto promovió el desarrollo agronómico en ambas especies, exhibiendo un mayor crecimiento vegetativo y acumulación de biomasa en comparación con el sistema de macetas. *Lupinus exaltatus* demostró un vigor vegetativo superior en el campo, alcanzando alturas de 129 cm en comparación con 75 cm en macetas, mientras que *L. campestris* no mostró diferencias significativas en altura entre los dos ambientes. En cuanto al rendimiento general, ambas especies demostraron un desempeño óptimo en campo abierto. Con respecto a la respuesta simbiótica, se observó una disparidad significativa en la morfología de los nódulos entre los dos ambientes. En condiciones de campo, los nódulos manifestaron un mayor volumen y una distribución localizada en la raíz principal. Por el contrario, las plantas en macetas exhibieron una mayor densidad de nódulos, aunque con un tamaño individual reducido de los mismos. Se concluye que las condiciones ambientales de Texcoco permiten la expresión del potencial productivo de estas especies, siendo el sistema de campo el más adecuado para su domesticación y futuro uso agroindustrial. Sin embargo, no debe subestimarse el potencial de las plantas en maceta como ornamentales. Estas plantas podrían integrarse al paisajismo urbano y a las iniciativas de conservación, diversificando las oportunidades económicas y apoyando la preservación de los recursos nativos de México.

Palabras clave: lupinus, biomasa seca, nodulación, fijación biológica de nitrógeno, sistemas de cultivo

Evaluation of the biological nitrogen fixation of three lupine species at the Santa Catalina Experimental Station of INIAP / Evaluación de la fijación biológica de nitrógeno de tres especies de lupino en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP

Marco Araujo, Edwin Cruz, María Augusta Piedra, Robinson Guanotoa, José Velásquez

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Producción de Semilla, Cutuglagua, Ecuador

*Corresponding author email: marco.araujo@iniap.gob.ec

Abstract

Agricultural production is an essential activity for the economies of many countries worldwide. In Ecuador, this sector contributes significantly to the Gross Domestic Product (GDP), representing 7.7% of the national total. However, agricultural production in the country exhibits marked variability due to increased production costs caused by the high price of fertilizers and the overuse of agrochemicals. This leads to a series of problems, such as nutrient depletion, erosion, soil compaction and salinization, and air, soil, and water pollution, with negative effects on the health of living beings. To address these challenges, it is necessary to optimize the resources available for agricultural production in the country, using native crops and species adapted to our regions. The lupin (*Lupinus mutabilis* S.) is one of the legumes with the greatest economic and social impact due to its versatility and adaptability to various areas. Lupin is presented as a good alternative in the diet due to its high content of protein (47.8% in dry grain), carbohydrates, fat, minerals, and fiber. Furthermore, lupin has the capacity to fix nitrogen due to the symbiotic association between its roots and native soil bacteria. This allows these bacteria to take nitrogen from the air and transform it into ammonium (NH₄⁺), resulting in increased aboveground biomass production, nitrogen content in vegetative tissues, and improved photosynthesis and crop yield potential. Based on this background, a study was conducted at the Santa Catalina Experimental Station to evaluate the effect of biological nitrogen fixation in the soil through the establishment of three lupin species (*L. albus*, *L. mutabilis*, and *L. angustifolius*). The trial was implemented using a completely randomized design (CRBD) with three treatments and four replicates on a 1272 m² plot. The results of the study were based on the analysis of the harvest index (HI), a parameter that allowed the establishment of the relationship between grain yield and total biomass of each species, and how each species contributes atmospheric nitrogen (N) to the soil. This analysis showed that *L. mutabilis* contributed the most N compared to the other species, with a total of 197.1 kg ha⁻¹, sufficient for the establishment and development of any other crop requiring high levels of nitrogen fertilization.

Keywords: symbiotic, fertilization, harvest index, biomass, versatility

Resumen

La producción agrícola constituye una actividad esencial para la economía de varios países a nivel mundial. En el Ecuador, este sector contribuye de manera significativa al Producto Interno Bruto (PBI) representando el 7,7% del total nacional. No obstante, la producción agrícola en el país presenta una marcada variabilidad por el aumento en los costos de producción por el alto precio de los fertilizantes y el abuso en la aplicación de agroquímicos; provocando una serie de problemas, como: el agotamiento de los nutrientes, la erosión, compactación, salinización del suelo; la contaminación del aire, tierra, agua y sus efectos en la salud de los seres vivos. Para enfrentar estos desafíos, es necesario considerar la optimización

de los recursos disponibles para la producción agropecuaria en el país, con cultivos y especies propias las cuales se encuentran adaptadas a nuestras zonas, donde el chocho (*Lupinus mutabilis* S.) es una de las leguminosas con mayor impacto económico y social, por su versatilidad en su uso y adaptabilidad a varias zonas. El chocho se presenta como una buena alternativa en la dieta alimenticia por su alto contenido de proteínas (47,8 % en grano seco), carbohidratos, grasa, minerales y fibra. Además, el chocho tiene la capacidad de fijar nitrógeno debido a la asociación simbiótica entre raíces y bacterias nativas del suelo, permitiendo que estas bacterias tomen N del aire y lo transformen en amonio (NH_4^+), reflejándose en un incremento en la producción de biomasa aérea, contenido de nitrógeno en los tejidos vegetativos, favoreciendo la fotosíntesis y el rendimiento potencial del cultivo. Con antecedentes se desarrolló un estudio en la Estación Experimental Santa Catalina con el objetivo de evaluar el efecto de la fijación biológica del nitrógeno al suelo mediante el establecimiento de 3 especies de Lupinos (*L. albus*, *L. mutabilis* y *L. angustifolius*). El ensayo se implementó bajo un diseño completamente al azar DBCA con 3 tratamientos y 4 repeticiones en una superficie de 1 272 m². Los resultados del estudio se basaron en el análisis del índice de Cosecha (IC), parámetro que permitió establecer la relación entre el grano y la biomasa total de cada especie, y como cada una de ellas aporta N atmosférico al suelo. De esta manera se evidenció que la especie de *L. mutabilis* es la que mayor aporte de N tuvo con respecto a las demás especies con un total de 197,1 kg ha⁻¹, suficiente para el establecimiento y desarrollo de cualquier otro cultivo que requiera niveles altos de fertilización nitrogenada.

Palabras clave: simbiótica, fertilización, índice de cosecha, biomasa, versatilidad

Evaluation of the effect of fertilization and sowing date on lupin (*Lupinus mutabilis*) grain yield in Sigchos, Ecuador / Evaluación del efecto de la fertilización y la fecha de siembra en el rendimiento de grano de lupino (*Lupinus mutabilis*) en Sigchos, Ecuador

Victoria López Guerrero^{1*}, Diego Rodríguez², Laura Vega², Diego Montalvo³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, Unidad de Desarrollo Tecnológico, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador

²INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Cutuglagua, Ecuador

³Fundación Maquita, Cotopaxi, Ecuador

*Corresponding author email: victoria.lopez@iniap.gob.ec

Abstract

Lupin (*Lupinus mutabilis*) is a high-value Andean legume crucial for food security in Ecuador. In the Sigchos canton (Cotopaxi), the main production area, yields are low (averaging 600 kg ha⁻¹) due to limited technological input, low-fertility soils, and issues such as flower abortion caused by strong winds. In response to growing demand, this study evaluated the effect of five fertilization levels and two sowing dates on crop yield, aiming to generate technologies to enhance productivity. The improved variety INIAP 450 Andino was used in a split-plot design arranged in randomized complete blocks with three replications. The study was conducted across four locations in the Sigchos canton (La Provincia, El Salado, Chinalo Bajo, and Chasualó). Two sowing dates were evaluated: e1 (late March, low wind presence) and e2 (late April, moderate wind presence). In three locations, five fertilization levels were assessed: unfertilized control (T), medium level (M), medium level with foliar fertilization (MF), high level (A), and high level with foliar fertilization (AF). In one location (Chasualó), at the farmers' request, only the effect of sowing date was evaluated. Measured variables included: number of pods per plant, plant height, days to harvest, and grain yield per plant. Analysis of variance (ANOVA) and mean separation tests (Tukey and Fisher) were performed, followed by a combined location analysis and a cost-benefit analysis. ANOVA showed that both fertilization and sowing date had a highly significant effect ($p < 0.001$) on the number of pods and grain yield. The interaction between factors was not significant. In the combined analysis, all fertilization treatments (AF, A, MF, and M) significantly outperformed the control (T) in grain yield. The highest yields were recorded with treatments A (47.6 g plant⁻¹) and AF (46.4 g plant⁻¹), tripling the values of the control (14.9 g plant⁻¹). Sowing date was a determining factor: sowing in March (e1) doubled the yield (46.6 g plant⁻¹) compared to sowing in April (e2: 25.6 g plant⁻¹). This effect is attributed to lower wind incidence during flowering in the first sowing date. Significant differences were observed among locations, attributed to variations in altitude and soil characteristics. The cost-benefit analysis revealed that all fertilized treatments were profitable (B/C ratio > 1), with treatments A and MF showing the highest ratios (4.37 and 4.30, respectively), due to their optimal balance between higher yield and lower production costs compared to AF. The application of fertilization, combined with an appropriate choice of sowing date (late March), are key practices to significantly increase lupin yield in low-fertility soils. Treatments with high fertilization levels (A) and medium levels supplemented with foliar applications (MF) offer the best cost-benefit ratio, representing a technically and economically viable strategy for producers in the community of Sigchos.

Keywords: Sigchos, lupin, chocho, yield increase, profitability

Resumen

El chocho (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa andina de alto valor para la seguridad alimentaria en Ecuador. En el cantón de Sigchos (Cotopaxi), la principal zona de producción, los rendimientos son bajos (promedio de 600 kg ha⁻¹) debido a la limitada tecnología, la baja fertilidad del suelo y problemas como el aborto floral causado por vientos fuertes. En respuesta a la creciente demanda, este estudio evaluó el efecto de cinco niveles de fertilización y dos fechas de siembra en el rendimiento del cultivo, con el objetivo de generar tecnologías para mejorar la productividad. Se utilizó la variedad mejorada INIAP 450 Andino en un diseño de parcelas divididas dispuestas en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. El estudio se realizó en cuatro localidades del cantón de Sigchos (La Provincia, El Salado, Chinalo Bajo y Chasualó). Se evaluaron dos fechas de siembra: e1 (finales de marzo, baja presencia de viento) y e2 (finales de abril, presencia moderada de viento). En tres localidades, se evaluaron cinco niveles de fertilización: control sin fertilizar (T), nivel medio (M), nivel medio con fertilización foliar (MF), nivel alto (A) y nivel alto con fertilización foliar (AF). En una localidad (Chasualó), a petición de los agricultores, solo se evaluó el efecto de la fecha de siembra. Las variables medidas incluyeron: número de vainas por planta, altura de la planta, días hasta la cosecha y rendimiento de grano por planta. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de separación de medias (Tukey y Fisher), seguido de un análisis combinado de localidades y un análisis de costo-beneficio. El ANOVA mostró que tanto la fertilización como la fecha de siembra tuvieron un efecto altamente significativo ($p < 0,001$) en el número de vainas y el rendimiento de grano. La interacción entre los factores no fue significativa. En el análisis combinado, todos los tratamientos de fertilización (AF, A, MF y M) superaron significativamente al control (T) en rendimiento de grano. Los mayores rendimientos se registraron con los tratamientos A (47,6 g planta⁻¹) y AF (46,4 g planta⁻¹), triplicando los valores del control (14,9 g planta⁻¹). La fecha de siembra fue un factor determinante: la siembra en marzo (e1) duplicó el rendimiento (46,6 g planta⁻¹) en comparación con la siembra en abril (e2: 25,6 g planta⁻¹). Este efecto se atribuye a una menor incidencia de viento durante la floración en la primera fecha de siembra. Se observaron diferencias significativas entre las localidades, atribuidas a variaciones en la altitud y las características del suelo. El análisis costo-beneficio reveló que todos los tratamientos fertilizados fueron rentables (relación B/C > 1), con los tratamientos A y MF mostrando las relaciones más altas (4,37 y 4,30, respectivamente), debido a su equilibrio óptimo entre mayor rendimiento y menores costos de producción en comparación con AF. La aplicación de fertilizantes, combinada con una fecha de siembra adecuada (finales de marzo), son prácticas clave para incrementar significativamente el rendimiento del altramuz en suelos de baja fertilidad. Los tratamientos con altos niveles de fertilización (A) y niveles medios complementados con aplicaciones foliares (MF) ofrecen la mejor relación costo-beneficio, representando una estrategia técnica y económicamente viable para los productores de la comunidad de Sigchos.

Palabras clave: Sigchos, lupino, chocho, aumento de rendimiento, rentabilidad

Plastic mulching effects on the production of lupin (*Lupinus mutabilis* S.) / Efectos del acolchado plástico en la producción de chocho (*Lupinus mutabilis* S.)

Laura Vega¹, José L. Zambrano^{2*}, Diego Rodríguez¹, Carlos Sangoquiza³, Cristian Subía^{3*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, Estación Experimental Santa Catalina – EESC, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Cutuglagua, Ecuador

²Ingeniería en Agroempresa, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Cumbayá, Ecuador

³INIAP, EESC, Programa Nacional de Maíz, Cutuglagua, Ecuador

*Corresponding author email: jlzambrano@usfq.edu.ec; cristian.subia@iniap.gob.ec

Abstract

Lupin (chocho) is a legume native to the Andean region and plays an important role in the production systems of small- and medium-scale farmers in the Ecuadorian Highlands. It is highly valued for its nutritional content, particularly as a significant source of dietary protein. However, the expected impacts of climate change—such as increased drought and low temperatures—pose a serious threat to food and nutritional security, especially in marginalized areas of the Andes. In this context, it is essential to evaluate protected agriculture techniques, such as plastic mulching, which can help conserve soil moisture and regulate temperature, thereby improving crop productivity. The objective of this study was to evaluate the effect of plastic mulch on lupin production at the INIAP Santa Catalina Experimental Station, located at 3,050 meters above sea level in a mesothermal equatorial climate. The lupin variety INIAP 450 Andino was used, and two factors were studied: planting system (mulched and conventional) and planting density—D1 (66 666 plants ha⁻¹), D2 (111 110 plants ha⁻¹), and D3 (133 332 plants ha⁻¹). The variables evaluated included the number of pods per stem (NPS), days to harvest (DH), and grain weight per plant (GW). The results showed a clear trend of increasing productivity as planting density increased, particularly under the mulched system. At the highest density (D3), the mulched treatment achieved the highest values for NPS (49.5 ± 3.5) and GW (35.4 ± 7.4 g), significantly outperforming the non-mulched system (32.0 ± 0.6 and 22.0 ± 2.8 g, respectively). This corresponds to increases of up to 55% in NPS and 61% in GW, demonstrating a strong positive response of the crop to both higher planting density and the use of plastic mulch. Regarding days to harvest (DH), the mulched system reduced the crop cycle. This suggests that plastic mulch may help regulate soil temperature and moisture, promoting better plant development, increased pod formation, and greater grain production. Overall, the use of plastic mulch, combined with an appropriate planting density (D3), improved lupin yield. These findings indicate that intensifying the production system through higher planting densities and the adoption of mulching technology is a viable strategy to enhance crop productivity and mitigate the adverse effects of climate change.

Keywords: climate change, sustainable intensification, mulch, yield, tarwi.

Resumen

El chocho (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa originaria de la región andina, importante en los sistemas de producción de pequeños y medianos agricultores de la Sierra Ecuatoriana. Es reconocida por su alto valor nutricional, lo que la convierte en una de las fuentes más importantes de proteína para la alimentación. El impacto esperado por los efectos del cambio climático, como la sequía y el frío, ponen en riesgo la seguridad alimentaria y nutricional de gran parte de la población, sobre todo en lugares marginales de la región interandina. Ante este escenario, es importante evaluar técnicas de agricultura protegida, como el uso del acolchado

plástico, que permitan conservar la humedad y el calor del suelo para aumentar el rendimiento del grano. El objetivo de la investigación fue evaluar la técnica del acolchado plástico en la producción de chocho en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, situada a 3050 metros sobre el nivel del mar, en un clima ecuatorial mesotérmico. Se cultivó la variedad de chocho INAP 450 Andino y se consideraron dos factores en estudio: sistema de siembra (acolchado y convencional) y densidad de siembra: D1 (66 666 plantas ha⁻¹), D2 (111 110 plantas ha⁻¹) y D3 (133 332 plantas ha⁻¹), considerando como variables el número de vainas por tallo (NVT), días a cosecha (DC) y peso de granos por planta (PP). Los resultados demostraron una tendencia clara de incremento en las variables productivas a medida que aumenta la densidad de siembra, especialmente bajo el sistema de acolchado. En la densidad más alta (D3), el sistema con acolchado alcanzó los mayores valores de NVT ($49,5 \pm 3,5$) y PP ($35,4 \pm 7,4$ g), superando notablemente al sistema sin acolchado ($32,0 \pm 0,6$ y $22,0 \pm 2,8$ g, respectivamente). Este comportamiento representó incrementos de hasta un 55% en NVT y 61% en PP, lo que demuestra una respuesta positiva del cultivo tanto al aumento de densidad y al uso del acolchado plástico. En cuanto a los días a cosecha (DC), el acolchado tendió a reducir el ciclo del cultivo. Esto sugiere un posible efecto del acolchado en la regulación de la temperatura y humedad del suelo, favoreciendo un desarrollo más eficiente del cultivo. El uso de acolchado plástico, combinado con una adecuada densidad de siembra (D3), mejoró significativamente el rendimiento del chocho, evidenciado en incrementos en el número de vainas y el peso de grano por planta. Estos resultados sugieren que la intensificación del sistema productivo, mediante el aumento de densidad y el uso de tecnologías como el acolchado, constituye una estrategia viable para optimizar la productividad del cultivo y enfrentar las amenazas del cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, intensificación sostenible, mulch, rendimiento, tarwi.

Microparticulation of lupin protein-based fat replacers: influence of thermomechanical treatment on particle size and performance in reduced-fat sauces / Microparticulación de sustitutos de grasa a base de proteína de lupino: influencia del tratamiento termomecánico en el tamaño de partícula y el rendimiento en salsas bajas en grasa

Verena Schmidt*, Christina Opaluwa, Anna Maria Tschigg

Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging IVV, Freising, Germany

*Corresponding author email: verena.schmidt@ivv.fraunhofer.de

Abstract

Together with physical inactivity, a high fat intake is a significant factor contributing to the increasing prevalence of diet-related diseases, yet fat plays a key role in delivering a creamy mouthfeel and concomitant consumer acceptance in many foods. This study investigated the thermomechanical microparticulation of lupin (*Lupinus angustifolius*) protein as a plant-based fat replacer, aiming to reduce fat content in sauces by 50% while maintaining acceptable texture. The work addressed how process route and parameters affect the particle size distribution of lupin protein microparticles and how these structural changes steer the rheological, tribological, and sensory properties of reduced-fat mayonnaise-type sauces. A lupin protein ingredient produced by aqueous extraction and isoelectric precipitation was dispersed in water to yield a protein concentration of 10% and subjected to two different microparticulation processes: (i) simultaneous thermomechanical treatment in a co-rotating twin-screw extruder operated at barrel temperatures of 70–100 °C and screw speeds of 400–1000 rpm, and (ii) sequential heating in a heat exchanger (70–100 °C, 10 min holding time) followed by two-stage high-pressure homogenization at 250–500 bar. The pH of the dispersions was adjusted to values between 4 and 7 prior to processing. Particle size distributions of the resulting dispersions were determined by laser diffraction, and thermal properties were characterized by differential scanning calorimetry. Selected microparticulate lupin ingredients were spray-dried, and particle size was re-analyzed after drying. The most promising lupin microparticulate were incorporated into mayonnaise to replace 50% of the fat phase. Full-fat mayonnaise and a reduced-fat control formulated with the untreated lupin protein served as references. The samples were analyzed for texture, tribology (ball-on-three-pins set-up) and sensory properties, as well as evaluation by a consumer panel (n = 12). Both extrusion and the combination of the heat exchanger and high-pressure homogenization caused denaturation and produced microparticles within the target size range of 1–10 µm, comparable to emulsified fat droplets. In the extrusion process, increasing barrel temperature and screw speed generally reduced particle size, whereas approaching the isoelectric point of lupin protein (pH 4.5–5.0) caused extensive aggregation, yielding particles larger than 10 µm. Sequential heating and homogenization also yielded particle sizes within the desired range, but the distributions were broader and often bimodal, with a pronounced small-particle fraction (<0.1 µm), particularly at higher pressures. Spray drying did not measurably affect the particle size distribution of the microparticulate products. Incorporation of extruded or homogenized lupin microparticles into mayonnaise reduced the energy content from 551 to 300 kcal per 100 g while improving texture compared with the reduced-fat control formulated with untreated protein. Fat-reduced mayonnaises containing lupin microparticles were rated as firmer, less watery, less sandy and overall creamier than the reduced-fat control by the consumer panel, in line with their higher viscosity and lower friction coefficients. Nevertheless, all fat-reduced mayonnaises were still perceived as less creamy, more watery and sandier than the full-fat reference. In addition, the lupin-based ingredients imparted a pronounced plant-like flavor,

with bitter, cereal-like, and green-grassy notes across all reduced-fat products. Comparative measurements with a commercial microparticulate whey protein fat replacer demonstrated that the plant-based lupin microparticulates provided superior textural performance in fat-reduced model foods. The results show that thermomechanical microparticulation of lupin protein is a promising strategy for designing plant-based fat replacers that partially compensate for the loss of creaminess in fat-reduced sauces while achieving substantial fat and energy reduction, and that process parameter control allows tailoring of microparticle size to the critical 1–10 μm range.

Keywords: lupin protein, plant-based fat replacer, microparticulation, extrusion, high-pressure homogenization, particle size, reduced-fat mayonnaise, texture, tribology

Resumen

Junto con la inactividad física, una alta ingesta de grasas es un factor significativo que contribuye al aumento de la prevalencia de enfermedades relacionadas con la dieta. Sin embargo, la grasa desempeña un papel fundamental en la textura cremosa y la consiguiente aceptación por parte del consumidor en muchos alimentos. Este estudio investigó la microparticulación termomecánica de la proteína de lupino (*Lupinus angustifolius*) como sustituto de la grasa de origen vegetal, con el objetivo de reducir el contenido de grasa en salsas en un 50 % manteniendo una textura aceptable. El trabajo analizó cómo la ruta y los parámetros del proceso afectan la distribución del tamaño de las micropartículas de proteína de lupino y cómo estos cambios estructurales influyen en las propiedades reológicas, tribológicas y sensoriales de las salsas tipo mayonesa bajas en grasa. Un ingrediente de proteína de lupino producido por extracción acuosa y precipitación isoelectrica se dispersó en agua para obtener una concentración de proteína del 10 % y se sometió a dos procesos de microparticulación diferentes: (i) tratamiento termomecánico simultáneo en una extrusora de doble husillo corrotante operada a temperaturas de barril de 70–100 °C y velocidades de husillo de 400–1000 rpm, y (ii) calentamiento secuencial en un intercambiador de calor (70–100 °C, tiempo de mantenimiento de 10 min) seguido de homogeneización a alta presión en dos etapas a 250–500 bar. El pH de las dispersiones se ajustó a valores entre 4 y 7 antes del procesamiento. Las distribuciones del tamaño de partícula de las dispersiones resultantes se determinaron por difracción láser, y las propiedades térmicas se caracterizaron por calorimetría diferencial de barrido. Los ingredientes de lupino microparticulados seleccionados se secaron por pulverización, y el tamaño de partícula se volvió a analizar después del secado. Las micropartículas de lupino más prometedoras se incorporaron a la mayonesa para reemplazar el 50% de la fase grasa. La mayonesa con toda la grasa y un control bajo en grasa formulado con la proteína de lupino sin tratar sirvieron como referencias. Las muestras se analizaron en cuanto a textura, tribología (configuración de bola sobre tres pines) y propiedades sensoriales, así como la evaluación por un panel de consumidores (n = 12). Tanto la extrusión como la combinación del intercambiador de calor y la homogeneización a alta presión causaron desnaturalización y produjeron micropartículas dentro del rango de tamaño objetivo de 1–10 μm , comparable a las gotas de grasa emulsionada. En el proceso de extrusión, el aumento de la temperatura del cilindro y la velocidad del tornillo generalmente redujeron el tamaño de partícula, mientras que acercarse al punto isoelectrico de la proteína de lupino (pH 4,5–5,0) causó una agregación extensa, produciendo partículas mayores de 10 μm . El calentamiento y la homogeneización secuenciales también produjeron tamaños de partícula dentro del rango deseado, pero las distribuciones fueron más amplias y a menudo bimodales, con una fracción de partículas pequeñas pronunciada (<0,1 μm), particularmente a presiones más altas. El secado por aspersión no afectó de manera apreciable la distribución del tamaño de partícula de los productos microparticulados. La incorporación de micropartículas de lupino extruidas u

homogeneizadas en la mayonesa redujo el contenido energético de 551 a 300 kcal por 100 g, al tiempo que mejoró la textura en comparación con el control bajo en grasa formulado con proteína sin tratar. Las mayonesas bajas en grasa que contenían micropartículas de lupino fueron calificadas como más firmes, menos acuosas, menos arenosas y en general más cremosas que el control bajo en grasa por el panel de consumidores, en línea con su mayor viscosidad y menores coeficientes de fricción. Sin embargo, todas las mayonesas bajas en grasa fueron percibidas como menos cremosas, más acuosas y más arenosas que la referencia con toda la grasa. Además, los ingredientes a base de lupino aportaron un marcado sabor vegetal, con notas amargas, a cereal y a hierba fresca en todos los productos bajos en grasa. Las mediciones comparativas con un sustituto de grasa de proteína de suero microparticulada comercial demostraron que las micropartículas de altramuz de origen vegetal proporcionaron un rendimiento textural superior en alimentos modelo bajos en grasa. Los resultados muestran que la microparticulación termomecánica de la proteína de lupino es una estrategia prometedora para el diseño de sustitutos de grasa de origen vegetal que compensan parcialmente la pérdida de cremosidad en salsas bajas en grasa, al tiempo que logran una reducción sustancial de grasa y energía. Asimismo, el control de los parámetros del proceso permite ajustar el tamaño de las micropartículas al rango crítico de 1 a 10 μm .

Palabras clave: proteína de lupino, sustituto de grasa de origen vegetal, microparticulación, extrusión, homogeneización a alta presión, tamaño de partícula, mayonesa baja en grasa, textura, tribología

The effect of gibberellic acid as a pre-germination treatment on seeds of two varieties of tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) / Efecto del ácido giberélico como tratamiento previo a la germinación en semillas de dos variedades de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet)

Brandon Santiago Altamirano Quispe¹, Amelia Wite Huaranga Joaquin², Cecilia Emperatriz Figueroa Serrudo²

¹Estación Experimental Agraria Donoso, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima, Perú

²Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

*Corresponding author email: santiagoqa97@gmail.com

Abstract

Tarwi (*Lupinus mutabilis*) is an Andean legume of high nutritional and agronomic value, recognized for its high protein content and its ability to adapt to different agroecological conditions. However, one of the challenges in its propagation is the variability in seed germination, which may affect uniform crop establishment. In this context, the use of gibberellic acid (GA₃) has been proposed as an alternative to improve the germination process. The objective of this study was to evaluate the effect of gibberellic acid (GA₃) as a pregerminative treatment on seeds of two tarwi varieties, Andenes 80 and Altagracia. The seeds used were provided by the Grain and Oilseed Legume Program (PLGO) of the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) and correspond to the 2021 agricultural campaign harvest. The experiment was conducted in the Seed Laboratory of the Instituto Nacional de Innovación Agraria in La Molina. A completely randomized design (CRD) with a 2 × 3 factorial arrangement was used, where the first factor corresponded to the variety (Andenes 80 and Altagracia) and the second factor to the gibberellic acid concentration (0, 500, and 800 ppm), with five replications. The experimental unit consisted of a Petri dish containing 25 seeds, previously immersed in GA₃ solutions for one hour. Germination percentage, germination speed index (GSI), and radicle length were evaluated as indicators of early seedling development. The analysis of variance showed that GA₃ concentration significantly influenced germination percentage ($p = 0.0003$), whereas the variety showed no significant differences ($p = 0.30$), although a significant interaction between both factors was observed ($p = 0.019$). The highest germination percentages were recorded in Altagracia + 500 ppm (100%), Andenes 80 + 500 ppm (96.8%), Andenes 80 without GA₃ (96%), and Altagracia without GA₃ (95.2%), whereas Altagracia + 800 ppm showed the lowest value (77.6%). For the germination speed index, the variety showed a significant effect ($p = 0.048$), whereas GA₃ concentration did not show significant differences ($p = 0.084$). The highest index value was recorded in the treatment Altagracia without GA₃ (1.63). Regarding radicle length, GA₃ concentration showed a highly significant effect ($p < 0.001$) and a significant interaction with the variety ($p = 0.003$), highlighting Altagracia without GA₃ (165.24) as the treatment with the greatest root development. The evaluated tarwi seeds showed high germination capacity under controlled conditions, without requiring pregerminative treatment with gibberellic acid.

Keywords: hormones, germination, germination rate index, root growth

Resumen

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa andina de alto valor nutricional y agronómico, reconocida por su alto contenido proteico y su capacidad de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas. Sin embargo, uno de los desafíos en su propagación es la variabilidad en la germinación de las semillas, que puede afectar el establecimiento uniforme

del cultivo. En este contexto, se ha propuesto el uso de ácido giberélico (GA_3) como alternativa para mejorar el proceso de germinación. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido giberélico (GA_3) como tratamiento pregerminativo en semillas de dos variedades de tarwi: Andenes 80 y Altagracia. Las semillas utilizadas fueron proporcionadas por el Programa de Leguminosas de Grano y Oleaginosas (PLGO) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y corresponden a la cosecha de la campaña agrícola 2021. El experimento se realizó en el Laboratorio de Semillas del Instituto Nacional de Innovación Agraria en La Molina. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con un arreglo factorial de 2×3 , donde el primer factor correspondió a la variedad (Andenes 80 y Altagracia) y el segundo factor a la concentración de ácido giberélico (0, 500 y 800 ppm), con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió en una placa de Petri que contenía 25 semillas, previamente sumergidas en soluciones de GA_3 durante una hora. Se evaluaron el porcentaje de germinación, el índice de velocidad de germinación (IVG) y la longitud de la radícula como indicadores del desarrollo temprano de la plántula. El análisis de varianza mostró que la concentración de GA_3 influyó significativamente en el porcentaje de germinación ($p = 0,0003$), mientras que la variedad no mostró diferencias significativas ($p = 0,30$), aunque se observó una interacción significativa entre ambos factores ($p = 0,019$). Los porcentajes de germinación más altos se registraron en Altagracia + 500 ppm (100%), Andenes 80 + 500 ppm (96,8%), Andenes 80 sin GA_3 (96%) y Altagracia sin GA_3 (95,2%), mientras que Altagracia + 800 ppm mostró el valor más bajo (77,6%). Para el índice de velocidad de germinación, la variedad mostró un efecto significativo ($p = 0,048$), mientras que la concentración de GA_3 no mostró diferencias significativas ($p = 0,084$). El valor del índice más alto se registró en el tratamiento Altagracia sin GA_3 (1,63). Con respecto a la longitud de la radícula, la concentración de GA_3 mostró un efecto altamente significativo ($p < 0,001$) y una interacción significativa con la variedad ($p = 0,003$), destacando Altagracia sin GA_3 (165,24) como el tratamiento con el mayor desarrollo de la raíz. Las semillas de tarwi evaluadas mostraron una alta capacidad de germinación en condiciones controladas, sin necesidad de tratamiento previo a la germinación con ácido giberélico.

Palabras clave: hormonas, germinación, índice de germinación, crecimiento radicular

Nematicidal activity of chocho extract against *Meloidogyne incognita* in tomato crop (*Solanum lycopersicum*) / Actividad nematocida del extracto de chocho contra *Meloidogyne incognita* en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)

Pablo Llumiquinga^{1*}, Rommel Avila², Fernanda Chachaló³, Elena Villacrés¹, María B. Quelal¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Cutuglagua, Ecuador

²Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador

³Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

*Corresponding author email: pablo.llumiquinga@iniap.gob.ec

Abstract

The root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) is a plant parasite that causes a yield reduction of up to 47% in tomato crops in susceptible varieties in Ecuador. One of the alternatives that has been used in several studies is plant extracts that reduce the population densities of several genera of nematodes of economic interest to several crops. Chocho has different secondary metabolites such as alkaloids that have been shown to have insecticidal and nematicide effects. In this research, the nematicide effect of chocho extract was determined as an alternative for controlling *M. incognita* in tomato under laboratory and greenhouse conditions. In the laboratory, a factorial design 3x5+1 with ten replicates was used. The treatments were three plant extracts (chocho, quinoa, neem, and distilled water as a control) with five concentrations (0.05, 0.25, 0.50, 1.25, 3.50 g ml⁻¹) on 50 infectious juveniles of *M. incognita*; the percentage of juvenile mortality and the median lethal dose for each extract were evaluated at 48 and 72 hours. In the greenhouse, the experiment was arranged in a factorial design 3x3+1 where the laboratory extracts were used at three concentrations (2.8, 1.4, and 0.7 g ml⁻¹). The experimental unit was a Sheyla Victory tomato plant in a pot with 4 kg of sterilized soil. The results indicate that plant extracts, especially lupine extract, are effective in controlling *M. incognita in vitro*, achieving 100% mortality in 24 hours. The median lethal dose for lupine extract was very low (0.0557 gml⁻¹ at 72 hours). In greenhouse, lupine extract showed remarkable efficacy in reducing the number of eggs and galls compared to other plant extracts. At a concentration of 2.8 g ml⁻¹, it was the most effective, achieving a significant 87.6% reduction in eggs and larvae/plant compared to the absolute control, outperforming other treatments. In addition, the lupine extract also reduced the number of galls on the roots by 67.60%. It should also be noted that the lupine extract did not have any impact on plant growth and yield. Therefore, the lupine extract is considered an effective option for controlling *M. incognita* compared to the other extracts analyzed.

Keywords: root knot nematode, biological control, chemical ecology

Resumen

El nematodo de la agalla de la raíz (*Meloidogyne incognita*) es un parásito de plantas que causa una reducción del rendimiento de hasta el 47% en cultivos de tomate en variedades susceptibles en Ecuador. Una de las alternativas que se ha utilizado en varios estudios son los extractos de plantas que reducen las densidades de población de varios géneros de nematodos de interés económico para varios cultivos. El chocho tiene diferentes metabolitos secundarios como alcaloides que han demostrado tener efectos insecticidas y nematocidas. En esta investigación, se determinó el efecto nematocida del extracto de chocho como una alternativa para controlar

M. incognita en tomate bajo condiciones de laboratorio e invernadero. En el laboratorio, se utilizó un diseño factorial $3 \times 5 + 1$ con diez réplicas. Los tratamientos fueron tres extractos de plantas (chocho, quinua, neem y agua destilada como control) con cinco concentraciones (0.05, 0.25, 0.50, 1.25, 3.50 g ml⁻¹) en 50 juveniles infecciosos de *M. incognita*; El porcentaje de mortalidad juvenil y la dosis letal media para cada extracto se evaluaron a las 48 y 72 horas. En el invernadero, el experimento se organizó en un diseño factorial $3 \times 3 + 1$ donde los extractos de laboratorio se utilizaron en tres concentraciones (2,8, 1,4 y 0,7 g ml⁻¹). La unidad experimental fue una planta de tomate Sheyla Victory en una maceta con 4 kg de suelo esterilizado. Los resultados indican que los extractos de plantas, especialmente el extracto de lupino, son efectivos para controlar *M. incognita* in vitro, logrando una mortalidad del 100% en 24 horas. La dosis letal media para el extracto de lupino fue muy baja (0,0557 gml⁻¹ a las 72 horas). En el invernadero, el extracto de lupino mostró una eficacia notable en la reducción del número de huevos y agallas en comparación con otros extractos de plantas. A una concentración de 2,8 g ml⁻¹, fue el más efectivo, logrando una reducción significativa del 87,6% en huevos y larvas/planta en comparación con el control absoluto, superando a otros tratamientos. Además, el extracto de lupino redujo el número de agallas en las raíces en un 67,60%. Cabe destacar que el extracto de lupino no tuvo ningún impacto en el crecimiento ni en el rendimiento de la planta. Por lo tanto, el extracto de lupino se considera una opción eficaz para el control de *M. incognita* en comparación con los demás extractos analizados.

Palabras clave: nematodo de agallas, control biológico, ecología química

Leaf plasticity of Mexican *Lupinus* species / Plasticidad foliar de especies mexicanas de *Lupinus*

María Corona Rangel^{1*}, Estefanía Carbajal Peña², Kalina Bermúdez Torres¹

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec Morelos, México

²Instituto Tecnológico Nacional de México, campus Zacatepec, Zacatepec Morelos, México

*Corresponding author email: mcorona@ipn.mx

Abstract

The genus *Lupinus* in Mexico comprises approximately 60 species distributed across diverse environments, from coastal dunes (5 m a.s.l.) to subalpine zones (>4000 masl), resulting in notable leaf morphological plasticity. This study evaluated leaf morphological variation in *Lupinus* species from three regions of Mexico: the Baja California peninsula (BC) with 10 species (14-2628 masl) associated with xerophytic scrub, mountain chaparral and pine-oak forest; the Iztaccíhuatl–Popocatepetl National Park (PIP), with six species (2600-4147 masl) in secondary vegetation, pine oak forest and alpine grasslands and Pico de Orizaba (PO), with three species (2493-4387 masl) in high-mountain environments. Thirty fully developed leaves (nomophylls) were collected from each species, which were pressed and digitized for morphometric analysis using ImageJ (v1.54p). Stipule and petiole length, leaflet number and leaflet length and width were recorded. Leaf morphology varied among species with the longest stipules in *Lupinus montanus* (PIP and PO) and the longest petioles in *L. excubitus* (BC) (13.47 ± 3.82 cm) and *L. montanus* (11.57 ± 0.11 cm). The number of leaflets was relatively constant in most species, varying between 6 and 9 per leaf; however, *L. montanus* had the highest value (15 ± 1.1). In terms of leaflet dimensions, the highest values corresponded to *L. campestris* (PIP) (8.81 ± 1.6 cm in length and 1.98 ± 0.13 cm in width) and *L. montanus* (8.04 ± 0.63 cm in length and 1.10 ± 0.08 cm in width), while *L. bicolor* (BC) and *L. concinnus* (BC) had the smallest leaflets. These variations suggest that the leaf morphology of *Lupinus* species is more closely associated with environmental conditions than with the altitudinal gradient. The smaller leaflets of species from northwestern Mexico can represent a strategy to reduce leaf area under desert conditions. These environments are characterized by high solar radiation, high temperatures and low water availability. On the other hand, occurring at the same altitude in PIP, *L. montanus* exemplifies a leaf expansion strategy that favors light capture in high mountain environments, while *L. aschenbornii* adopts a conservative strategy, reducing leaf area to minimize transpiration and damage from solar radiation and low temperatures. The comparison between sympatric species suggests that leaf morphology reflects different adaptive strategies in high-mountain environments. Similarities observed among low and mid altitude species indicate that additional factors, such as microhabitat, evolutionary history and physiological constraints, can also influence leaf morphology. Therefore, leaf traits provide valuable insights into species adaptability and the ecological processes shaping plant diversity in Mexico.

Keywords: leaf morphology, adaptative strategies, altitudinal gradient, environmental factors, morphometric analysis

Resumen

El género *Lupinus* en México comprende aproximadamente 60 especies distribuidas en diversos ambientes, desde dunas costeras (5 m s.n.m.) hasta zonas subalpinas (>4000 m s.n.m.), lo que resulta en una notable plasticidad morfológica de las hojas. Este estudio evaluó la variación morfológica de las hojas en especies de *Lupinus* de tres regiones de México: la península de Baja California (BC) con 10 especies (14-2628 m s.n.m.) asociadas con matorrales xerófitos, chaparral de montaña y bosque de pino-encino; el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PIP), con seis especies (2600-4147 m s.n.m.) en vegetación secundaria, bosque de pino-encino y pastizales alpinos y Pico de Orizaba (PO), con tres especies (2493-4387 m s.n.m.) en ambientes de alta montaña. Se recolectaron treinta hojas completamente desarrolladas (nomófilas) de cada especie, las cuales fueron prensadas y digitalizadas para el análisis morfométrico usando ImageJ (v1.54p). Se registraron la longitud de las estípulas y los pecíolos, el número de folíolos y la longitud y anchura de los mismos. La morfología de las hojas varió entre las especies, observándose las estípulas más largas en *Lupinus montanus* (PIP y PO) y los pecíolos más largos en *L. excubitus* (BC) ($13,47 \pm 3,82$ cm) y *L. montanus* ($11,57 \pm 0,11$ cm). El número de folíolos fue relativamente constante en la mayoría de las especies, variando entre 6 y 9 por hoja; sin embargo, *L. montanus* presentó el valor más alto ($15 \pm 1,1$). En cuanto a las dimensiones de los folíolos, los valores más altos correspondieron a *L. campestris* (PIP) ($8,81 \pm 1,6$ cm de longitud y $1,98 \pm 0,13$ cm de ancho) y *L. montanus* ($8,04 \pm 0,63$ cm de longitud y $1,10 \pm 0,08$ cm de ancho), mientras que *L. bicolor* (BC) y *L. concinnus* (BC) presentaron los folíolos más pequeños. Estas variaciones sugieren que la morfología foliar de las especies de *Lupinus* está más estrechamente relacionada con las condiciones ambientales que con el gradiente altitudinal. Los folíolos más pequeños de las especies del noroeste de México podrían representar una estrategia para reducir el área foliar en condiciones desérticas. Estos ambientes se caracterizan por una alta radiación solar, altas temperaturas y baja disponibilidad de agua. Por otro lado, *L. montanus*, presente a la misma altitud en el PIP, ejemplifica una estrategia de expansión foliar que favorece la captación de luz en ambientes de alta montaña, mientras que *L. aschenbornii* adopta una estrategia conservadora, reduciendo el área foliar para minimizar la transpiración y el daño causado por la radiación solar y las bajas temperaturas. La comparación entre especies simpátricas sugiere que la morfología foliar refleja diferentes estrategias adaptativas en ambientes de alta montaña. Las similitudes observadas entre especies de baja y media altitud indican que otros factores, como el microhábitat, la historia evolutiva y las limitaciones fisiológicas, también pueden influir en la morfología foliar. Por lo tanto, los rasgos foliares proporcionan información valiosa sobre la adaptabilidad de las especies y los procesos ecológicos que dan forma a la diversidad vegetal en México.

Palabras clave: morfología foliar, estrategias adaptativas, gradiente altitudinal, factores ambientales, análisis morfométrico

Phylogenetic resources of the genus *Lupinus* in Baja California: Exploration and *in situ* characterization strategies / Recursos fitogenéticos del género *Lupinus* en Baja California: estrategias de exploración y caracterización *in situ*

Guadalupe M. Torres Alfaro^{1*}, M. N. Herrera Moreno², J. A. Chávez Medina², K. Bermúdez Torres³

¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, México

²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Sinaloa, México

³Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México
Corresponding author email: gmtorres@ipn.mx

Abstract

A comprehensive field expedition was conducted across the Baja California Peninsula from April 26 to May 5, 2023, to locate, document, and collect germplasm of wild *Lupinus* species. This expedition was critical for updating the knowledge of *Lupinus* diversity in this biogeographically significant region, as previous systematic collections date back several decades, with most herbarium specimens collected in the 1960s and 1980s. The expedition covered approximately 2100 kilometers in a circular route starting and ending in La Paz (23°37'N, 109°52'W). The itinerary followed a strategic north-south gradient, beginning in Sierra La Laguna at 789 msnm elevation, proceeding northward through coastal zones (12-73 msnm) near Mulegé and Guerrero Negro (27°37'N-28°57'N), ascending to mid-elevation sites around Loreto and San Ignacio (532-1,078 msnm at 29°24'N-31°27'N), reaching the highest elevations in the Sierra San Pedro Mártir region (1504-2628 msnm at 31°02'N-32°10'N), and returning south through the central peninsula (435-1773 msnm) before completing the circuit back to La Paz. The research team, consisting of four ladies (Minerva, Nancy, Alicia, and Kalina), successfully documented 36 populations and collected 31 accessions representing 10 distinct *Lupinus* species. The collection prioritized *in situ* morphological identification, recording of geographic coordinates, and seed collection for subsequent studies and germplasm conservation. Identification was performed by comparison with type specimens and confirmation with the original description. The altitude range where *Lupinus* species were found varied from 12 msnm to 2621 msnm. The species collected were: *Lupinus affinis*, *L. andersonii*, *L. arizonicus*, *L. bicolor*, *L. concinnus*, *L. excubitus*, *L. hirsutissimus*, *L. latifolius*, *L. niveus*, and *L. saxosus*. Furthermore, *L. excubitus* showed the greatest altitudinal range (532 - 2680 msnm), and *L. arizonicus* showed the greatest ecological versatility by being present from above sea level to submontane elevations. Annual species (*L. affinis*, *L. andersonii*, *L. arizonicus*, *L. bicolor*, *L. concinnus*, *L. hirsutissimus*) have short life cycles (3–5 months) and germinate with the first winter rains. Perennial species (*L. excubitus*, *L. latifolius*, *L. niveus*, *L. saxosus*) develop persistent woody structures that allow them to survive adverse conditions. *L. hirsutissimus* is easily distinguished by its dense hairs and large, leaf-like floral bracts. According to the ecoregions of González-Abraham et al. (2010) and our field notes, *L. hirsutissimus*, the most frequent species in the northern part of the peninsula, occupies three different ecoregions: coastal scrubland towards the Pacific Ocean and the San Felipe Desert and Central Desert towards the Gulf of California. The only species found in both the north and the south was *L. niveus*. In the north, it occupies the Rosetophyllous Coastal Scrub region, and in the south, the Cape Lowland Forest. This expedition represents a significant contribution to the understanding of *Lupinus* diversity in the Baja California Peninsula, providing valuable germplasm for conservation and breeding programs. This work establishes a foundation for continued biodiversity assessment and conservation strategies for wild lupins in northwestern Mexico. The collected material is available for public consultation by contacting the authors.

Key words: biodiversity, biological monitoring, collected material available, conservation and protection of species, ecosystem assessment

Resumen

Entre el 26 de abril y el 5 de mayo de 2023 se llevó a cabo una exhaustiva expedición de campo por la península de Baja California para localizar, documentar y recolectar germoplasma de especies silvestres de *Lupinus*. Esta expedición fue fundamental para actualizar el conocimiento sobre la diversidad de *Lupinus* en esta región de gran importancia biogeográfica, dado que las colecciones sistemáticas previas datan de hace varias décadas, y la mayoría de los especímenes de herbario se recolectaron entre las décadas de 1960 y 1980. La expedición recorrió aproximadamente 2100 kilómetros en una ruta circular que comenzó y terminó en La Paz (23°37'N, 109°52'O). El itinerario siguió un gradiente estratégico norte-sur, comenzando en Sierra La Laguna a 789 msnm de altitud, avanzando hacia el norte a través de zonas costeras (12-73 msnm) cerca de Mulegé y Guerrero Negro (27°37'N-28°57'N), ascendiendo a sitios de altitud media alrededor de Loreto y San Ignacio (532-1078 msnm a 29°24'N-31°27'N), alcanzando las mayores elevaciones en la región de Sierra San Pedro Mártir (1504-2628 msnm a 31°02'N-32°10'N), y regresando hacia el sur a través de la península central (435-1773 msnm) antes de completar el circuito de regreso a La Paz. El equipo de investigación, compuesto por cuatro mujeres (Minerva, Nancy, Alicia y Kalina), documentó con éxito 36 poblaciones y recolectó 31 accesiones que representan 10 especies distintas de *Lupinus*. La colección priorizó la identificación morfológica in situ, el registro de coordenadas geográficas y la recolección de semillas para estudios posteriores y conservación de germoplasma. La identificación se realizó por comparación con especímenes tipo y confirmación con la descripción original. El rango de altitud donde se encontraron especies de *Lupinus* varió de 12 msnm a 2621 msnm. Las especies recolectadas fueron: *Lupinus affinis*, *L. andersonii*, *L. arizonicus*, *L. bicolor*, *L. concinnus*, *L. excubitus*, *L. hirsutissimus*, *L. latifolius*, *L. niveus* y *L. saxosus*. Además, *L. excubitus* mostró el mayor rango altitudinal (532 - 2680 msnm), y *L. arizonicus* mostró la mayor versatilidad ecológica al estar presente desde por encima del nivel del mar hasta elevaciones submontanas. Las especies anuales (*L. affinis*, *L. andersonii*, *L. arizonicus*, *L. bicolor*, *L. concinnus*, *L. hirsutissimus*) tienen ciclos de vida cortos (3–5 meses) y germinan con las primeras lluvias invernales. Las especies perennes (*L. excubitus*, *L. latifolius*, *L. niveus*, *L. saxosus*) desarrollan estructuras leñosas persistentes que les permiten sobrevivir en condiciones adversas. *L. hirsutissimus* se distingue fácilmente por sus pelos densos y grandes brácteas florales con forma de hoja. Según las ecorregiones de González-Abraham et al. (2010) y nuestras notas de campo, *L. hirsutissimus*, la especie más frecuente en la parte norte de la península, ocupa tres ecorregiones diferentes: matorral costero hacia el Océano Pacífico y el Desierto de San Felipe y el Desierto Central hacia el Golfo de California. La única especie encontrada tanto en el norte como en el sur fue *L. niveus*. En el norte, ocupa la región del matorral costero rosetófilo, y en el sur, el bosque de tierras bajas del Cabo. Esta expedición representa una contribución significativa al conocimiento de la diversidad de *Lupinus* en la península de Baja California, proporcionando germoplasma valioso para programas de conservación y mejoramiento genético. Este trabajo sienta las bases para la evaluación continua de la biodiversidad y las estrategias de conservación de los lupinos silvestres en el noroeste de México. El material recolectado está disponible para consulta pública contactando a los autores.

Palabras clave: biodiversidad, monitoreo biológico, material recolectado disponible, conservación y protección de especies, evaluación de ecosistemas

Distribution, ethnobotany, and phytochemistry of *Lupinus* in three communities of the Trans-Mexican Volcanic Belt / Distribución, etnobotánica y fitoquímica de *Lupinus* en tres comunidades del Cinturón Volcánico Transmexicano

Santiago López Flores¹, Aldair Barrera Martínez¹, Aracely J. Peña Cruz¹, Esmeralda Pérez Carrasco², Dana Lezama Trujillo³, Wendolin Borges Coronel⁴, Kalina Bermúdez Torres⁴, Herminia López Salazar⁴ y Arianna M. Hernández Sánchez^{1,4*}

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud, Unidad Milpa, CDMX, México

²Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Facultad de Medicina y Cirugía, Oaxaca, México

³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Medicina, Puebla, México

⁴Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Morelos, México

*Corresponding author email: amhernandezs@ipn.mx

Abstract

The genus *Lupinus* (Fabaceae) is known for its bioactive compounds and use since ancient times for the treatment of type 2 diabetes in Andean and European countries. Approximately 62 species of the genus *Lupinus* are found in Mexico, growing along roadsides, hillsides, degraded forests, and pine-oak forests. The Trans-Mexican Volcanic Belt is the region with the highest abundance of *Lupinus* species in Mexico. However, there is a lack of studies documenting the distribution of *Lupinus* species and the uses given to them by the communities living in this territory. The aims of this project were 1) to determine the distribution of *Lupinus* species in Felipe Neri (Morelos), Juchitepec (State of Mexico), and Santa Ana Tlacotenco (Mexico City), 2) to document the ethnobotanical knowledge of the inhabitants of these communities regarding the genus, and 3) to characterize the quinolizidine alkaloid pattern of the species in the region to ultimately investigate their potential as a source of antidiabetic molecules. The distribution of *Lupinus* was determined through the revision of observations reported on the iNaturalist platform and specimens of the National Herbarium of Mexico (MEXU), and population monitoring. The ethnobotanical knowledge of communities was assessed through a literature review and an ethnobotanical study. The quinolizidine alkaloids present in the leaves, stems, flowers, pods, and seeds of *L. bilineatus* collected in Juchitepec were extracted and characterized using chromatographic techniques. *Lupinus bilineatus*, *L. hintonii*, and *L. elegans* are species distributed in the study area. In the ethnobotanical study conducted in Felipe Neri and Juchitepec, the interviewees were primarily people aged 31 to 50, with a higher proportion of women. Most residents of Felipe Neri recognized the species *L. bilineatus*, while in Juchitepec, less percentage of inhabitants knew the species. In neither case was knowledge of its medicinal uses reported. A small percentage of people interviewed in Felipe Neri identified it as “Mazahuite,” while the majority in both communities stated they did not know the common name. To date, no medicinal uses of this species have been identified in the literature or in the ethnobotanical study conducted by the research group. Seeds of *L. bilineatus* were the organ with the highest content of quinolizidine alkaloids. The presence of these metabolites was confirmed in flowers, leaves, stems, pods, and seeds. This study represents a contribution to the ethnobotanical and phytochemical knowledge of underutilized Mexican species, emphasizing the need to preserve communities’ knowledge of Mexican flora and its uses.

Keywords: Trans-Mexican Volcanic Belt, hypoglycemic biomolecules, traditional medicine, Mexican flora, alkaloids, diabetes

Resumen

El género *Lupinus* (*Fabaceae*) es conocido por sus compuestos bioactivos y su uso desde la antigüedad para el tratamiento de la diabetes tipo 2 en países andinos y europeos. Aproximadamente 62 especies del género *Lupinus* se encuentran en México, creciendo a lo largo de caminos, laderas, bosques degradados y bosques de pino-encino. El Eje Volcánico Transmexicano es la región con mayor abundancia de especies de *Lupinus* en México. Sin embargo, existe una falta de estudios que documenten la distribución de las especies de *Lupinus* y los usos que les dan las comunidades que habitan este territorio. Los objetivos de este proyecto fueron: 1) determinar la distribución de especies de *Lupinus* en Felipe Neri (Morelos), Juchitepec (Estado de México) y Santa Ana Tlacotenco (Ciudad de México); 2) documentar el conocimiento etnobotánico de los habitantes de estas comunidades respecto al género; y 3) caracterizar el patrón de alcaloides quinolizidínicos de las especies en la región para investigar su potencial como fuente de moléculas antidiabéticas. La distribución de *Lupinus* se determinó mediante la revisión de observaciones reportadas en la plataforma iNaturalist y especímenes del Herbario Nacional de México (MEXU), y el monitoreo de poblaciones. El conocimiento etnobotánico de las comunidades se evaluó mediante una revisión bibliográfica y un estudio etnobotánico. Los alcaloides quinolizidínicos presentes en las hojas, tallos, flores, vainas y semillas de *L. bilineatus* recolectadas en Juchitepec se extrajeron y caracterizaron mediante técnicas cromatográficas. *Lupinus bilineatus*, *L. hintonii* y *L. elegans* son especies distribuidas en el área de estudio. En el estudio etnobotánico realizado en Felipe Neri y Juchitepec, los entrevistados fueron principalmente personas de entre 31 y 50 años, con una mayor proporción de mujeres. La mayoría de los residentes de Felipe Neri reconocieron la especie *L. bilineatus*, mientras que en Juchitepec, un menor porcentaje de habitantes la conocía. En ninguno de los casos se reportó conocimiento de sus usos medicinales. Un pequeño porcentaje de las personas entrevistadas en Felipe Neri la identificó como “Mazahuite”, mientras que la mayoría en ambas comunidades afirmó desconocer el nombre común. Hasta la fecha, no se han identificado usos medicinales de esta especie en la literatura ni en el estudio etnobotánico realizado por el grupo de investigación. Las semillas de *L. bilineatus* fueron el órgano con mayor contenido de alcaloides quinolizidínicos. La presencia de estos metabolitos se confirmó en flores, hojas, tallos, vainas y semillas. Este estudio representa una contribución al conocimiento etnobotánico y fitoquímico de especies mexicanas subutilizadas, enfatizando la necesidad de preservar el conocimiento comunitario sobre la flora mexicana y sus usos.

Palabras clave: Cinturón Volcánico Transmexicano, biomoléculas hipoglucemiantes, medicina tradicional, flora mexicana, alcaloides, diabetes

Morphological and physiological characterisation of wild lupinus seeds (*Lupinus* spp.) / Caracterización morfológica y fisiológica de semillas silvestres de lupinus (*Lupinus* spp.)

Braxton Garcia Bermúdez^{1*}, Cecilia Figueroa Serrudo¹, Robert Quiñones Trejo², Amelia Huaranga-Joaquin¹

¹Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

²Estación Experimental Agraria Donoso Huaral, INIA, Perú

*Corresponding author email: 20140406@lamolina.edu.pe

Abstract

In Peru, *Lupinus mutabilis* Sweet is cultivated in the Andean highlands, however, wild species are found both in areas close to farmland (3249.39 ha) and in areas with altitudes ranging up to 3746.85 metres above sea level, occupying tropical montane (e-MT) habitats. Some researchers claim that these species have a high alkaloid content and also fix nitrogen. Due to these qualities exhibited by the wild tarwi samples, the collection of these species was planned by the Grain and Oilseed Legume Research Programme of the Faculty of Agronomy of the UNALM and was classified by Huaranga (2025) as *Lupinus romasanus* for the Tuyo Alto sample, the Tumanca sample as *Lupinus tarapacensis*, and the Canray Grande sample as *Lupinus lindleyanus*. The objective of this study is to perform a morphological and physiological characterisation of the seeds of the three wild *Lupinus* species from three locations in the Ancash region: Tuyo Alto in Marcará, Carhuaz and Tumanca, and Canray Grande in Olleros, Huaraz. The morphological and physiological characterisation of the seeds was carried out at the Crop Laboratory 1: Seeds of the Faculty of Agronomy using the International Council for Plant Genetic Resources (ICPR) descriptor for *Lupinus*. The pre-germination treatments applied for the germination test were 98% sulphuric acid (H₂SO₄), 12.5% gibberellic acid (GA), mechanical scarification with sandpaper, mechanical scarification + 12.5% gibberellic acid (GA) and a control treatment. A completely randomised design with four replicates and a total of 20 experimental units was used. The ANOVA was performed with Tukey's test and the means of the treatments were compared. It was found that the seeds of *Lupinus romasanus* from Tuyo Alto and *Lupinus tarapacensis* from Tumanca did not show statistical significance for the percentage of normal seedlings. Meanwhile, the *Lupinus lindleyanus* seed samples from Canray Grande showed the best percentages for seed dormancy breakage. The wild *Lupinus* spp. seed species had cream-coloured grains with medium intensity and a secondary brown colour with medium intensity. The *Lupinus romasanus* sample from Tuyo Alto consisted mainly of oval-shaped seeds, while the seeds of *Lupinus tarapacensis* (Tumanca) and *Lupinus lindleyanus* (Canray Grande) were flattened oval in shape. The distribution of secondary colour in the *Lupinus romasanus* and *Lupinus lindleyanus* samples was eyebrow-shaped, while in *Lupinus tarapacensis* it was speckled. Finally, the seeds of *Lupinus tarapacensis* had an average length of 4.7 mm and a width of 2.9 mm, which was much greater than the other samples studied. Knowledge of the characteristics of the seeds of wild species accessions will be very useful for the improvement programme of the cultivated species and also for the conservation of the genetic diversity of the genus *Lupinus* and to promote further research into their studied attributes.

Keywords: *Lupinus*, dormancy, pre-germination treatments, scarification, gibberellic acid, sulphuric acid

Resumen

En el Perú se cultiva el *Lupinus mutabilis* Sweet en la sierra andina, sin embargo, se observan especies silvestres tanto en áreas cercanas a los terrenos cultivados por los agricultores (3249.39 h) y en áreas cuyas altitudes varían hasta los 3746.85 msnm ocupando hábitat Montano Tropical (e-MT) y algunos investigadores afirman que presentan elevado contenido de alcaloides y también fijación de nitrógeno. Por estas cualidades que exhiben las muestras de tarwi silvestre se planificó la colecta de estas especies por el Programa de Investigación de Leguminosas de Grano y Oleaginosas de la Facultad de Agronomía de la UNALM y fue clasificada por Huaranga (2025) como *Lupinus romasanus* la muestra de Tuyo Alto, *Lupinus tarapacensis* la muestra de Tumanca y la muestra de Canray Grande como *Lupinus lindleyanus*. El presente estudio tuvo por objetivo caracterizar morfológica y fisiológicamente las semillas de las tres especies silvestres de *Lupinus* que provinieron de tres lugares de la región Ancash: Tuyo Alto en Marcará, Carhuaz, Tumanca, y Canray Grande en Olleros, Huaraz. La caracterización morfológica y fisiológica de las semillas se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitotecnia 1: Semillas de la Facultad de Agronomía utilizando el descriptor para *Lupinus* del Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (CIRF). Los tratamientos pregerminativos aplicados para el ensayo de germinación fueron el ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 98%, ácido giberélico (AG) al 12.5%, escarificación mecánica con una lija, escarificación mecánica + ácido giberélico (AG) al 12.5% y un tratamiento control. Se utilizó el diseño completamente al azar con cuatro repeticiones un total de 20 unidades experimentales, se realizó el ANVA con la prueba de Tukey se hizo la comparación de medias de los tratamientos. La significación estadística de *Lupinus romasanus* de Tuyo Alto y de *Lupinus tarapacensis* de Tumanca no mostraron diferencias para el porcentaje de plántulas normales. Mientras que las muestras de semillas de *Lupinus lindleyanus* de Canray Grande presentaron los mejores porcentajes por la superación de la dormancia física de las semillas. Las especies silvestres de *Lupinus* spp., presentaron características de grano crema con intensidad media y color secundario marrón con intensidad media. La muestra de *Lupinus romasanus* de Tuyo Alto presentó en su mayoría semillas de formas oval, mientras que las semillas de *Lupinus tarapacensis* (Tumanca) y *Lupinus lindleyanus* (Canray Grande) presentaron semillas de formas oval aplanada. La distribución del color secundario en las muestras de *Lupinus romasanus* y *Lupinus lindleyanus* fue en ceja y en *Lupinus tarapacensis* fue salpicada. Finalmente, las semillas de *Lupinus tarapacensis* presentaron una longitud promedio de 4.7 mm y anchura de 2.9 mm muy superior a las otras muestras estudiadas. El conocimiento de las características de las semillas de las especies silvestres será muy útil para el programa de mejora de la especie cultivada y también en la conservación de la diversidad genética del género *Lupinus* y promover otras investigaciones por sus atributos estudiados.

Palabras claves: *Lupinus*, dormancia, tratamientos pre germinativos, escarificación, ácido giberélico, ácido sulfúrico

**Legume generation: the Lupin Innovation Community (LUPIC) – driving genetic gain through targeted introgression and molecular breeding /
Generación de leguminosas: la comunidad de innovación del lupino (LUPIC) – Impulsando el avance genético mediante la introgresión dirigida y el mejoramiento molecular**

Helge Fließ^{1*}; Susek Karolina², Lohwasser Ulrike³, Otto Lars-Gernot³, Svoboda Thomas⁴, Ninou Elizabeth⁵, Howarth Catherine⁶, de Vega Jose⁷, Rieu Ivo⁸, Papa Roberto⁹, Murphy-Bokern Donal¹⁰, and Eickmeyer Fred¹¹

¹ Julius Kühn-Institut (JKI), Institute for Breeding Research on Agricultural Crops, Sanitz, Germany ² Institute of Plant Genetics PAS (IPG), Poznan, Poland ³ Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Gatersleben, Germany ⁴ University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Tulln, Austria ⁵ International Hellenic University (IHU), Thessaloniki, Greece ⁶ Aberystwyth University (ABER), Aberystwyth, United Kingdom ⁷ Earlham Institute, Norwich, United Kingdom ⁸ Radboud University (SRU), Nijmegen, The Netherlands ⁹ Università Politecnica delle Marche (UPM), Ancona, Italy ¹⁰ Donal Murphy-Bokern, Germany ¹¹ ESKUSA GmbH, Germany

*Corresponding author email: helge.fluess@julius-kuehn.de

Abstract

European agriculture faces a critical need to increase the home-grown supply of plant protein to support the EU Biodiversity Strategy and the Farm to Fork objectives. The Legume Generation project addresses this by establishing six breeder-led and species-specific innovation communities to boost the development of productive and resilient legume cultivars. The Lupin Innovation Community (LUPIC) is one of these. It focuses on narrow-leafed (*Lupinus angustifolius*) white lupin (*L. albus*) and Andean lupin (*L. mutabilis*) - crops that support European protein self-sufficiency but which require significant genetic improvement to meet modern agronomic demands. Within the LUPIC, the Julius Kühn-Institut (JKI) and other partners from Europe are conducting extensive field evaluations of approximately 200 germplasm accessions and varieties of both narrow-leafed and white lupins. These trials are designed to characterize the phenotypic diversity available for yield stability and protein content across varying environments. Beyond characterization, JKI and ESKUSA are actively integrating new plant material with beneficial traits into the breeding pool through targeted introgression. One focus of our work is the establishment and advancement of segregating populations (including F₂ and advanced breeding material) aimed at overcoming major bottlenecks in lupin domestication. We are focusing on critical traits, like (1) alkaloid content, (2) pod shattering, (3) frost tolerance and (4) tolerance to calcareous soils. To accelerate the selection process and ensure the stability of these traits, JKI is employing molecular markers for precise tracking within the breeding populations. Specifically, the RAP2-7 marker is utilized to monitor the low-alkaloid *iucundus* locus, while the TaLi marker is applied to select for reduced pod shattering, ensuring that new lines maintain high-quality standards and harvest efficiency. The LUPIC consortium complements these efforts through a multidisciplinary pipeline: IPK and SRU provide specialized screenings for drought and heat tolerance, respectively; BOKU evaluates resistance to soil-borne pathogens; and IPG, UPM, and ABER contribute advanced genotyping and quality analysis. This collective approach aims to bridge the gap between genetic resources and commercial breeding (ESKUSA), enhancing the sustainability and attractiveness of lupins for the plant-based protein industry.

Keywords: legume generation, LUPIC, genetic gain, domestication traits, molecular breeding

Resumen

La agricultura europea se enfrenta a la necesidad crítica de aumentar la producción nacional de proteína vegetal para apoyar la Estrategia de Biodiversidad de la UE y los objetivos de la Iniciativa «De la Granja a la Mesa». El proyecto Legume Generation aborda esta necesidad mediante el establecimiento de seis comunidades de innovación, lideradas por mejoradores y centradas en especies específicas, para impulsar el desarrollo de cultivares de leguminosas productivos y resistentes. La Comunidad de Innovación del Lupino (LUPIC) es una de estas comunidades. Se centra en el lupino blanco (*L. albus*) y el lupino andino (*L. mutabilis*), cultivos que contribuyen a la autosuficiencia proteica europea, pero que requieren una mejora genética significativa para satisfacer las demandas agronómicas modernas. Dentro de LUPIC, el Instituto Julius Kühn (JKI) y otros socios europeos están llevando a cabo extensas evaluaciones de campo de aproximadamente 200 accesiones y variedades de germoplasma de lupino blanco y de hoja estrecha. Estos ensayos están diseñados para caracterizar la diversidad fenotípica disponible para la estabilidad del rendimiento y el contenido proteico en diferentes entornos. Más allá de la caracterización, JKI y ESKUSA están integrando activamente nuevo material vegetal con rasgos beneficiosos en el acervo genético mediante introgresión dirigida. Uno de los objetivos principales de nuestro trabajo es el establecimiento y desarrollo de poblaciones segregantes (incluyendo F₂ y material de mejoramiento avanzado) con el fin de superar los principales obstáculos en la domesticación del altramuces. Nos centramos en características críticas como (1) el contenido de alcaloides, (2) la dehiscencia de las vainas, (3) la tolerancia a las heladas y (4) la tolerancia a suelos calcáreos. Para acelerar el proceso de selección y garantizar la estabilidad de estas características, el JKI emplea marcadores moleculares para un seguimiento preciso dentro de las poblaciones de mejoramiento. Específicamente, el marcador RAP2-7 se utiliza para monitorear el locus iucundus de bajo contenido de alcaloides, mientras que el marcador TaLi se aplica para seleccionar una menor dehiscencia de las vainas, asegurando que las nuevas líneas mantengan altos estándares de calidad y eficiencia de cosecha. El consorcio LUPIC complementa estos esfuerzos mediante un enfoque multidisciplinario: IPK y SRU proporcionan análisis especializados de tolerancia a la sequía y al calor, respectivamente; BOKU evalúa la resistencia a patógenos transmitidos por el suelo; e IPG, UPM y ABER contribuyen con análisis avanzados de genotipado y calidad. Este enfoque colectivo busca cerrar la brecha entre los recursos genéticos y el mejoramiento comercial (ESKUSA), mejorando la sostenibilidad y el atractivo de los altramuces para la industria de proteínas vegetales.

Palabras clave: generación de leguminosas, LUPIC, ganancia genética, rasgos de domesticación, mejoramiento molecular

Uncovering flowering time diversity across the new world lupins / Descubriendo la diversidad de épocas de floración en los lupinos del nuevo mundo

Sandra Rychel-Bielska^{1*}, Wojciech Bielski², Piotr Zglobicki², Jolanta Belter², Sonia Nowak², Anna Surma², Michal Ksiazkiewicz² and Renata Galek¹

¹*Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Wrocław, Poland*

²*Department of Gene Structure and Function, Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, Poznan, Poland*

Corresponding author email: sandra.rychel-bielska@upwr.edu.pl

Abstract

The scientific community is actively exploring alternative plant protein sources, such as soybeans, peanuts, beans, peas, lupins, and other legumes, to address climate change and population growth. Lupins are especially notable for their high levels of amino acids and protein, as well as their ability to fix nitrogen, which benefits agriculture. The genus *Lupinus* has a complex history, with about 10 species in the Mediterranean, considered its ancestral region. It likely spread to the Americas 10-13 million years ago, leading to a “super-radiation” and the emergence of nearly 200 new species in the Andes. Vernalization pathways developed during the Cenozoic era, resulting in genetic differences in flowering and vernalization responses among related OWLs. The study of NWL species could uncover new regulatory mechanisms and shed light on their evolution. We suspect that vernalization pathways in New World Lupins may resemble those in Old World Lupins, but adaptation in the Andes might have led to additional modifications or novel mechanisms unique to NWLs in that region. To explore this, we are currently phenotyping all annual and small perennial NWLs under two photoperiods (8h and 14h), with and without vernalization treatment. We are recording the timing of the emergence of the first floral bud, the first colored petal, and the first fully mature pod. Furthermore, we are genotyping all studied accessions using DArT-seq technology. The combination of DArT-seq data and phenotypic observations will help identify contrasting genotypes that represent the species' genetic and phenotypic diversity. We aim to identify early- and late-flowering genotypes, as well as those sensitive or insensitive to vernalization. Genomic DNA of the contrasting genotypes will be sequenced, assembled, annotated, and subjected to comparative mapping with the existing lupin genomes. The final experimental step will involve gene expression profiling in response to different photoperiods (long- and short-day) and vernalization treatment. The collected data will help identify candidate genes involved in flowering induction and vernalization responses in the tested genotypes. These findings will also form the basis for comparative analyses between NWLs and OWLs. Such comparisons can provide insights into the genetic and evolutionary relationships among species, as well as the functional genomic elements and mechanisms behind genomic diversity and adaptation in NWLs. Furthermore, our results could improve our understanding of flowering and vernalization pathways, potentially leading to the development of novel cultivars that could serve as important plant protein sources for future food and feed applications.

Keywords: Lupins, flowering, vernalization, evolution, NWL

Resumen

La comunidad científica está explorando activamente fuentes alternativas de proteína vegetal, como la soja, el cacahuete, las judías, los guisantes, los altramuces y otras leguminosas, para

hacer frente al cambio climático y al crecimiento demográfico. Los altramuces son especialmente notables por su alto contenido en aminoácidos y proteínas, así como por su capacidad para fijar nitrógeno, lo que beneficia a la agricultura. El género *Lupinus* tiene una historia compleja, con unas 10 especies en el Mediterráneo, considerada su región ancestral. Probablemente se extendió a América hace entre 10 y 13 millones de años, dando lugar a una "superradiación" y al surgimiento de casi 200 nuevas especies en los Andes. Las vías de vernalización se desarrollaron durante la era Cenozoica, lo que resultó en diferencias genéticas en la floración y las respuestas a la vernalización entre los altramuces del Viejo Mundo emparentados. El estudio de las especies de altramuces del Nuevo Mundo podría descubrir nuevos mecanismos reguladores y esclarecer su evolución. Sospechamos que las vías de vernalización en los altramuces del Nuevo Mundo pueden ser similares a las de los altramuces o lupinos del Viejo Mundo, pero la adaptación en los Andes podría haber dado lugar a modificaciones adicionales o mecanismos novedosos exclusivos de los altramuces del Nuevo Mundo en esa región. Para explorar esto, actualmente estamos fenotipando todas las variedades anuales y perennes pequeñas de lupino bajo dos fotoperiodos (8 h y 14 h), con y sin tratamiento de vernalización. Estamos registrando el momento de aparición del primer botón floral, el primer pétalo coloreado y la primera vaina completamente madura. Además, estamos genotipando todas las accesiones estudiadas utilizando la tecnología DArT-seq. La combinación de datos DArT-seq y observaciones fenotípicas ayudará a identificar genotipos contrastantes que representen la diversidad genética y fenotípica de la especie. Nuestro objetivo es identificar genotipos de floración temprana y tardía, así como aquellos sensibles o insensibles a la vernalización. El ADN genómico de los genotipos contrastantes será secuenciado, ensamblado, anotado y sometido a mapeo comparativo con los genomas de lupino existentes. El paso experimental final implicará el perfil de expresión génica en respuesta a diferentes fotoperiodos (día largo y corto) y al tratamiento de vernalización. Los datos recopilados ayudarán a identificar genes candidatos implicados en la inducción de la floración y las respuestas a la vernalización en los genotipos analizados. Estos hallazgos también servirán de base para análisis comparativos entre lupinos de invierno (NWL) y lupinos de verano (OWL). Dichas comparaciones pueden aportar información sobre las relaciones genéticas y evolutivas entre especies, así como sobre los elementos genómicos funcionales y los mecanismos que subyacen a la diversidad genómica y la adaptación en los NWL. Además, nuestros resultados podrían mejorar nuestra comprensión de las vías de floración y vernalización, lo que podría conducir al desarrollo de nuevos cultivares que sirvan como importantes fuentes de proteína vegetal para futuras aplicaciones en la alimentación humana y animal.

Palabras clave: lupinos, floración, vernalización, evolución, NWL

Identification of promising tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) cultivars for growing regions in the department of La Paz-Bolivia / Identificación de cultivares promisorios de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) para zonas productoras del departamento de La Paz-Bolivia

Juan José Vicente Rojas

Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

Corresponding author email: jvicente@umsa.bo, juanjose_vicente@yahoo.es

Abstract

Tarwi is grown in the Andean region of Bolivia. It is a species with a wide genetic diversity, which has been the foundation of its cultivation. A characteristic of the native cultivars in the Andean region of the department of La Paz is their long growing season, which increases their vulnerability to late rains and frosts during flowering. To establish a working collection of native varieties or cultivars, germplasm has been collected from four departments in Bolivia (La Paz, Cochabamba, Potosí, and Chuquisaca). Against this background, the objective of this research was to characterize 39 tarwi cultivars based on grain characteristics, yield per plant, and earliness. The characterization plots were established in the community of Cojata Pampa (Carabuco), near Lake Titicaca, during the 2021–2022 growing season. The generated data were analyzed using descriptive statistics (frequency tables, measures of central tendency and dispersion), bivariate linear correlation analysis, and multivariate principal component analysis and hierarchical clustering using the R language in RStudio. The results show the greatest relative variation in plant height, days to flowering, and grain weight; indicating the existence of significant variation among the evaluated ecotypes. Regarding the days to flowering variable, it was evident that some cultivars exhibit early-maturing characteristics, with the minimum recorded value of 60 days for small-statured early-maturing cultivars and values of 135 days for the latest-maturing cultivars. Similarly, seed weight showed a higher average for intermediate- to late-maturing cultivars. The bivariate correlation analysis establishes positive associations among the grain-related variables and also reveals a moderate relationship between days to flowering and days to harvest and grain weight. Principal component analysis explains 70% of the variance, where the first principal component reflects the relationship among grain variables, and the second principal component explains the relationship among plant height and panicle variables; earliness, measured by days to flowering and harvest, is not clearly defined in the first principal component. The hierarchical clustering dendrogram allows for the establishment of cultivar groups, among which early-maturing cultivars stand out, though they have lower harvested grain weight and small to medium plant size compared to cultivars with higher yield per plant, intermediate to late maturity, and larger plant size. It is concluded that this initial stage identifies germplasm with interesting characteristics regarding grain, yield, and earliness that should be evaluated in subsequent growing seasons, including evaluations in different environments and trials with study factors such as planting times and densities, as well as considering nutritional characteristics and alkaloid content of the grain.

Keywords: *Lupinus mutabilis*, germplasm, characterization, earliness

Resumen

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) se produce en la zona andina de Bolivia. Es una especie que posee una amplia diversidad genética que ha sido base de su producción. Una característica de los cultivares nativos de la zona andina del departamento de La Paz es su largo periodo productivo,

que aumenta su vulnerabilidad frente a las lluvias tardías y heladas en floración. Para establecer una colección de trabajo con variedades o cultivares nativos, se ha colectado germoplasma de cuatro departamentos de Bolivia (La Paz, Cochabamba, Potosí y Chuquisaca). Con este antecedente el objetivo de la presente investigación fue de caracterizar 39 cultivares de tarwi en características del grano, rendimiento por planta y precocidad. Las parcelas de caracterización se establecieron en la Comunidad de Cojata Pampa (Carabuco), cercanas al Lago Titicaca, en la gestión agrícola 2021-2022. Los datos generados se analizaron mediante estadísticas descriptivas (tablas de frecuencia, tendencia central y de dispersión), análisis bivariado de correlación lineal y análisis multivariado de componentes principales y agrupamiento jerárquico empleando el lenguaje R en RStudio. Los resultados muestran con la mayor variación relativa a altura de la planta, días floración, peso de grano, esto indica la existencia de una interesante variación entre los ecotipos evaluados. En la variable días a floración se evidenció que existen cultivares con características de precocidad, siendo el mínimo valor registrado de 60 días para cultivares precoces de porte pequeño y valores de 135 días para los cultivares más tardíos. De manera similar, en el peso de semilla hubo un mayor promedio para aquellos cultivares de ciclo intermedio a tardío. El análisis bivariado de correlaciones establece asociaciones positivas en las variables medidas en el grano y también se presenta relación moderada de días floración con días a la cosecha y peso de grano. El análisis de componentes principales explica el 70% de varianza, donde el primer componente principal refleja la relación de variables de grano y el segundo componente principal explica la relación de variables de altura de planta y panoja. La precocidad medida por los días a floración y cosecha no se encuentra claramente definida en el primer plano factorial. El dendrograma de agrupamiento jerárquico permitió establecer grupos de cultivares, entre los que destacan cultivares precoces, con un menor peso de grano, porte pequeño a mediano con respecto a cultivares de mayor rendimiento, y de ciclo intermedio a tardío con un mayor tamaño de planta. Se concluyó, que en esta etapa inicial se identificó germoplasma con características interesantes en cuanto a grano, rendimiento y precocidad que debe ser evaluado en las siguientes campañas agrícolas, incluyendo evaluaciones en diferentes ambientes y ensayos con factores de estudio tales como épocas y densidades de siembra y también considerar características nutritivas y contenido de alcaloide del grano.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis*, germoplasma, caracterización, precocidad

Mexican *Lupinus* as a food protein resource: a bibliometric analysis / El lupino mexicano como recurso proteico alimentario: un análisis bibliométrico

Elizabeth Arguello García¹, Fabricio P. Gamarra Castillo², Gregorio Hernández Salinas³,
Jorge Martínez Herrera^{4*}

¹Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México

²Centro Materno Infantil San José, DRS VES LPP – MINSA. Lima, Perú

³Tecnológico Nacional de México, Campus Zongolica, Tepetitlanapa, México

⁴Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Veracruz, México

*Corresponding author email: email: jmartin62@hotmail.com

Abstract

Mexican *Lupinus* species constitute an underutilized, protein-rich legume resource with substantial potential for sustainable agronomy and the development of novel food ingredients; however, the available evidence remains fragmented across agronomy, chemistry, nutrition, and biomedical research. The present work maps the evolution and thematic structure of Mexico-linked *Lupinus* research from 2000 to early 2026, emphasizing the interface among protein science, food applications, and species diversity. A Scopus metadata export (n = 92 records; 2000–2026) was filtered using Mexico-related affiliations and keywords and analyzed using descriptive bibliometric indicators (annual output, document type, language, citations, and source titles) and science mapping in VOSviewer through author- and index-keyword co-occurrence networks. The corpus accumulated 1,742 citations (mean 18.9 per record; median 9), was dominated by research articles (98.9%), and was published primarily in English (85.9%). Publication output peaked in 2013 (n = 7) and indicates renewed activity during 2024–2026 (n = 9). Keyword mapping revealed three tightly connected thematic clusters: (1) a biomedical/functional cluster centered on hypoglycemic and antidiabetic effects, plant proteins, metabolism, and animal models (e.g., Wistar rats, blood glucose, insulin), reflecting sustained interest in bioactive fractions and extracts; (2) a food–nutrition–processing cluster characterized by seed, flour, germination, digestion, nutritional value, and protein content, consistent with research on edible products, processing strategies, and digestion-related performance; and (3) a biodiversity–chemistry–food safety cluster anchored in Mexico, Fabaceae, morphology, and alkaloids (notably quinolizidine alkaloids and sparteine), with frequent references to Mexican taxa—*Lupinus campestris* and *L. montanus* (12 records each), followed by *L. exaltatus* (7), *L. mexicanus* (6), *L. elegans* (5), and *L. aschenbornii* (4). Across sources, protein- and food-oriented studies represented approximately one quarter of the corpus (27%) and appeared recurrently in *Plant Foods for Human Nutrition* and the *Journal of the Science of Food and Agriculture*, with additional contributions in *Food Chemistry* and the *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Network connectivity further indicates that food/protein topics are strongly bridged to alkaloid chemistry, underscoring safety and sensory constraints (bitterness and alkaloid burden) as persistent bottlenecks for domestication and food valorization of Mexican lupins. Overall, the bibliometric profile highlights a timely opportunity for integrative research linking agronomic performance (adaptation, yield stability, and management) with protein quality and techno-functional properties, while co-designing processing and breeding strategies to reduce alkaloids and enable standardized, safe, and acceptable lupin-based foods derived from Mexican species. Co-authorship patterns also suggest expanding international collaboration—most frequently with European partners—potentially facilitating access to advanced proteomics, metabolomics, and breeding pipelines. A focused research agenda is proposed for discussion: (i) harmonized phenotyping of Mexican

Lupinus germplasm for protein yield and essential amino-acid profiles; (ii) standardized debittering and fermentation routes with quantified alkaloid removal and verified retention of protein functionality; and (iii) product prototyping (flours, concentrates, fermented foods) evaluated through in vitro digestion and sensory testing to accelerate translation from biodiversity knowledge to food and feed value chains in Mexico.

Keywords: Mexican *Lupinus*; food proteins; quinolizidine alkaloids; debittering; techno-functional properties; bibliometric analysis

Resumen

Las especies mexicanas de *Lupinus* constituyen un recurso leguminoso rico en proteínas, subutilizado y con un gran potencial para la agronomía sostenible y el desarrollo de nuevos ingredientes alimentarios; sin embargo, la evidencia disponible se encuentra fragmentada entre la agronomía, la química, la nutrición y la investigación biomédica. El presente trabajo describe la evolución y la estructura temática de la investigación sobre *Lupinus* vinculada a México desde el año 2000 hasta principios de 2026, haciendo hincapié en la interacción entre la ciencia de las proteínas, las aplicaciones alimentarias y la diversidad de especies. Se filtró una exportación de metadatos de Scopus (n = 92 registros; 2000–2026) utilizando afiliaciones y palabras clave relacionadas con México, y se analizó mediante indicadores bibliométricos descriptivos (producción anual, tipo de documento, idioma, citas y títulos de las fuentes) y mapeo científico en VOSviewer a través de redes de coocurrencia de autores y palabras clave de índice. El corpus acumuló 1742 citas (media de 18,9 por registro; mediana de 9), estuvo dominado por artículos de investigación (98,9 %) y se publicó principalmente en inglés (85,9 %). La producción de publicaciones alcanzó su punto máximo en 2013 (n = 7) e indica una actividad renovada durante 2024-2026 (n = 9). El mapeo de palabras clave reveló tres grupos temáticos estrechamente conectados: (1) un grupo biomédico/funcional centrado en los efectos hipoglucemiantes y antidiabéticos, las proteínas vegetales, el metabolismo y los modelos animales (por ejemplo, ratas Wistar, glucosa en sangre, insulina), que refleja un interés sostenido en fracciones y extractos bioactivos; (2) un grupo de alimentos, nutrición y procesamiento caracterizado por semillas, harina, germinación, digestión, valor nutricional y contenido de proteínas, consistente con la investigación sobre productos comestibles, estrategias de procesamiento y rendimiento relacionado con la digestión; y (3) un grupo de biodiversidad-química-seguridad alimentaria anclado en México, *Fabaceae*, morfología y alcaloides (en particular alcaloides quinolizidínicos y esparteína), con frecuentes referencias a taxones mexicanos: *Lupinus campestris* y *L. montanus* (12 registros cada uno), seguidos de *L. exaltatus* (7), *L. mexicanus* (6), *L. elegans* (5) y *L. aschenbornii* (4). En todas las fuentes, los estudios orientados a proteínas y alimentos representaron aproximadamente una cuarta parte del corpus (27%) y aparecieron recurrentemente en *Plant Foods for Human Nutrition* y el *Journal of the Science of Food and Agriculture*, con contribuciones adicionales en *Food Chemistry* y el *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. La conectividad de la red indica además que los temas de alimentos/proteínas están fuertemente vinculados a la química de los alcaloides, lo que subraya las limitaciones de seguridad y sensoriales (amargor y carga de alcaloides) como cuellos de botella persistentes para la domesticación y valorización alimentaria de los lupinos mexicanos. En general, el perfil bibliométrico resalta una oportunidad para la investigación integradora que vincula el desempeño agronómico (adaptación, estabilidad del rendimiento y manejo) con la calidad de las proteínas y las propiedades tecnofuncionales, al tiempo que se codiseñan estrategias de procesamiento y mejoramiento genético para reducir los alcaloides y permitir alimentos estandarizados, seguros y aceptables a base de lupinos derivados de especies mexicanas. Los patrones de coautoría también sugieren una mayor colaboración internacional, principalmente con socios europeos,

lo que podría facilitar el acceso a herramientas avanzadas de proteómica, metabolómica y mejoramiento genético. Se propone una agenda de investigación específica para su discusión: (i) fenotipado armonizado del germoplasma de *Lupinus* mexicano para el rendimiento de proteínas y perfiles de aminoácidos esenciales; (ii) rutas estandarizadas de desamargor y fermentación con eliminación cuantificada de alcaloides y retención verificada de la funcionalidad de las proteínas; y (iii) prototipado de productos (harinas, concentrados, alimentos fermentados) evaluados mediante digestión in vitro y pruebas sensoriales para acelerar la transferencia del conocimiento de la biodiversidad a las cadenas de valor de alimentos y piensos en México.

Palabras clave: *Lupinus* mexicano, proteínas alimentarias, alcaloides quinolizidínicos, eliminación del amargor, propiedades tecnofuncionales, análisis bibliométrico

Phenolic composition and antioxidant properties of white Lupin (*Lupinus albus*) seeds and sprouts as a functional food / Composición fenólica y propiedades antioxidantes de las semillas y brotes de lupino blanco (*Lupinus albus*) como alimento funcional

María Molinelli^{1*}, Paula Martín², Nelson Grosso², Ana Planchuelo^{1,3}

¹Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN-IMBIV-CONICET).

Facultad de Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina

²Laboratorio de Tecnología de Alimentos (LABTA-IMBIV-CONICET). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina

³Independent International Researcher, Argentina

*Corresponding author email: mlinelli@agro.unc.edu.ar

Abstract

Lupins are legumes that have been consumed as staple foods for both humans and animals since ancient times in part of the Mediterranean and Andean regions. In recent years, the cultivation and consumption of legumes have been increasingly encouraged due to their high protein content and their importance in both vegan and non-vegetarian diets. Among them, white lupin (*Lupinus albus* L.) has attracted attention as a promising alternative to soybean in the food industry because of its valuable nutritional properties. Recent studies in medical biotechnology highlight white lupin grains as an important source of antioxidants with potential protective effects against cerebrovascular and cardiovascular diseases. In addition, sprouted seeds are increasingly recognized in vegetable production as functional foods with enhanced nutritional value. The objective of this study was to compare the polyphenol content and antioxidant activity of lupin grains and their sprouts at 2, 4, and 6 days after germination, in order to determine the most effective way to promote lupins as a nutraceutical food. Lupin grains were obtained from Épicos Alimentos (Buenos Aires, Argentina). Germination assays were conducted under controlled conditions following ISTA standards, and chemical analyses were performed on samples collected at 2, 4, and 6 days after the start of germination. Grain analyses were carried out using whole flour obtained from milling seeds from the same batch used in the germination trials. Tocopherol content in the total extracted oil was determined using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). Total phenolic content was measured using the Folin–Ciocalteu method, and antioxidant capacity was evaluated by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. The results showed that γ -tocopherol was the predominant tocopherol, with significant increases observed in 4- and 6-day-old sprouts compared to whole flour of the grains and the 2-day-old sprouts. Total phenolic content also showed significant variation, with the lowest value recorded in the whole flour of the grains (1.68 ± 0.01 mg GAE g^{-1}) and the highest value in 6-day-old sprouts (4.18 ± 0.02 mg GAE g^{-1}). In the DPPH assay, the 6-day sprouts exhibited the lowest IC₅₀ value (204.39 ± 6.77 μg ml^{-1}) compared with the whole flour of the grains (573.62 ± 15.43 μg ml^{-1}), indicating greater antioxidant activity since a smaller amount of sample was required to inhibit free radicals. These results demonstrate that germination significantly enhances tocopherol and total phenolic content, as well as antioxidant capacity, in white lupin seeds. Among the evaluated stages, sprouts at 6 days after germination showed the highest nutritional and antioxidant potential. Therefore, lupin sprouts represent a promising nutraceutical ingredient with potential health benefits and valuable applications in the food industry.

Keywords: antioxidant capacity, food industry, germinated seeds, health benefits, tocopherols, phenol, white lupins.

Resumen

Los altramuces o lupinos son legumbres que se han consumido como alimento básico tanto para humanos como para animales desde la antigüedad en parte de las regiones mediterránea y andina. En los últimos años, el cultivo y consumo de legumbres se ha fomentado cada vez más debido a su alto contenido proteico y su importancia en dietas veganas y no vegetarianas. Entre ellas, el altramuz blanco (*Lupinus albus* L.) ha llamado la atención como una alternativa prometedora a la soja en la industria alimentaria debido a sus valiosas propiedades nutricionales. Estudios recientes en biotecnología médica destacan los granos de altramuz blanco como una importante fuente de antioxidantes con potenciales efectos protectores contra enfermedades cerebrovasculares y cardiovasculares. Además, las semillas germinadas se reconocen cada vez más en la producción de vegetales como alimentos funcionales con un valor nutricional mejorado. El objetivo de este estudio fue comparar el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante de los granos de altramuz y sus brotes a los 2, 4 y 6 días después de la germinación, con el fin de determinar la forma más efectiva de promover los altramuces como alimento nutracéutico. Los granos de altramuz se obtuvieron de Épicos Alimentos (Buenos Aires, Argentina). Los ensayos de germinación se realizaron bajo condiciones controladas siguiendo las normas ISTA, y se realizaron análisis químicos en muestras recolectadas a los 2, 4 y 6 días después del inicio de la germinación. Los análisis de grano se llevaron a cabo utilizando harina integral obtenida de la molienda de semillas del mismo lote utilizado en los ensayos de germinación. El contenido de tocoferol en el aceite total extraído se determinó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). El contenido total de fenoles se midió utilizando el método de Folin-Ciocalteu, y la capacidad antioxidante se evaluó mediante el ensayo de captación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). Los resultados mostraron que el γ -tocopherol fue el tocoferol predominante, con incrementos significativos observados en los brotes de 4 y 6 días de edad en comparación con la harina integral de los granos y los brotes de 2 días de edad. El contenido fenólico total también mostró una variación significativa, con el valor más bajo registrado en la harina entera de los granos ($1,68 \pm 0,01$ mg GAE g^{-1}) y el valor más alto en los brotes de 6 días ($4,18 \pm 0,02$ mg GAE g^{-1}). En el ensayo DPPH, los brotes de 6 días exhibieron el valor de IC₅₀ más bajo ($204,39 \pm 6,77$ μg ml^{-1}) en comparación con la harina entera de los granos ($573,62 \pm 15,43$ μg ml^{-1}), lo que indica una mayor actividad antioxidante ya que se requirió una menor cantidad de muestra para inhibir los radicales libres. Estos resultados demuestran que la germinación aumenta significativamente el contenido de tocoferol y fenoles totales, así como la capacidad antioxidante, en las semillas de lupino blanco. Entre las etapas evaluadas, los brotes a los seis días después de la germinación mostraron el mayor potencial nutricional y antioxidante. Por lo tanto, los brotes de altramuz representan un ingrediente nutracéutico prometedor con potenciales beneficios para la salud y valiosas aplicaciones en la industria alimentaria.

Palabras clave: capacidad antioxidante, industria alimentaria, semillas germinadas, beneficios para la salud, tocoferoles, fenol, altramuz blanco.

Characterization and valorization of lupin hull dietary fiber / Caracterización y valorización de la fibra dietética de la cáscara de lupino

Anna Maria Tschigg^{1*}, Elisabeth Miehle¹, Susanne Naumann-Gola¹, Stephanie Bader-Mittermaier¹

¹Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging, Freising, Germany

*Corresponding author email: anna.maria.tschigg@ivv.fraunhofer.de

Abstract

Lupin hulls are a currently underutilized fiber-rich side stream of legume processing, while dietary fiber intake in many populations remains below recommended levels. We systematically characterized, stabilized and functionalized the hull fractions from narrow-leafed sweet lupin (*Lupinus angustifolius*) with the aim of developing technologically and sensory attractive dietary fiber ingredients for food applications. Raw hulls were analyzed for moisture, ash, protein, starch, dietary fiber fractions, water activity, selected antinutritional compounds (phytate, total polyphenols, condensed tannins), functional properties (viscosity in dispersion, water and oil binding, bulk density, color), microbiology and sensory attributes. Lupin hulls showed the highest total dietary fiber content among grain legume hulls, with very low starch and fat and only minor amounts of protein, confirming their suitability as a concentrated fiber source. A mild hydrothermal treatment (80 °C, 5 min, 100 % humidity) combined with fine milling was selected as the preferred process to achieve functional dietary fiber ingredients from legumes and subsequently also transferred to lupin hulls. Mild hydrothermal treatment reduced microbial loads to below 100 CFU g⁻¹, while maintaining water binding capacity and only slightly decreasing viscosity. At the same time, phytate and condensed tannins were reduced, improving the nutritional profile. Fine grinding of hydrothermally treated lupin hulls increased water binding, oil binding and viscosity compared with coarser fractions, at the expense of a higher specific bulk volume. Sensory evaluation of aqueous dispersions showed that mildly hydrothermally treated and finely milled lupin hull preparations were neutral to slightly nutty in odor and taste. Accelerated storage tests equivalent to at least 52 weeks at 25 °C demonstrated that lupin hull-derived fiber preparations remained microbiologically safe, with only minor changes in color and volatile oxidation markers. Application trials in model foods indicated that replacing 15–25 % of wheat flour in fine bakery products with hull fiber still yielded acceptable specific volume and texture, enabling “source of fiber” or “high in fiber” claims depending on inclusion level, while higher substitutions were limited by increased firmness and perception of particles. Compared with commercial cereal and citrus fibers, lupin hull preparations showed comparable or superior water binding and viscosity, while being obtained from processing side streams, highlighting their potential as sustainable, label-friendly fiber ingredients for reformulation of bakery goods and plant-based foods. Overall, the results show that scalable hydrothermal stabilization and milling may be used to process lupin hulls into microbiologically safe, storage-stable and functionally and sensorially attractive dietary fiber ingredients, supporting sustainable valorization of lupin processing side streams and the development of fiber-enriched plant-based foods.

Keywords: lupin hulls, dietary fiber, legume side streams, hydrothermal treatment, functional food ingredients, bakery applications, side stream valorization

Resumen

Las cáscaras de lupino son un subproducto rico en fibra del procesamiento de leguminosas que actualmente se encuentra infrautilizado, mientras que la ingesta de fibra dietética en muchas poblaciones permanece por debajo de los niveles recomendados. Caracterizamos, estabilizamos y funcionalizamos sistemáticamente las fracciones de cáscara del lupino dulce de hoja estrecha (*Lupinus angustifolius*) con el objetivo de desarrollar ingredientes de fibra dietética tecnológicamente y sensorialmente atractivos para aplicaciones alimentarias. Se analizaron las cáscaras crudas para determinar su contenido de humedad, cenizas, proteínas, almidón, fracciones de fibra dietética, actividad de agua, compuestos antinutricionales seleccionados (fitato, polifenoles totales, taninos condensados), propiedades funcionales (viscosidad en dispersión, capacidad de retención de agua y aceite, densidad aparente, color), microbiología y atributos sensoriales. Las cáscaras de lupino mostraron el mayor contenido total de fibra dietética entre las cáscaras de leguminosas de grano, con muy bajo contenido de almidón y grasa y solo pequeñas cantidades de proteína, lo que confirma su idoneidad como fuente concentrada de fibra. Se seleccionó un tratamiento hidrotérmico suave (80 °C, 5 min, 100 % de humedad) combinado con molienda fina como el proceso preferido para obtener ingredientes de fibra dietética funcional a partir de legumbres y posteriormente también se transfirió a las cáscaras de lupino. El tratamiento hidrotérmico suave redujo las cargas microbianas a menos de 100 UFC g⁻¹, manteniendo la capacidad de retención de agua y disminuyendo solo ligeramente la viscosidad. Al mismo tiempo, se redujeron el fitato y los taninos condensados, mejorando el perfil nutricional. La molienda fina de las cáscaras de lupino tratadas hidrotérmicamente aumentó la retención de agua, la retención de aceite y la viscosidad en comparación con las fracciones más gruesas, a expensas de un mayor volumen aparente específico. La evaluación sensorial de las dispersiones acuosas mostró que las preparaciones de cáscara de lupino tratadas hidrotérmicamente de forma suave y molidas finamente tenían un olor y sabor neutros a ligeramente a nuez. Las pruebas de almacenamiento acelerado equivalentes a al menos 52 semanas a 25 °C demostraron que las preparaciones de fibra derivadas de la cáscara de lupino permanecieron microbiológicamente seguras, con solo cambios menores en el color y los marcadores de oxidación volátiles. En ensayos de aplicación en alimentos modelo, se observó que la sustitución del 15-25 % de la harina de trigo en productos de panadería fina con fibra de cáscara de lupino mantenía un volumen y una textura específicos aceptables, lo que permitía incluir las etiquetas "fuente de fibra" o "alto contenido en fibra" según el nivel de inclusión. Sin embargo, las sustituciones más elevadas se vieron limitadas por una mayor firmeza y la percepción de partículas. En comparación con las fibras comerciales de cereales y cítricos, las preparaciones de cáscara de lupino mostraron una capacidad de retención de agua y una viscosidad comparables o superiores, al obtenerse a partir de subproductos del procesamiento. Esto resalta su potencial como ingredientes de fibra sostenibles y aptos para el etiquetado, para la reformulación de productos de panadería y alimentos de origen vegetal. En general, los resultados demuestran que la estabilización hidrotérmica y la molienda a escala industrial pueden utilizarse para procesar las cáscaras de lupino y convertirlas en ingredientes de fibra dietética microbiológicamente seguros, estables durante el almacenamiento y funcional y sensorialmente atractivos. Esto apoya la valorización sostenible de los subproductos del procesamiento del lupino y el desarrollo de alimentos de origen vegetal enriquecidos con fibra.

Palabras clave: cáscara de lupino, fibra dietética, subproductos de leguminosas, tratamiento hidrotérmico, ingredientes alimentarios funcionales, aplicaciones en panadería, valorización de subproductos.

Development of organic high-quality rye and lupin for human consumption (RUPIN) / Desarrollo de centeno y lupino orgánico de alta calidad para el consumo humano (RUPIN)

Varvara Dikaya¹, Michel Westermann¹, Andrea Schiemann², Ida Marie Garder², Ahmed Jahoor², and Fernando Geu-Flores^{1*}

¹Section for Plant Biochemistry and Copenhagen Plant Science Centre, Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Frederiksberg, Denmark

²Nordic Seed A/S, Galten, Denmark

*Corresponding author email: feg@plen.ku.dk

Abstract

Plant-based products will play a central role in the current green transition. To ensure a smooth transition, plant growers should gain access to crops of high and stable quality that meet the requirements of the food industry. Rye and lupin are well suited for organic cultivation and can be grown in Denmark especially on sandy and nutrient-poor soils. They are also well suited for the food industry, where they have potential as healthy and nutritious ingredients for baking and plant-based foods. However, the quality of both crops is very dependent on environmental and weather conditions. RUPIN is a recently funded collaborative project that aims to develop new high-yielding, quality-stable varieties of rye and lupin. On the lupin side, the project will target the content of toxic alkaloids in seeds of narrow-leaved lupin (NLL, *Lupinus angustifolius*). We will purify individual alkaloids from NLL seeds, and we will use them to develop an LC-MS-based method for quantification. In parallel, Nordic Seed will cross varieties with very low alkaloid content with early maturing high-yielding varieties. The resulting offspring will be analyzed for alkaloid content, and selected lines will be further tested in the field across years/locations. Our work will provide locally adapted, Danish lupin varieties with very low alkaloid content, promoting a supply of high-quality, locally produced plant protein.

Keywords: food science, food industry, organic production

Resumen

Los productos de origen vegetal desempeñarán un papel fundamental en la actual transición ecológica. Para garantizar una transición fluida, los productores vegetales deben tener acceso a cultivos de alta calidad y estables que cumplan con los requisitos de la industria alimentaria. El centeno y el lupino son idóneos para el cultivo ecológico y pueden cultivarse en Dinamarca, especialmente en suelos arenosos y pobres en nutrientes. También son adecuados para la industria alimentaria, donde tienen potencial como ingredientes saludables y nutritivos para la panadería y los alimentos de origen vegetal. Sin embargo, la calidad de ambos cultivos depende en gran medida de las condiciones ambientales y climáticas. RUPIN es un proyecto colaborativo financiado recientemente que tiene como objetivo desarrollar nuevas variedades de centeno y lupino de alto rendimiento y calidad estable. En el caso del lupino, el proyecto se centrará en el contenido de alcaloides tóxicos en las semillas de lupino de hoja estrecha (*Lupinus angustifolius*). Purificaremos alcaloides individuales de las semillas de lupino de hoja estrecha y los utilizaremos para desarrollar un método de cuantificación basado en cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS). Paralelamente, Nordic Seed cruzará variedades con muy bajo contenido de alcaloides con variedades de alto rendimiento y maduración temprana. La descendencia resultante se analizará para determinar su contenido de

alcaloides, y las líneas seleccionadas se someterán a pruebas de campo en diferentes años y ubicaciones. Nuestro trabajo proporcionará variedades de lupinos daneses adaptadas localmente con muy bajo contenido de alcaloides, promoviendo así el suministro de proteína vegetal de alta calidad producida localmente.

Palabras clave: ciencia de los alimentos, industria alimentaria, producción orgánica

Environmental effects on total nitrogen, quinolizidine alkaloids, and fat content in *Lupinus mutabilis* seeds / Efectos ambientales sobre el nitrógeno total, los alcaloides quinolizidínicos y el contenido de grasa en las semillas de *Lupinus mutabilis*

Diego Rodríguez-Ortega¹, Iván Samaniego², Laura Vega^{1*}

¹*Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Cutuglagua, Ecuador*

²*INIAP, Departamento Nacional de Nutrición y Calidad, Cutuglagua, Ecuador*

**Corresponding author email: laura.vega@iniap.gob.ec*

Abstract

Chocho (*Lupinus mutabilis*) is an Andean legume with high nutritional value due to its elevated protein and fat content; however, its use is limited by the presence of quinolizidine alkaloids in the seeds. In this context, the objective of this study was to determine the effect of the environment on protein, fat, and alkaloid contents in the seeds of six *L. mutabilis* genotypes. The experiment was conducted across five contrasting environments, including three field locations (Cotopaxi, EESC, and Tungurahua) and two greenhouse conditions with different irrigation levels, in order to generate variability in temperature, precipitation, and edaphic characteristics. Six genotypes with different alkaloid levels were evaluated using a randomized complete block design under field conditions and a completely randomized design in the greenhouse, with three replications per environment. Protein, fat, and total alkaloid contents were determined using standardized methodologies (Kjeldahl, Soxhlet, and titration methods), while lupanine and sparteine were quantified using HPLC. Data were analyzed through analysis of variance, stability parameters (Wricke and Shukla), and principal component analysis (PCA) to evaluate the relationship between environmental variables and seed quality. The results showed that protein content was significantly affected by the environment, explaining 67.3% of the total variation, while fat content was influenced by both genotype (39.8%) and environment (42.4%). In contrast, total alkaloids, lupanine, and sparteine were mainly controlled by genotype, explaining approximately 90% of the variability, with a low contribution of genotype × environment interaction. The lowest protein and fat values were observed under greenhouse conditions, whereas the highest contents were recorded in field environments, particularly in EESC and Cotopaxi. Regarding alkaloids, the highest values were observed under greenhouse conditions, while Tungurahua showed the lowest levels. Stability analysis identified INIAP-ECU-29326 and AndxPro 2 as the most stable genotypes for protein, fat, and alkaloid content; these genotypes also exhibited high fat content and low alkaloid levels, making them promising materials for breeding programs. The principal component analysis explained 69.1% of the total variation and revealed a clear separation among environments, associating protein content with temperature and soil nutrients (N, P, K, and S), while alkaloids were related to soil pH and available phosphorus. Fat content showed an inverse relationship with alkaloids, suggesting a potential metabolic trade-off between lipid accumulation and secondary metabolite synthesis. Overall, the results demonstrate that seed quality in *L. mutabilis* is determined by a complex interaction between genetic and environmental factors, highlighting the importance of multi-environment evaluation for the selection of genotypes with high nutritional quality and low alkaloid content.

Keywords: *Lupinus mutabilis*, protein, quinolizidine alkaloids, environment, genetic stability

Resumen

El chocho (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa andina de alto valor nutricional debido a su elevado contenido de proteínas y grasas; sin embargo, su uso se ve limitado por la presencia de alcaloides quinolizidínicos en las semillas. En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto del ambiente sobre el contenido de proteínas, grasas y alcaloides en las semillas de seis genotipos de *L. mutabilis*. El experimento se llevó a cabo en cinco ambientes contrastantes, incluyendo tres localidades de campo (Cotopaxi, EESC y Tungurahua) y dos condiciones de invernadero con diferentes niveles de riego, con el fin de generar variabilidad en temperatura, precipitación y características edáficas. Se evaluaron seis genotipos con diferentes niveles de alcaloides utilizando un diseño de bloques completos aleatorizados en condiciones de campo y un diseño completamente aleatorizado en el invernadero, con tres repeticiones por ambiente. El contenido de proteínas, grasas y alcaloides totales se determinó utilizando metodologías estandarizadas (métodos Kjeldahl, Soxhlet y titulación), mientras que la lupanina y la esparteína se cuantificaron mediante HPLC. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza, parámetros de estabilidad (Wricke y Shukla) y análisis de componentes principales (PCA) para evaluar la relación entre las variables ambientales y la calidad de la semilla. Los resultados mostraron que el contenido de proteína se vio afectado significativamente por el ambiente, explicando el 67,3% de la variación total, mientras que el contenido de grasa se vio influenciado tanto por el genotipo (39,8%) como por el ambiente (42,4%). En contraste, los alcaloides totales, la lupanina y la esparteína se controlaron principalmente por el genotipo, explicando aproximadamente el 90% de la variabilidad, con una baja contribución de la interacción genotipo \times ambiente. Los valores más bajos de proteína y grasa se observaron en condiciones de invernadero, mientras que los contenidos más altos se registraron en ambientes de campo, particularmente en EESC y Cotopaxi. Con respecto a los alcaloides, los valores más altos se observaron en condiciones de invernadero, mientras que Tungurahua mostró los niveles más bajos. El análisis de estabilidad identificó a INIAP-ECU-29326 y AndxPro 2 como los genotipos más estables para el contenido de proteína, grasa y alcaloides. Estos genotipos también mostraron un alto contenido de grasa y bajos niveles de alcaloides, lo que los convierte en materiales prometedores para programas de mejoramiento genético. El análisis de componentes principales explicó el 69,1% de la variación total y reveló una clara separación entre ambientes, asociando el contenido de proteína con la temperatura y los nutrientes del suelo (N, P, K y S), mientras que los alcaloides se relacionaron con el pH del suelo y el fósforo disponible. El contenido de grasa mostró una relación inversa con los alcaloides, lo que sugiere una posible compensación metabólica entre la acumulación de lípidos y la síntesis de metabolitos secundarios. En general, los resultados demuestran que la calidad de la semilla en *L. mutabilis* está determinada por una compleja interacción entre factores genéticos y ambientales, lo que resalta la importancia de la evaluación en múltiples ambientes para la selección de genotipos con alta calidad nutricional y bajo contenido de alcaloides.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis*, proteína, alcaloides quinolizidínicos, ambiente, estabilidad genética

Biomarkers of nutritional, functional and agro-industrial quality in *Lupinus mutabilis*. A tool for the generation of new materials with added value / Biomarcadores de calidad nutricional, funcional y agroindustrial en *Lupinus mutabilis*. Una herramienta para la generación de nuevos materiales con valor agregado

Iván Samaniego¹, Diego Rodríguez², Bladimir Ortiz¹, Carmen Rosales¹, Andrés Cabrera¹

¹Departamento Nacional de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina (EESC), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Cutuglagua, Ecuador

²Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, EESC, INIAP, Cutuglagua, Ecuador

*Corresponding author email: ivan.samaniego@iniap.gob.ec

Abstract

Lupin is considered a superfood due to its high content of protein, crude fiber, antioxidants, and unsaturated fatty acids, contributing significantly to human nutrition and health. In Ecuador, the Andean Crops and Plant Genetic Resources Program of INIAP maintains a germplasm bank with 257 uncharacterized accessions. This study aimed to evaluate the nutritional and phytochemical composition of ten promising sweet lupin (*L. mutabilis*) genotypes that exhibit good agronomic characteristics, resistance and/or tolerance to biotic and abiotic stress, superior grain quality, and significantly reduced alkaloid content in seeds in experimental trials. These genotypes were compared with two accessions of *L. albus* and *L. angustifolius* used as control genotypes. Except for carbohydrate content, the *L. mutabilis* genotypes exhibited similar or superior nutritional profiles compared to the control genotypes, with high protein (44.7%), fat (19.91%), and ash (4.16%) contents and reduced alkaloid concentrations, particularly two genotypes, LmAnds16 and LmFRs43, with 0.04%. However, they exhibited the highest concentrations of polyphenols (8.84 mg g⁻¹), flavonoids (0.67 mg g⁻¹), and antioxidant activity for ABTS (19.94 μmol TE g⁻¹) and FRAP (300.30 μmol TE g⁻¹) on a dry weight (DW) basis. These results are important for the generation of new *Lupinus* varieties focused on their nutritional quality and for the production of nutraceutical and functional foods.

Keywords: *Lupinus mutabilis*, *Lupinus albus*, *Lupinus angustifolius*, lupin, chocho, tarwi

Resumen

El lupino se considera un superalimento debido a su alto contenido en proteínas, fibra cruda, antioxidantes y ácidos grasos insaturados, contribuyendo significativamente a la nutrición y la salud humana. En Ecuador, el programa de Cultivos Andinos y Recursos Fitogenéticos del INIAP mantiene un banco de germoplasma con 257 accesiones no caracterizadas. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la composición nutricional y fitoquímica de diez genotipos prometedores de lupino dulce (*L. mutabilis*) que exhiben buenas características agronómicas, resistencia y/o tolerancia a estrés biótico y abiótico, calidad de grano superior y contenido de alcaloides en semillas significativamente reducido en ensayos experimentales. Estos genotipos se compararon con dos accesiones de *L. albus* y *L. angustifolius* utilizadas como genotipos de control. Excepto por el contenido de carbohidratos, los genotipos de *L. mutabilis* exhibieron perfiles nutricionales similares o superiores en comparación con los genotipos control con altos contenidos de proteína (44,7 %), grasa (19,91 %) y ceniza (4,16 %) y concentraciones reducidas de alcaloides, en particular dos genotipos LmAnds16 y LmFRs43 con 0,04 %. Sin embargo, exhibieron las concentraciones más altas de polifenoles (8,84 mg g⁻¹), flavonoides (0,67 mg g⁻¹) y actividad antioxidante para ABTS (19,94 μmol TE g⁻¹) y FRAP (300,30 μmol TE g⁻¹) en base a peso seco (PS). Estos resultados son importantes para la generación de nuevas variedades de *Lupinus* enfocadas en su calidad nutricional y para producir alimentos nutracéuticos y funcionales.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis*, *Lupinus albus*, *Lupinus angustifolius*, chocho, lupino, tarwi

Evaluation of nutritional properties of a mini-pizza made from modified cassava starch and lupin flour / Evaluación de las propiedades nutricionales de una mini pizza elaborada con almidón de yuca modificado y harina de lupino

Toapanta, Ronald¹, Ordoñez, Pável², Cornejo, Fabiola³ and Maldonado-Alvarado, Pedro^{2*}

¹*Maestría en Biociencias Aplicadas, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito, Ecuador*

²*Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, EPN, Quito, Ecuador*

³*Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo, Guayaquil, Ecuador*

****Corresponding author email:** pedro.maldonado@epn.edu.ec

Abstract

The increasing incidence of metabolic disorders, including diabetes, as well as conditions associated with gluten, has driven a growing demand for healthier food alternatives, particularly those that are low in glycemic index and gluten-free. However, baked products developed to satisfy these criteria frequently display inadequate nutritional properties. Lupin is a legume that has been proved as a healthy ingredient used to improve the nutritional value of the foods, included the baked goods. The objective of the present work was to evaluate the nutritional properties of mini-pizza made from modified cassava starch and lupin flour. Cassava roots (*Manihot esculenta*), cultivar INIAP 651, grown in Ecuador, were used in this study. The starch of the roots was extracted, dried under sunlight, and then modified using alpha-amylase (6 U g⁻¹) and calcium lactate (6 mg g⁻¹). Lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet) flour was obtained from a local supplier in Ecuador. Partial replacements between the modified cassava starch and lupine flour were carried out at levels of 0, 5, 10, 15, and 20%. For the preparation of mini-pizza doughs, water, oil, egg, sugar, yeast and salt were incorporated into the blends with modified starch and lupine flour. Nutritional properties like total starch (TS) resistant starch (RS), rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS), and reduced glycemic index (GI) and protein digestibility (PD) were evaluated. The evaluated results in TS (58.33–78.15 g 100 g⁻¹), RS (4.65–7.33 g 100g⁻¹), RDS (43.51–62.98 g 100g⁻¹), SDS (2.46–13.49 g 100g⁻¹), GI (71.13–88.98) and PD (74.59–79.18 g 100g⁻¹) showed the best treatment was the partial substitution with 20% of lupine flour due to the highest result in RDS (43.51 g 100g⁻¹) and lowest in GI (71.13). High positive correlations ($R^2 > 0.83$) were found between TS vs. RS, RDS and GI, as well as between RS vs. SDS. Likewise, another positive correlation ($R^2 = 0.71$) was found between RDS vs. GI. Thus, certain nutritional parameters could be determinant factors in pizza properties and can be predictors of certain nutritional properties such as TS, RS, RDS, SDS and GI.

Keywords: *Gluten-free, lupin, modified cassava starch, nutritional properties, pizza*

Resumen

La creciente incidencia de trastornos metabólicos, incluyendo la diabetes, así como las afecciones asociadas al gluten, ha impulsado una demanda cada vez mayor de alternativas alimentarias más saludables, particularmente aquellas con bajo índice glucémico y sin gluten. Sin embargo, los productos horneados desarrollados para cumplir con estos criterios frecuentemente presentan propiedades nutricionales inadecuadas. El lupino o chocho es una leguminosa que ha demostrado ser un ingrediente saludable utilizado para mejorar el valor

nutricional de los alimentos, incluyendo los productos horneados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades nutricionales de una mini pizza hecha con almidón de yuca modificado y harina de altramuz. En este estudio se utilizaron raíces de yuca (*Manihot esculenta*), cultivar INIAP 651, cultivadas en Ecuador. El almidón de las raíces se extrajo, se secó al sol y luego se modificó utilizando alfa-amilasa (6 U g^{-1}) y lactato de calcio (6 mg g^{-1}). La harina de altramuz (*Lupinus mutabilis* Sweet) se obtuvo de un proveedor local en Ecuador. Se realizaron sustituciones parciales entre el almidón de yuca modificado y la harina de altramuz en proporciones de 0, 5, 10, 15 y 20 %. Para la preparación de las masas de mini pizzas, se incorporaron agua, aceite, huevo, azúcar, levadura y sal a las mezclas con almidón modificado y harina de chocho. Se evaluaron propiedades nutricionales como el almidón total (AT), el almidón resistente (AR), el almidón de digestión rápida (ADR), el almidón de digestión lenta (ADL), el índice glucémico reducido (IG) y la digestibilidad de las proteínas (DP). Los resultados evaluados en TS ($58,33\text{--}78,15 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), RS ($4,65\text{--}7,33 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), RDS ($43,51\text{--}62,98 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), SDS ($2,46\text{--}13,49 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), GI ($71,13\text{--}88,98$) y PD ($74,59\text{--}79,18 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) mostraron que el mejor tratamiento fue la sustitución parcial con 20% de harina de lupino debido al resultado más alto en RDS ($43,51 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) y más bajo en GI (71,13). Se encontraron altas correlaciones positivas ($R^2 > 0,83$) entre TS vs. RS, RDS y GI, así como entre RS vs. SDS. Asimismo, se encontró otra correlación positiva ($R^2 = 0,71$) entre RDS vs. GI. Por lo tanto, ciertos parámetros nutricionales podrían ser factores determinantes en las propiedades de la pizza y predecir ciertas propiedades nutricionales como TS, RS, RDS, SDS e IG.

Palabras clave: Sin gluten, chocho, almidón de yuca modificado, propiedades nutricionales, pizza

Effect of a bacterial association based on *Bacillus* spp. and *Brevibacillus brevis* on the yield and systemic resistance of *Lupinus mutabilis* / Efecto de una asociación bacteriana basada en *Bacillus* spp. y *Brevibacillus brevis* sobre el rendimiento y la resistencia sistémica de *Lupinus mutabilis*

Diego Peñaherrera^{1*}, Enrique Quesada-Moraga², Gabriela Simbaña¹, Néstor Castillo¹, Alicia Villavicencio³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Cutuglagua, Ecuador

²Universidad de Córdoba, Córdoba, España

³ Consultora privada, Ecuador

*Corresponding author email: diego.penaherrera@iniap.gob.ec

Abstract

Lupino (*Lupinus mutabilis*) is a fundamental pillar for food security and household income in the highland area, due to its high protein content and nitrogen fixation. However, the productivity is severely limited by biotic factors, primarily fungal diseases like anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) and with *Fusarium* spp, as well as by abiotic stress resulting from degraded soils. In contrast to the reliance on synthetic agrochemicals, which lead to pathogen resistance and disrupt the soil microbiome, the use of Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPR) offers a sustainable ecological alternative. The bacterial consortium comprising the genera *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, and *Brevibacillus brevis* (NACILLUS 3.01) is recognized for its ability to form endospores, which provides high stability under field conditions and a prolonged shelf life when propagated in homemade nutrient broths. The objective of the study was to evaluate the increase in physiological efficiency, grain yield, and the activation of systemic resistance against pathogens affecting the chocho crop through the application of an association of *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, and *Brevibacillus brevis* in a homemade bacterial broth at a concentration of 1×10^{10} CFU g⁻¹ in each application at different doses. The bacterial broth is formulated using carbon and energy sources to support bacterial metabolism. Nitrogen and organic sources for the synthesis of secondary metabolites and conditioners such as sodium chloride and mineral salts enriched with micronutrients to optimize osmoregulation and the consortium's enzymatic activity. The study was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with four replicates. The treatments consisted of foliar and soil applications of the bacterial broth at different doses: t1: 5 liters; t2: 10 liters; t3: 15 liters; t4: 20 liters in a 200-liter tank of water, with a control (t5) using a conventional chemical control based on synthetic fungicides. Applications were made at critical phenological stages of the crop: emergence, branching, flowering, and pod formation. The lupino variety used was INIAP-450 Andino. Highly significant differences ($p < 0.05$) were detected for dose. The overall average for the yield variable was 2032.8 t ha⁻¹ and the coefficient of variation was 10.76%. Furthermore, according to the Fisher's Alpha test at 5%, treatment t4 fell within range A with a value of 2780.0 t ha⁻¹ and 1460.0 t ha⁻¹, while treatment t5 fell within the last range. Regarding the quantity of the bacterial consortium in the soil after the trial ended, all treatments maintained an average of 1×10^8 CFU g⁻¹ of soil. In terms of plant health, the activation of Induced Systemic Resistance reduced the incidence of pathogens to a degree comparable to the efficacy reported in studies with chemically synthesized products. This approach not only improves the producer's profitability but also reduces the chemical load on the Andean ecosystem, protecting consumer health and preserving edaphic biodiversity.

Keywords: *Lupinus mutabilis*, *Bacillus subtilis*, induce systemic resistance, PGPR, yield, anthracnose

Resumen

El chocho (*Lupinus mutabilis*) es un pilar fundamental para la seguridad alimentaria y los ingresos familiares en la zona de las tierras altas, debido a su alto contenido proteico y fijación de nitrógeno. Sin embargo, su productividad se ve gravemente limitada por factores bióticos, principalmente enfermedades fúngicas como la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y la marchitez por *Fusarium* spp., así como por el estrés abiótico derivado de la degradación del suelo. En contraste con la dependencia de agroquímicos sintéticos, que generan resistencia a los patógenos y alteran el microbioma del suelo, el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) ofrece una alternativa ecológica sostenible. El consorcio bacteriano que comprende los géneros *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* y *Brevibacillus brevis* (NACILLUS 3.01) es reconocido por su capacidad de formar endosporas, lo que proporciona una alta estabilidad en condiciones de campo y una vida útil prolongada cuando se propaga en caldos nutritivos caseros. El objetivo del estudio fue evaluar el aumento en la eficiencia fisiológica, el rendimiento de grano y la activación de la resistencia sistémica contra patógenos que afectan el cultivo de chocho a través de la aplicación de una asociación de *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* y *Brevibacillus brevis* en un caldo bacteriano casero a una concentración de 1×10^{10} UFC g^{-1} en cada aplicación a diferentes dosis. El caldo bacteriano está formulado utilizando fuentes de carbono y energía para apoyar el metabolismo bacteriano. Fuentes de nitrógeno y orgánicas para la síntesis de metabolitos secundarios y acondicionadores como cloruro de sodio y sales minerales enriquecidas con micronutrientes para optimizar la osmorregulación y la actividad enzimática del consorcio. El estudio se realizó utilizando un diseño de bloques completos aleatorizados (DBCA) con cuatro réplicas. Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares y al suelo del caldo bacteriano a diferentes dosis: t1: 5 litros; t2: 10 litros; t3: 15 litros; t4: 20 litros en un tanque de agua de 200 litros, con un control (t5) utilizando un control químico convencional basado en fungicidas sintéticos. Las aplicaciones se realizaron en etapas fenológicas críticas del cultivo: emergencia, ramificación, floración y formación de vainas. La variedad de lupino utilizada fue INIAP-450 Andino. Se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0,05$) para la dosis. El promedio general para la variable de rendimiento fue $2032,8 \text{ t ha}^{-1}$ y el coeficiente de variación fue 10,76%. Además, según la prueba Alfa de Fisher al 5%, el tratamiento t4 se ubicó dentro del rango A con un valor de 2780 t ha^{-1} y 1460 t ha^{-1} , mientras que el tratamiento t5 se ubicó dentro del último rango. En cuanto a la cantidad de consorcio bacteriano en el suelo tras finalizar el ensayo, todos los tratamientos mantuvieron un promedio de 1×10^8 UFC g^{-1} de suelo. Respecto a la salud de las plantas, la activación de la resistencia sistémica inducida redujo la incidencia de patógenos en un grado comparable a la eficacia observada en estudios con productos de síntesis química. Este enfoque no solo mejora la rentabilidad del productor, sino que también reduce la carga química sobre el ecosistema andino, protegiendo la salud del consumidor y preservando la biodiversidad edáfica.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis*, *Bacillus subtilis*, resistencia sistémica inducida, PGPR, rendimiento, antracnosis.

A retrospective review of the first 16 International Lupin Conferences / Una revisión retrospectiva de las primeras 16 Conferencias Internacionales del Lupino

Ana M. Planchuelo* and Andrés C. Ravelo

Independent International Researchers for the Center for Surveying and Assessment of Agriculture and Natural Resources (CREAN-IMBIV-CONICET-UNC), Córdoba, Argentina

**Corresponding author email: aplanch@gmail.com*

Abstract

Lupinus species - commonly known as lupins, lupines, lupinos, altramuces, tremçoço, tarwi and chocho - have been cultivated since ancient times for soil improvement, human food, and animal feed. Historically, their production was concentrated in parts of Europe and the Andean region. International interest expanded significantly following the First International Lupin Conference (ILC) held in 1980 in Lima–Cusco, Peru. Over the past 45 years, the International Lupin Association (ILA) has played a central role in promoting lupins as legume crops of major agronomic, ecological, nutritional, and industrial importance. Since 1980, sixteen ILCs have been held across Europe, the Americas, and Australia, providing a global platform for researchers to exchange knowledge on breeding, agronomy, biotechnology, chemistry, nutrition, food processing, and socio-economic aspects of lupin production, with the long-term goal of enhancing competitiveness with soybean in international markets. The sequence of the conferences is as follows: 1st, 1980, Lima-Cusco, Peru; 2nd 1982, Torremolinos, Spain; 3rd 1984, La Rochelle, France; 4th 1986, Geraldton, Western Australia; 5th 1988, Poznan, Poland; 6th 1990, Temuco-Pucón, Chile; 7th 1993, Évora, Portugal; 8th 1996, Asilomar, California, USA; 9th 1999, Klink-Muritz, Germany; 10th 2002, Laugarvatn, Iceland; 11th 2005, Guadalajara, Mexico; 12th 2008, Fremantle, Western Australia; 13th 2011, Poznan, Poland; 14th 2015, Milan, Italy; 15th 2019, Cochabamba, Bolivia and 16th 2023, Rostock, Germany. All ILCs share common elements, including plenary lectures (also referred to as invited lectures, keynotes, or *Lectio Magistralis*), oral and poster presentations—organized in sessions—excursions to experimental or productive lupin fields, workshops, symposia, and the ILA General Assembly. Social activities, coffee breaks, lunches, and gala dinners with music, artistic performances and dances provide additional opportunities for networking, exchange of ideas, and fostering collaborations. For this retrospective analysis, all presentations delivered at the sixteen ILCs (1980–2023) were categorized into ten major thematic areas: Genetics & Breeding (G&B); Taxonomy, Physiology, Biodiversity & Agroecology (T,PB&A); Molecular Biology, Biotechnology & Omic Sciences (MB,B&OS); Chemical Composition (CC); Agronomy, Farming & Plant Production (A,F&PP); Phytopathology & Plant Protection (P&PP); Human & Animal Nutrition (H&AN); Food Technology, Processing & Uses (FT,P&U); Pharmaceutical & Medicinal Uses (P&MU); and Farm Management, Economic & International Topics (FM,E&IT). Figure 1 shows the percentage representation of each topic group relative to the others discussed in the last 16 ILCs, with agricultural and nutritional areas being the most prominent, followed by breeding and biodiversity. Trend analysis of the most recent ILCs reveals a progressive diversification of research themes, with notable growth in molecular biology, biotechnology, food applications, and value-added products. The most frequently studied species include *L. albus* (white lupin), *L. angustifolius* (narrow-leaf lupin), *L. luteus* (yellow lupin), and *L. mutabilis* (Andean lupin), and several presentations reported general studies done on *Lupinus* spp. Additional research addressed approximately 20 wild species, including *L. cosentinii*, *L. exaltatus*, *L. hartwegii*, *L. hispanicus*, *L. nootkatensis*, and *L. polyphyllus*, here grouped as “other species”. This analysis highlights the evolution of

research themes, identifies the most intensively studied species, and documents the progressive diversification of lupin research, over four and a half decades, demonstrating the expanding scientific and economic relevance of lupins worldwide.

Keywords: agronomy, biodiversity, breeding, genetics, food technology, *Lupinus* spp., molecular biology, plenary lectures, scientific meetings, social aspects

Resumen

Las especies de *Lupinus* - conocidas comúnmente como lupinos, altramuces, tremoço, tarwi y chocho - se cultivan desde la antigüedad para mejorar el suelo, como alimento para humanos y animales. Históricamente, su producción se concentraba en partes de Europa y la región andina. El interés internacional se expandió significativamente tras la Primera Conferencia Internacional del Lupino (CIL), celebrada en 1980 en Lima-Cusco, Perú. Durante los últimos 45 años, la Asociación Internacional del Lupino (AIL) ha desempeñado un papel fundamental en la promoción del lupino como leguminosa de gran importancia agronómica, ecológica, nutricional e industrial. Desde 1980, se han celebrado dieciséis CIL en Europa, América y Australia, proporcionando una plataforma global para que los investigadores intercambien conocimientos sobre mejoramiento genético, agronomía, biotecnología, química, nutrición, procesamiento de alimentos y aspectos socioeconómicos de la producción de lupino, con el objetivo a largo plazo de mejorar la competitividad frente a la soja en los mercados internacionales. La secuencia de las conferencias es la siguiente: 1°, 1980, Lima-Cusco, Perú; 2°, 1982, Torremolinos, España; 3°, 1984, La Rochelle, Francia; 4°, 1986, Geraldton, Australia Occidental; 5°, 1988, Poznan, Polonia; 6°, 1990, Temuco-Pucón, Chile; 7°, 1993, Évora, Portugal; 8°, 1996, Asilomar, California, Estados Unidos; 9°, 1999, Klink-Muritz, Alemania; 10°, 2002, Laugarvatn, Islandia; 11°, 2005, Guadalajara, México; 12°, 2008, Fremantle, Australia Occidental; 13°, 2011, Poznan, Polonia; 14°, 2015, Milán, Italia; 15°, 2019, Cochabamba, Bolivia y 16°, 2023, Rostock, Alemania. Todos los ILC comparten elementos comunes, incluyendo conferencias plenarias (también denominadas conferencias invitadas, ponencias magistrales o Lectio Magistralis), presentaciones orales y en póster —organizadas en sesiones— excursiones a campos experimentales o productivos de lupino, talleres, simposios y la Asamblea General de la ILA. Las actividades sociales, los descansos para el café, los almuerzos y las cenas de gala con música, actuaciones artísticas y bailes brindan oportunidades adicionales para establecer contactos, intercambiar ideas y fomentar colaboraciones. Para este análisis retrospectivo, todas las presentaciones realizadas en los dieciséis ILC (1980–2023) se categorizaron en diez áreas temáticas principales: Genética y Mejora (G&B); Taxonomía, Fisiología, Biodiversidad y Agroecología (T,PB&A); Biología Molecular, Biotecnología y Ciencias Ómicas (MB,B&OS); Composición Química (CC); Agronomía, Agricultura y Producción Vegetal (A,F&PP); Fitopatología y Protección Vegetal (P&PP); Nutrición Humana y Animal (H&AN); Tecnología, Procesamiento y Usos de los Alimentos (FT,P&U); Usos Farmacéuticos y Medicinales (P&MU); y Gestión Agrícola, Temas Económicos e Internacionales (FM,E&IT). La Figura 1 muestra la representación porcentual de cada grupo temático en relación con los demás discutidos en los últimos 16 ILC, siendo las áreas agrícolas y nutricionales las más prominentes, seguidas de la mejora genética y la biodiversidad. El análisis de tendencias de los ILC más recientes revela una diversificación progresiva de los temas de investigación, con un crecimiento notable en biología molecular, biotecnología, aplicaciones alimentarias y productos de valor agregado. Las especies más frecuentemente estudiadas incluyen *L. albus* (altramuz blanco), *L. angustifolius* (altramuz de hoja estrecha), *L. luteus* (altramuz amarillo) y *L. mutabilis* (lupino andino), y varias presentaciones informaron estudios generales realizados sobre *Lupinus* spp. Investigaciones adicionales abarcaron aproximadamente 20 especies silvestres, incluyendo *L. cosentinii*, *L.*

exaltatus, *L. hartwegii*, *L. hispanicus*, *L. nootkatensis* y *L. polyphyllus*, aquí agrupadas como “otras especies”. Este análisis resalta la evolución de las líneas de investigación, identifica las especies más estudiadas y documenta la progresiva diversificación de la investigación sobre el altramuza a lo largo de cuatro décadas y media, demostrando la creciente relevancia científica y económica de este cultivo a nivel mundial.

Palabras clave: agronomía, biodiversidad, mejoramiento genético, genética, tecnología alimentaria, *Lupinus* spp., biología molecular, conferencias plenarias, reuniones científicas, aspectos sociales

Research on *Lupinus*, Faculty of Agronomy, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia / Investigaciones en *Lupinus*, Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia

Juan José Vicente Rojas^{1*}, José Luis Soto Mendizábal², Carmen Rosa Del Castillo Gutiérrez¹

¹ *Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia*

² *Consultor independiente, Bolivia*

*Corresponding author email: juanjose.vicente@yahoo.es

Abstract

Tarwi (*Lupinus mutabilis*) is grown in the department of La Paz in the region surrounding Lake Titicaca, serving as a source of income for farming families. In recent years, this crop has seen a relative surge in research and innovation driven by government programs, as well as platforms and other institutions that promote its production and consumption. The Universidad Mayor de San Andrés de La Paz has undertaken projects for this species ranging from primary production to biochemical analysis of the grain. For its part, the Faculty of Agronomy, in its role as a promoter of research and innovation, has carried out projects aimed at the revaluation and utilization of agrobiodiversity, among which the project “Tarwi cultivation as a resilient alternative to climate change” stands out. Likewise, at the program level, it has conducted research across various degree programs addressing thematic areas related to these forgotten and underutilized species, which are nonetheless promising and, recently, in high demand on the international market. This review article refers to undergraduate and graduate research studies conducted between 1997 and 2024 at the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andrés (Bolivia), which will establish a framework to guide future research (undergraduate theses) on this species and more effectively address emerging research needs regarding *Lupinus*. Systematization was achieved through a content analysis of the literature available in the University’s official repository, without taking into account indexed journals affiliated with research institutes. The studies have been classified by general and specific subject areas; a matrix has been structured with information on each degree thesis, including data on year, degree program, and subject areas; each document has been reviewed to verify proper classification; and, as an important aspect, the results of experimental grain yield were collected. The results consist of 39 published documents available in the Faculty of Agronomy library and digital repository, of which degree theses constitute 85%. In turn, 85% of the studies address the cultivated species *Lupinus* and 15% address wild species; 72% correspond to studies in agronomy and, to a lesser extent, to studies in agroindustry and socioeconomics. Within the agronomic area, the largest proportion corresponds to studies on agronomic management (crop rotation, planting densities, irrigation, varieties, seed), while in the socioeconomic area (13%), the focus is on production systems, marketing, and networks. Reported yields range from 533 to 1898 kg ha⁻¹, generally higher than the national average. Based on the results, it is concluded that there is a significant gap to be addressed regarding specific research topics, which must be comprehensively addressed in future studies, such as: resources and genetic improvement, planting seasons, planting densities, varieties, early maturity, biotechnology, IPM, agribusiness, proximate physical-chemical characterization, and diversified uses, among others, to improve the competitiveness of this crop’s production chain.

Keywords: literature review, systematization, *Lupinus*, yield

Resumen

El cultivo de tarwi (*Lupinus mutabilis*) en el departamento de La Paz se produce en la región circundante al lago Titicaca constituyéndose en una alternativa para la generación de ingresos

económicos para las familias productoras, durante los últimos años este cultivo ha tenido un relativo impulso en la investigación e innovación a partir de programas gubernamentales, así como plataformas y otras instituciones que promueven su producción y consumo. La Universidad Mayor de San Andrés de La Paz ha emprendido proyectos para esta especie que abarcan desde la producción primaria hasta análisis bioquímicos del grano. Por su parte la Facultad de Agronomía en su rol de promotor de generación de investigación e innovación, ejecutó proyectos orientados a la revalorización y aprovechamiento de la agro biodiversidad, entre los que se destaca el proyecto “El cultivo de tarwi como una alternativa resiliente al cambio climático”. Así también a nivel de sus carreras ha desarrollado investigaciones a nivel de diferentes modalidades de titulación que abordan ejes temáticos hacia estas especies olvidadas y subutilizadas pero a su vez promisorias y últimamente con alta demanda del mercado internacional. El presente artículo de revisión refiere a estudios de investigación a nivel de grado y posgrado que fueron desarrollados en el periodo (1997 – 2024) en la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (Bolivia), que establecerán una línea de referencia para orientar los futuros trabajos de investigación (tesis de grado) en esta especie y de manera más eficiente a las necesidades emergentes de investigación en *Lupinus*. Se ha recurrido a la sistematización mediante el análisis documental de contenido de la bibliografía disponible en el repositorio oficial de la Universidad sin tomar en cuenta las revistas indexadas dependientes de los Institutos de Investigación. Los estudios se han clasificado por áreas temáticas generales y específicos; se ha estructurado una matriz con la información de cada trabajo de titulación, con los datos de año, carrera, áreas temáticas, se ha revisado cada documento para verificar la adecuada clasificación, como aspecto importante se recabó los resultados del rendimiento de grano experimental. Los resultados consisten en 39 documentos publicados y disponibles en la biblioteca de la Facultad de Agronomía y repositorio digital, de los cuales las tesis de grado constituyen el 85%, a su vez 85% de los estudios abordan la especie cultivada de *Lupinus* y 15% especies silvestres, 72% corresponden a estudios en la agronomía y en menor proporción en estudios en agroindustria y socioeconomía, dentro del área agronómica la mayor proporción corresponde a estudios sobre el manejo agronómico (asociación de cultivos, densidades, riegos, variedades, semilla), en el área socioeconómica (13%) se enfocan a sistemas de producción, comercialización, redes. Respecto a los rendimientos reportados se hallan en el rango de 533 a 1898 kg ha⁻¹, de forma general mayor al rendimiento nacional promedio. En base los resultados se concluyen que existe una amplia brecha a cubrir con temas específicos en líneas de investigación, las mismas deben ser abordadas de forma integral en las futuras investigaciones como son: recursos y mejoramiento genético, épocas, densidades de siembra, variedades, precocidad, biotecnología, MIP, agroindustria, caracterización físico químico proximal, usos diversificados entre otros para mejorar la competitividad de la cadena productiva de este grano.

Palabras clave: análisis documental, sistematización, *Lupinus*, rendimiento

Morphological characterization and development of *Lupinus bilineatus* in an agricultural system of central Mexico / Caracterización morfológica y desarrollo de *Lupinus bilineatus* en un sistema agrícola del centro de México

Y. Garduño Hernández^{1*}, K. Bermúdez Torres¹, D. Álvarez Bernal³, M. A. Márquez Linares⁴, G. Cruz Cárdenas³, G. Cruz Flores²

¹*Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México*

²*Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, México*

³*Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán, México*

⁴*Centro Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango, México*

*Corresponding author email: ygardunoh2100@alumno.ipn.mx

Abstract

The intensive use of agrochemicals and continuous soil exploitation in Mexican agricultural systems have negatively affected soil fertility and sustainability. Leguminous species associated with nitrogen-fixing bacteria represent an alternative strategy for soil restoration. *Lupinus bilineatus*, a Mexican native legume species, stands as a high-potential green manure for enhancing atmospheric nitrogen fixation and restoring soil fertility in sustainable Mexican agroecosystems due to its symbiotic relationship with *Bradyrhizobium* spp. The objective of this study was to evaluate seed germination, survival rate, morphology, phenological development, and seed production of *L. bilineatus* under field conditions in an agricultural area of Amecameca, Mexico. Seeds were collected in Tres Marías, Morelos, in October 2020 and subjected to cold stratification (15 days at 4°C), mechanical scarification (No. 60 sandpaper), and washing with and disinfection with 1% soapy water and 1% Captan fungicide prior to sowing in seedbeds. Seedlings were later transplanted to an agricultural plot in April 2021. Germination reached 95% and transplant survival was 96.3%, indicating high establishment success. Morphological and phenological development were recorded every [two to three weeks] days from germination (day 0) until the reproductive cycle. Cotyledonary leaves emerged 11 days after sowing, while the first true leaves developed at 20 days and the second true leaves at 31 days. Transplantation was carried out in 43 days, flowering began at 394 days, and fruiting occurred at 438 days. Harvest started at 459 days and concluded at 517 days after germination. A total of 1520 g of seed was obtained from 25 plants with an average production of approximately 60 g per plant. The complete biological cycle under field conditions extended to 517 days. These results demonstrate that *L. bilineatus* presents high germination and survival rates, adequate adaptation to agricultural conditions, and significant seed production, supporting its potential use as a soil-improving species in sustainable farming systems. The characterization of its developmental stages contributes to understanding its agronomic management and potential incorporation into crop rotation programs aimed at restoring soil fertility in temperate highland regions.

Keywords: *Lupinus bilineatus*, germination, phenological development, soil fertility, sustainable agriculture

Resumen

El uso intensivo de agroquímicos y la continua explotación del suelo en los sistemas agrícolas mexicanos han afectado negativamente la fertilidad y la sostenibilidad del suelo. Las especies leguminosas asociadas con bacterias fijadoras de nitrógeno representan una estrategia alternativa para la restauración del suelo. *Lupinus bilineatus*, una especie leguminosa nativa de México, se destaca como un abono verde de alto potencial para mejorar la fijación de nitrógeno atmosférico y restaurar la fertilidad del suelo en agroecosistemas mexicanos sostenibles debido a su relación simbiótica con *Bradyrhizobium* spp. El objetivo de este estudio fue evaluar la germinación de semillas, la tasa de supervivencia, la morfología, el desarrollo fenológico y la producción de semillas de *L. bilineatus* en condiciones de campo en un área agrícola de Amecameca, México. Las semillas se recolectaron en Tres Marías, Morelos, en octubre de 2020 y se sometieron a estratificación en frío (15 días a 4 °C), escarificación mecánica (papel de lija n.º 60) y lavado y desinfección con agua jabonosa al 1 % y fungicida Captan al 1 % antes de la siembra en semilleros. Las plántulas se trasplantaron posteriormente a una parcela agrícola en abril de 2021. La germinación alcanzó el 95% y la supervivencia del trasplante fue del 96,3%, lo que indica un alto éxito de establecimiento. El desarrollo morfológico y fenológico se registró [cada dos a tres semanas], considerando días desde la germinación (día 0) hasta el ciclo reproductivo. Las hojas cotiledonares emergieron 11 días después de la siembra, mientras que las primeras hojas verdaderas se desarrollaron a los 20 días y las segundas hojas verdaderas a los 31 días. El trasplante se realizó en 43 días, la floración comenzó a los 394 días y la fructificación ocurrió a los 438 días. La cosecha comenzó a los 459 días y concluyó a los 517 días después de la germinación. Se obtuvo un total de 1520 g de semilla de 25 plantas con una producción promedio de aproximadamente 60 g por planta. El ciclo biológico completo en condiciones de campo se extendió a 517 días. Estos resultados demuestran que *L. bilineatus* presenta altas tasas de germinación y supervivencia, una adecuada adaptación a las condiciones agrícolas y una producción de semillas significativa, lo que respalda su potencial uso como especie mejoradora del suelo en sistemas agrícolas sostenibles. La caracterización de sus etapas de desarrollo contribuye a la comprensión de su manejo agronómico y su potencial incorporación a programas de rotación de cultivos destinados a restaurar la fertilidad del suelo en regiones de tierras altas templadas.

Palabras clave: *Lupinus bilineatus*, germinación, desarrollo fenológico, fertilidad del suelo, agricultura sostenible

Phytoremediation of glyphosate-contaminated soils using *Lupinus* for landscape and biodiversity conservation / Fitorremediación de suelos contaminados con glifosato utilizando *Lupinus* para la conservación del paisaje y la biodiversidad

Yamid Orozco Gómez^{1*}, Kalina Bermúdez Torres¹, Vicente Espinosa Hernández²

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

Corresponding author email: yorozcog2103@alumno.ipn.mx

Abstract

The widespread use of glyphosate-based herbicides has significantly increased agricultural productivity worldwide; however, their intensive and prolonged application has generated environmental concerns, including soil accumulation, disruption of microbial communities, and nutrient imbalances. Glyphosate residues can alter rhizosphere dynamics, interfere with symbiotic associations and reduce overall biological activity, thereby affecting ecosystem resilience. For this reason, sustainable phytoremediation strategies are required to restore soil functionality while maintaining agricultural productivity. Native legumes such as *Lupinus bilineatus* emerge as promising phytoremediation agents due to their high ecological plasticity and ability to enhance soil quality through biological conversion of atmospheric N₂ into ammonium (NH₄⁺) and phosphorus solubilization. The objective of this study was to evaluate the restorative and phytoremediation capacity of *L. bilineatus* in glyphosate-contaminated agricultural soils under control conditions. Using rhizotrons, we monitored real-time root dynamics, nodule formation, and microbial interactions in both contaminated and uncontaminated control soils. Additionally, physicochemical parameters including pH, organic matter, root biomass, and nutrient availability were recorded. Preliminary results indicate that contaminated agricultural soils exhibit macronutrient concentrations up to three times higher than those observed in uncontaminated soils. This imbalance, driven by intensive agrochemical use, promotes salinization and nutrient chelation processes that hinder nutrient uptake and phenological development. Conversely, in uncontaminated soils, *L. bilineatus* significantly improved soil health by stimulating microbial activity and facilitating nutrient exchange with neighboring plants. These findings suggest that *L. bilineatus* represents a viable and sustainable biotechnological tool for soil phytoremediation and the development of resilient agroecological landscapes in temperate highland regions.

Keywords: biological nitrogen fixation, rhizosphere dynamics, soil health, green manure, native legumes, agroecology, rhizotron

Resumen

El uso generalizado de herbicidas a base de glifosato ha incrementado significativamente la productividad agrícola a nivel mundial; sin embargo, su aplicación intensiva y prolongada ha generado preocupaciones ambientales, como la acumulación en el suelo, la alteración de las comunidades microbianas y los desequilibrios de nutrientes. Los residuos de glifosato pueden alterar la dinámica de la rizosfera, interferir con las asociaciones simbióticas y reducir la actividad biológica general, afectando así la resiliencia del ecosistema. Por esta razón, se requieren estrategias de fitorremediación sostenibles para restaurar la funcionalidad del suelo manteniendo la productividad agrícola. Las leguminosas nativas, como *Lupinus bilineatus*, se perfilan como agentes de fitorremediación prometedores debido a su alta plasticidad ecológica y su capacidad para mejorar la calidad del suelo mediante la conversión biológica del N₂

atmosférico en amonio (NH_4) y la solubilización de fósforo. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad restauradora y de fitorremediación de *L. bilineatus* en suelos agrícolas contaminados con glifosato bajo condiciones controladas. Mediante rizotrones, se monitorizó en tiempo real la dinámica radicular, la formación de nódulos y las interacciones microbianas tanto en suelos contaminados como en suelos control no contaminados. Además, se registraron parámetros fisicoquímicos como el pH, la materia orgánica, la biomasa radicular y la disponibilidad de nutrientes. Los resultados preliminares indican que los suelos agrícolas contaminados presentan concentraciones de macronutrientes hasta tres veces superiores a las observadas en suelos no contaminados. Este desequilibrio, provocado por el uso intensivo de agroquímicos, promueve la salinización y la quelación de nutrientes, lo que dificulta la absorción de nutrientes y el desarrollo fenológico. Por el contrario, en suelos no contaminados, *L. bilineatus* mejoró significativamente la salud del suelo al estimular la actividad microbiana y facilitar el intercambio de nutrientes con las plantas vecinas. Estos hallazgos sugieren que *L. bilineatus* representa una herramienta biotecnológica viable y sostenible para la fitorremediación del suelo y el desarrollo de paisajes agroecológicos resilientes en regiones de tierras altas templadas.

Palabras clave: fijación biológica de nitrógeno, dinámica de la rizosfera, salud del suelo, abono verde, leguminosas nativas, agroecología, rizotrófon

Analytical validation of a low-cost bioassay for monitoring selective quinolizidine alkaloid removal in *Lupinus mutabilis* via optimized supercritical fluid extraction / Validación analítica de un bioensayo de bajo costo para el monitoreo de la eliminación selectiva de alcaloides quinolizidínicos en *Lupinus mutabilis* mediante extracción optimizada con fluidos supercríticos

Victor Miranda-Garcia, Rodriguez-Paucar, G.

Doctoral Program in Agroindustrial Engineering, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Peru.

**Corresponding author email: farmaciavelev@gmail.com*

Abstract

The industrial processing of Tarwi (*Lupinus mutabilis*) requires efficient monitoring of quinolizidine alkaloids (QA) to meet safety standards. This research focuses on the analytical validation of a low-cost toxicity bioassay using *Artemia salina* larvae, contrasted with UV-Vis and HPLC-DAD techniques, for monitoring selective QA extraction via Supercritical Fluids (SFE). The SFE process was optimized using a Box-Behnken experimental design, evaluating pressures between 200–350 bar, temperatures from 45–65 °C, and ethanol as a co-solvent (10–20%). Total QA determination followed titration methods adapted from Von Baer (1979) and spectrophotometry based on the complex formation described by Grover et al. (2024). Additionally, the impact on the residual matrix was evaluated through lipid profile analysis (GC-FID), oxidative stability (Rancimat and Peroxide Value), and antinutrient reduction (tannins and phytates). Preliminary results show a strong correlation ($R^2 > 0.94$) between *Artemia salina* mortality and QA concentration. SFE proved highly selective, reducing QA from 4% to levels $<0.1\%$, while preserving the oxidative stability and antioxidant capacity of the debittered grain. Although specific data is part of a protected doctoral thesis with patent potential, these results validate the bioassay as a reliable, eco-friendly proxy for real-time process control in regions with limited analytical infrastructure.

Keywords: *Lupinus mutabilis*, supercritical fluids, Box-Behnken, *Artemia salina*, analytical validation

Resumen

El procesamiento industrial del tarwi (*Lupinus mutabilis*) requiere un monitoreo eficiente de los alcaloides quinolizidínicos (AQ) para garantizar los estándares de seguridad alimentaria ($<0.1\%$ de contenido residual). Esta investigación se centra en la validación analítica de un bioensayo de toxicidad de bajo costo utilizando larvas de *Artemia salina*, contrastado con técnicas de espectrofotometría UV-Vis y HPLC-DAD, para el monitoreo de la extracción selectiva de AQ mediante Fluidos Supercríticos (EFS). El proceso de EFS fue optimizado mediante un diseño experimental Box-Behnken, evaluando presiones entre 200–350 bar, temperaturas de 45–65 °C y el uso de etanol como cosolvente (10–20%). La determinación de los AQ totales se basó en métodos volumétricos adaptados de Von Baer (1979) y en la formación de complejos coloreados descrita por Grover et al. (2024). Adicionalmente, se evaluó el impacto del proceso en la matriz residual mediante el análisis del perfil lipídico (GC-FID), la estabilidad oxidativa (Rancimat e Índice de Peróxidos) y la reducción de antinutrientes como taninos y fitatos. Los resultados preliminares muestran una sólida correlación ($R^2 > 0.94$)

entre la tasa de mortalidad de *Artemia salina* y la concentración de AQ determinada por métodos instrumentales. La extracción con fluidos supercríticos demostró ser altamente selectiva, reduciendo el contenido de alcaloides de un inicial aproximado de 4% a niveles inferiores al 0.1%, preservando la estabilidad oxidativa y la capacidad antioxidante (ABTS/DPPH) del grano desamargado. Aunque los datos específicos se encuentran protegidos por el carácter inédito de una tesis doctoral y su potencial patentable, estos hallazgos validan al bioensayo como un indicador confiable y ecológico para el control de procesos en tiempo real en entornos con infraestructura analítica limitada.

Palabras clave: *Lupinus mutabilis*, fluidos supercríticos, Box-Behnken, *Artemia salina*, validación analítica

Improve nutrition by using *L. mutabilis* in baked goods, pasta and snacks / Mejora de la nutrición utilizando *L. mutabilis* en productos horneados, pasta y aperitivos

Patricia Glorio Paulet

Departamento de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Industrias Alimentarias Universidad Nacional Agraria-La Molina (UNALM). Lima Perú

**Corresponding author email: pgg@lamolina.edu.pe*

Abstract

Wheat bread has proved to be a highly acceptable food for different cultures around the world. However, wheat for bread is not of ubiquitous production, for some populations it is imported in more than 90%, depending on international prices. Some ingredients from biodiversity of Andean countries, locally produced, can be used to partial substitute wheat flour and improve nutritional value of bread with bioactive compounds not present in wheat and provided from *Lupinus*. Moreover, prices of partially substituted products which are frequently higher than wheat bread, can be perceived of less importance for Health-conscious food consumers. Especially when they consider the cost of medical treatments for non-transmissible diseases such as diabetes, cardiovascular, Crohn's disease and other types in inflammation associated to diet. This area of research is of worthy value since it will be possible to include more ingredients in mixtures which are more nutritive in comparison with traditional wheat bread. This effort is not new, but with new computational tools for optimize mixtures and, instrumental aids for determining textural changes without the need of meeting a training sensory panel, the probability of success nowadays increase for bread and for pasta innovations. Also, the possibility of delivery for those mixtures is nowadays a wide-open door with the Food 3D printing technology by which mixtures can adapt different shapes and forms suitable for each consumers need. Rheology studies of those mixtures is now possible with modern laboratory instruments that will help in the need of the food printing machine. Either way the acceptability safety and fate of the bioactive components and properties needs to be consider in the research of novel bakery product, pasta or innovative snacks made with 3D printing.

Keywords: 3D printing, health-conscious food consumers, *Lupinus*

Resumen

El pan de trigo ha demostrado ser un alimento muy aceptado en diversas culturas alrededor del mundo. Sin embargo, el trigo para pan no se produce de forma generalizada; en algunos países se importa en más del 90%, dependiendo de los precios internacionales. Algunos ingredientes de la biodiversidad de los países andinos, producidos localmente, pueden utilizarse para sustituir parcialmente la harina de trigo y mejorar el valor nutricional del pan con compuestos bioactivos no presentes en el trigo y aportados por el lupino. Además, los precios de los productos parcialmente sustituidos, que suelen ser más elevados que los del pan de trigo, pueden resultar menos relevantes para los consumidores preocupados por su salud. Especialmente si se tiene en cuenta el coste de los tratamientos médicos para enfermedades no transmisibles como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, la enfermedad de Crohn y otros tipos de inflamación asociados a la dieta. Esta área de investigación es de gran valor, ya que permitirá incluir más ingredientes en mezclas que sean más nutritivas en comparación con el pan de trigo tradicional. Este esfuerzo no es nuevo, pero con las nuevas herramientas computacionales para optimizar las mezclas y las ayudas instrumentales para determinar los

cambios de textura sin necesidad de un panel sensorial especializado, la probabilidad de éxito aumenta hoy en día para las innovaciones en pan y pasta. Además, la posibilidad de distribuir estas mezclas es hoy en día una gran ventaja gracias a la tecnología de impresión 3D de alimentos, que permite que las mezclas adopten diferentes formas y tamaños adaptados a las necesidades de cada consumidor. Los estudios reológicos de estas mezclas son ahora posibles con instrumentos de laboratorio modernos que complementan las necesidades de la máquina de impresión de alimentos. En cualquier caso, la aceptabilidad, la seguridad y el destino de los componentes y propiedades bioactivas deben considerarse en la investigación de nuevos productos de panadería, pasta o aperitivos innovadores elaborados mediante impresión 3D.

Palabras clave: impresión 3D, consumidores de alimentos saludables, lupino

Advances in the genetic improvement of chocho (*Lupinus mutabilis*) in Ecuador / Avances en el mejoramiento genético del chocho (*Lupinus mutabilis*) en Ecuador

Diego Rodríguez-Ortega

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Cutuglagua, Ecuador

Corresponding author email: diego.rodriguez@iniap.gob.ec

Abstract

Lupinus mutabilis (chocho) is a native Andean legume with high nutritional value due to its elevated protein and oil content; however, its wider adoption has been limited by the presence of quinolizidine alkaloids in the seeds and by agronomic constraints. In Ecuador, a breeding program has been progressively developed to address these limitations through an integrated approach combining germplasm characterization, genetic improvement, and agronomic evaluation. As a first step, the national germplasm collection was characterized to assess genetic diversity and agronomic performance, providing a foundation for the selection of promising materials and the identification of key traits for breeding. These efforts resulted in the identification of significant variability for yield-related and quality traits, as well as the publication of a comprehensive study on the diversity and agronomic performance of *L. mutabilis* germplasm. Based on this genetic variability, crossing programs were initiated to develop genotypes with reduced alkaloid content. As a result, several promising lines with low alkaloid levels have been obtained and are currently under evaluation. In parallel, methodologies for alkaloid quantification were standardized, improving the accuracy and reproducibility of selection processes. Additionally, studies were conducted to evaluate the effect of environmental conditions on seed protein, oil, and alkaloid content, demonstrating the strong influence of environmental factors on nutritional traits and supporting the need for multi-environment testing. At the molecular level, efforts have been made to identify loci associated with alkaloid content in *L. mutabilis*, contributing to the understanding of the genetic control of this trait and opening opportunities for marker-assisted selection. Furthermore, interspecific crosses with wild lupin species have been successfully performed, demonstrating compatibility and providing a valuable source of genetic variability for traits not present in cultivated materials. Future research will focus on the development of improved varieties combining low alkaloid content, high nutritional quality, and enhanced agronomic performance. In particular, breeding strategies will incorporate resistance to biotic and abiotic stresses through the use of wild relatives, as well as traits that facilitate mechanized harvesting, which is essential for scaling up production. These efforts aim to strengthen the role of *L. mutabilis* as a strategic crop for food security, sustainable agriculture, and agro-industrial development in the Andean region.

Keywords: chocho, plant breeding, alkaloid content, sustainable agriculture

Resumen

Lupinus mutabilis (chocho) es una leguminosa andina nativa con alto valor nutricional debido a su elevado contenido de proteínas y aceite; sin embargo, su adopción generalizada se ha visto limitada por la presencia de alcaloides quinolizidínicos en las semillas y por restricciones agronómicas. En Ecuador, se ha desarrollado progresivamente un programa de mejoramiento

genético para abordar estas limitaciones mediante un enfoque integrado que combina la caracterización del germoplasma, el mejoramiento genético y la evaluación agronómica. Como primer paso, se caracterizó la colección nacional de germoplasma para evaluar la diversidad genética y el desempeño agronómico, sentando las bases para la selección de materiales prometedores y la identificación de rasgos clave para el mejoramiento. Estos esfuerzos dieron como resultado la identificación de una variabilidad significativa en rasgos relacionados con el rendimiento y la calidad, así como la publicación de un estudio exhaustivo sobre la diversidad y el desempeño agronómico del germoplasma de *L. mutabilis*. Con base en esta variabilidad genética, se iniciaron programas de cruzamiento para desarrollar genotipos con menor contenido de alcaloides. Como resultado, se han obtenido varias líneas prometedoras con bajos niveles de alcaloides, las cuales se encuentran actualmente en evaluación. Paralelamente, se estandarizaron las metodologías para la cuantificación de alcaloides, mejorando la precisión y la reproducibilidad de los procesos de selección. Además, se realizaron estudios para evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre el contenido de proteína, aceite y alcaloides en las semillas, demostrando la fuerte influencia de los factores ambientales en los rasgos nutricionales y respaldando la necesidad de realizar pruebas en múltiples ambientes. A nivel molecular, se han realizado esfuerzos para identificar loci asociados con el contenido de alcaloides en *L. mutabilis*, contribuyendo a la comprensión del control genético de este rasgo y abriendo oportunidades para la selección asistida por marcadores. Asimismo, se han realizado con éxito cruces interespecíficos con especies silvestres de lupino, demostrando compatibilidad y proporcionando una valiosa fuente de variabilidad genética para rasgos no presentes en los materiales cultivados. La investigación futura se centrará en el desarrollo de variedades mejoradas que combinen bajo contenido de alcaloides, alta calidad nutricional y un mejor desempeño agronómico. En particular, las estrategias de mejoramiento incorporarán resistencia a estrés biótico y abiótico mediante el uso de parientes silvestres, así como rasgos que faciliten la cosecha mecanizada, esencial para la ampliación de la producción. Estos esfuerzos buscan fortalecer el papel de *L. mutabilis* como cultivo estratégico para la seguridad alimentaria, la agricultura sostenible y el desarrollo agroindustrial en la región andina.

Palabras clave: chocho, mejoramiento vegetal, contenido de alcaloides, agricultura sostenible

Strategic Partner:



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Sponsorship:



Organizers:

