



Adaptabilidad de dos especies de *Lupinus* en diferentes ambientes de los valles interandinos de Bolivia

Adaptability of two species of *Lupinus* in different environments of the high inter-Andean valleys from Bolivia

Vallejos Arnéz Juan^{1*} , Mamani Rojas Pablo¹ , Huiza Nina Javier¹ , Gabriel-Ortega Julio^{1,2} 

Datos del Artículo

¹Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA)
Av. Menecees s/n Km 4 Zona El Paso.
Quillacollo, Cochabamba.
Estado Plurinacional de Bolivia.

²Universidad Estatal del Sur de Manabí
Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura
km 1.5 vía Noboa, Campus los Ángeles
Jipijapa, Manabí, Ecuador.

*Dirección de contacto:

Juan Vallejos Arnéz
Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA)
Av. Menecees s/n Km 4 Zona El Paso.
Quillacollo, Cochabamba.
Estado Plurinacional de Bolivia.
Tel: +51 951592123
E-mail: j.vallejos@proinpa.org

Palabras clave:

Lupinus,
Angustifolius,
Albus,
Jatunta,
Chejchita,
cultivar,
genotipo.

J. Selva Andina Biosph.
2021; 9(1):69-80.

ID del artículo: 109/JSAB/2021

Historial del artículo.

Recibido agosto, 2021.
Devuelto octubre, 2021.
Aceptado octubre, 2021.
Disponible en línea, noviembre 2021.

Resumen

Con el objetivo de evaluar la adaptación de dos nuevas especies de *Lupinus* (*Lupinus angustifolius* y *Lupinus albus*) a los valles interandinos de Bolivia, fueron evaluados las dos especies mencionadas durante cinco años (campañas agrícolas 2015-2019) en los valles interandinos de Bolivia. Las evaluaciones fueron realizadas en cinco municipios de Cochabamba y uno en Potosí. A través de los cinco años de evaluación se implementaron 36 parcelas de Chejchita y 18 de Jatunta en Cochabamba. En Potosí fueron implementadas 70 parcelas de Chejchita y cinco parcelas de Jatunta. Para determinar el rendimiento se cosecharon muestras de un 1 m² por parcela de cada cultivar y se realizó de 4 a 20 muestras por parcela. Las parcelas fueron implementadas bajo un diseño de bloques completamente aleatorios con sub-muestreos, donde los bloques fueron las localidades. Se realizó análisis de varianza para determinar los efectos fijos y aleatorios utilizando un análisis de experimentos en serie. Las comparaciones de medias fueron realizadas mediante la prueba de Tukey al P<0.05 de probabilidad. Asimismo, se analizó la interacción genotipo x ambiente para determinar el comportamiento de cada especie en cada zona. Los resultados mostraron que, en todas las localidades, el cultivar Jatunta fue superior en rendimiento. El mayor rendimiento se obtuvo en Colomi para ambas especies, asimismo, Chejchita tuvo un comportamiento diferente en cada localidad, mientras Jatunta busca ambientes mejores para mostrar su potencial de rendimiento. En base al análisis de rendimiento genotipo x ambiente, Chejchita mostró un comportamiento estable en todas las localidades evaluadas; sin embargo, la estabilidad no fue consistente. Por otro lado, Jatunta tuvo rendimientos superiores en ambientes favorables, contrariamente en ambientes desfavorables, la variedad Jatunta tuvo rendimientos inferiores a Chejchita.

2021. *Journal of the Selva Andina Biosphere*®. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

With the objective of evaluating the adaptation of two new species of *Lupinus* cultivars (*Lupinus angustifolius* and *Lupinus albus*) to the inter-Andean highland valleys of Bolivia, the two mentioned species were evaluated for five years (agricultural seasons 2015-2019) in the high Andean valleys from Bolivia. The evaluations were carried out in five municipalities of Cochabamba and one in Potosí. Through the five years of evaluation, 36 plots from Chejchita and 18 from Jatunta were implemented in Cochabamba. In Potosí, 70 Chejchita plots and five Jatunta plots were implemented. To determine the yield, samples of 1 m² per plot of each cultivar, and 4 to 20 samples were made per plot. The plots were implemented under a completely randomized block design with sub-samplings, where the blocks were the localities. Analysis of variance was performed to determine the fixed and random effects using an analysis of serial experiments. The comparison of means was performed using the Tukey test at P <0.05 probability. Likewise, the genotype x environment interaction was analyzed to determine the behavior of each species in each

Editado por:
Selva Andina
Research Society

Keywords:

Lupinus,
Angustifolius,
Albus,
Jatunta,
Chejchita,
cultivars,
genotype.

zone. The results showed that in all localities, the Jatunta cultivar was superior in yield. The highest yield was obtained in Colomi for both species; likewise, Chejchita had a different behavior in each locality, while Jatunta looks for better environments to show its performance potential. Based on environment genotype x environment yield analysis, Chejchita showed a stable behavior in all the evaluated localities; however, the stability was not consistent. On the other hand, Jatunta had higher yields in favorable environments, contrary to unfavorable environments, the Jatunta variety had lower yields than Chejchita.

2021. Journal of the Selva Andina Biosphere®. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

El género *Lupinus* está ampliamente distribuido en el mundo, existen alrededor de 400 especies en diferentes continentes y ecosistemas¹. Su origen se encuentra en la región mediterránea². Las especies cultivadas de importancia: *L. albus*, *L. luteus*, *L. angustifolius* y *L. mutabilis*³. Los lupinus se caracterizan por presentar un alcaloide en la semilla⁴, trabajos de muchos años en Europa y Australia lograron obtener “lupinos dulces” de las especies *L. albus*, *L. luteus* y *L. angustifolius*, libre de alcaloides⁵. Este hecho fue muy importante para promover su cultivo y consumo, tanto para humanos como animales⁵. Actualmente *L. albus* se cultiva en Europa y *L. angustifolius* en Australia⁶.

En la zona andina se a domesticado *L. mutabilis*, o tarwi como se la conoce y cultiva en zonas marginales de Bolivia, Ecuador y Perú⁷, esta especie conocida como tarwi o chocho, presenta el alcaloide en su grano, antes de su consumo, debiendo ser procesada para eliminar el sabor amargo, lo que reduce su consumo e incrementa su costo⁸.

Los lupinos son muy importantes, porque mejoran las propiedades del suelo cultivado, y por su alto valor nutritivo, se destaca su alto contenido de proteína, comparado con la soya (31 %), *L. angustifolius* 31 %, *L. albus* 37 % y *L. mutabilis* 47 %. Pueden jugar un rol importante para combatir la desnutrición, obesidad, constituyéndose en una alternativa a la proteína animal⁹.

La especie *L. angustifolius* L. (lupino de hoja estrecha), se cree es originario de la costa mediterránea¹⁰, un importante cultivo de leguminosa de grano en diferentes partes del mundo¹⁰. En Australia Occidental se cultivan más de un millón de ha¹¹, produciendo alrededor de 1 t ha⁻¹, este valor aumenta a una tasa promedio de 1.3 % por año¹². Otras áreas de cultivo importante están ubicadas en Polonia (cerca de 60000 ha), Sur África (aproximadamente 30000 ha) y Chile (5000-11000 ha), siendo la producción mundial total de cereales de dulces altramuces de hoja estrecha estimadas en alrededor de 1.8 millones toneladas por año, lo que representa el 3 % del total mundial producción de legumbres¹³. En comparación con otras legumbres, las semillas de lupino tienen un alto contenido de proteína y niveles altos de alcaloides, que son extraíbles genéticamente (cultivares dulces) o por procesamiento¹⁴. *L. angustifolius*, puede estar en alturas de 2000 msnm, en zonas con mediana precipitación de lluvias de 200 a 1500 mm y suelos con un rango de pH de 4.2-9.0¹⁵.

La especie *L. albus*, denominado en muchos sitios del mundo como altramuz blanco es una especie del Viejo Mundo principalmente distribuidos por el Mediterráneo^{4,16} y a lo largo del Valle del Nilo. En estas áreas fue cultivado tradicionalmente durante varios miles de años, estas poblaciones cultivadas constituyen los recursos genéticos de la especie y son todos

materiales amargos con un hábito de crecimiento indeterminado. Debido a la modificación de las prácticas agrícolas, la erosión genética en estas áreas ha sido extremadamente rápida¹⁶. El lupino blanco (*L. albus*) amargo es cultivado en el sur de Chile por pequeños agricultores, en su mayoría Mapuches, y se exporta para consumo humano a países europeos y árabes¹⁷. La variedad Boroa-INIA proviene de una planta individual colectada en la Región de La Araucanía (37°30'-39°30' S). Es un lupino blanco de hábito de crecimiento indeterminado, perteneciente al tipo conocido como "Local". Lupinos amargos llamados "alto-calibre", introducidos en los 90's, son muy interesantes por su tamaño, pero más susceptibles a la antracnosis, de menor rendimiento que el tipo "Local"¹⁷. La principal característica de la variedad Boroa-INIA es su peso medio de grano dentro del tipo "Local", que con época de siembra oportuna ha sido aproximadamente 636 mg grano⁻¹, 32 % superior al testigo que representa el promedio de este tipo. Con el peso medio mencionado, más de 80 % del grano alcanza un calibre de 13 mm. o superior. Sembrado en época apropiada, Boroa-INIA rindió 6.3 t ha⁻¹, en siembras tardías 4.8 t ha⁻¹¹⁷.

Las características diferenciales de *L. albus* y *L. angustifolius* respecto a *L. mutabilis* son principalmente: i) *L. albus* y *L. Angustifolius* son de ciclo más corto (1 a 2 meses menos), por tanto tienen mejor oportunidad de escapar a factores que la afectan (plagas, enfermedades, heladas y granizos), ii) la floración de los lupinus dulces es homogénea, es decir que, maduran al mismo tiempo, por tanto, se cosecha una sola vez y se puede usar maquinaria, *L. mutabilis* tienen floración indeterminada razón que, la cosecha es manual y varias veces, este factor incrementa los costos de producción, iii) los rendimientos de los lupinus dulces alcanzan a 1000 kg/ha comparados con los 350 kg/ha de los amargos, iv) al no necesitar un proceso de desamargado, facilita que las familias puedan incrementar el consumo del lupino aprovechando las cualidades nutritivas de este grano, v)

oportunidad de que el precio unitario del lupino dulce sea más alto que el tarwi amargo, vi) el lupino dulce utiliza el mismo manejo integrado que se aplica al tarwi amargo, que se basa en el uso de rizobias, uso de semilla de alta calidad, manejo integrado de plagas y enfermedades y poscosecha mecanizada¹⁸⁻²¹. Sobre la base de lo mencionado, el objetivo de la presente investigación fue determinar la adaptación de los cultivares Jatunta (*L. albus*) y Chejchita (*L. angustifolius*) en diferentes zonas agroecológicas de Bolivia.

Materiales y métodos

Zonas de estudio. Durante las campañas 2015 al 2019, se realizó la evaluación de rendimiento y adaptación de dos especies de lupinus en 18 comunidades de seis municipios del departamento de Cochabamba (Anzaldo, Colomi, Tiraque, Punata y el Paso-Quillacollo) y Potosí (Acasio)²². A través de los cinco años de evaluación se implementaron 36 parcelas de Chejchita y 18 de Jatunta en Cochabamba. En Potosí fueron implementadas 70 parcelas de Chejchita y cinco parcelas de Jatunta. En cada comunidad se implementaron parcelas con las dos especies, las superficies oscilaban de 1500 a 2000 m².

En una de las incursiones de recolección de material de tarwi, Técnicos de PROINPA recolectaron material de tarwi dulce de una feria del norte de La Paz, este material fue utilizado para los propósitos del estudio. Estos materiales en la actualidad tienen su certificado de registro.

La semilla fue tratada previamente con Pyraclostrobin+metiltiofanato a una dosis de 100 cm³/100 kg de semilla, más un insecticida Imidacloprid a razón de 45 g/100 kg de semilla. Se utilizó 50 kg/ha para Jatunta y 60 kg/ha para Chejchita. La densidad de siembra fue de 70 cm entre surcos y entre plantas 20 a 30 cm y a dos o tres semillas por golpe. La siembra se realizó con yunta en todas las parcelas.

Tabla 1 Condiciones agroambientales de las zonas de estudio²³

Departamento	Municipio	Altura (msnm)	Latitud sur	Longitud oeste	Temperatura medial anual (°C)	Precipitación promedio mm	Características agroecológicas
Cochabamba	Anzaldo	3100	17° 46' 46"	65° 55' 56"	7-14 °C	208-619	Valles interandinos
	Colomi	3200	17° 23' 34"	66° 20' 34"	13.5-24 °C	535	Zona de Puna:
	Punata	2700	17° 36' 46"	65° 53' 34"	65° 53' 34"	458	Valles secos interandinos
	Tiraque	4200	17° 20' 16"	66° 37' 14"	65° 53' 34"	550-650	Zona andina
	El Paso	2577	17°25'30"	66°11'30"	13-27 °C	500	Valle semiárido
Potosí	Acasio	3100-3800	18°01'00"	66°05'00"	13.9 a 16,8 C°	550	Zona Andina

Tabla 2 Cultivares de *Lupinus* utilizados en la evaluación²⁴

Cultivar	Especie	Origen	Características
Chejchita	<i>L. angustifolius</i>	Semillas Baer-Chile	Crecimiento indeterminado, color de la planta lila, grano gris reticulado, dulce de madurez pareja
Jatunta	<i>L. albus</i>	Semillas Baer-Chile	Crecimiento indeterminado, grano blanco mediano, de madurez pareja.

Manejo de las parcelas. Para el control de enfermedades fungosas como la antracnosis (*Colletotrichum* spp.) se aplicó el Bacterial Mix a razón de 200 cm³/20 L, cuando las plantas tenían 10 a 15 cm, asimismo cuando la incidencia de la enfermedad fue alta se aplicó el Carbendazim a razón de 50 cm³/20 L, más el Tiametoxam de 40 cm³/20 L, de agua para el control de insectos. El control de las malezas se realizó a través del aporque desde los 70 días hasta los 90 días después de la emergencia.

Cosecha. Para la determinación de rendimiento se cosecharon muestras de un metro cuadrado en cada parcela y en cada especie, y dependiendo de la superficie de la parcela, las muestras variaron de 4 a 20 muestras por parcela.

Variables de respuesta. Rendimiento (kg/ha), número de vainas por planta, número de granos por planta, tamaño de vaina, tolerancia a la sequía, granizada, daño por insectos, número de nódulos por planta y duración ciclo vegetativo de las dos variedades en días.

La cuantificación de la cantidad de rhizobias por variedad se realizó durante la floración. Las variables rendimiento, número de vainas por planta, número de granos por planta, se realizó durante la cosecha. Mientras, la evaluación de las variables, tolerancia a

la sequía, granizada, daño por insectos, duración ciclo vegetativo se realizó utilizando una escala cualitativa de calificación.

Análisis estadístico. Las variables cuantitativas fueron analizadas bajo un diseño de bloques completamente al aleatorio (DBCA) con sub-muestreo previa verificación de los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas²⁵.

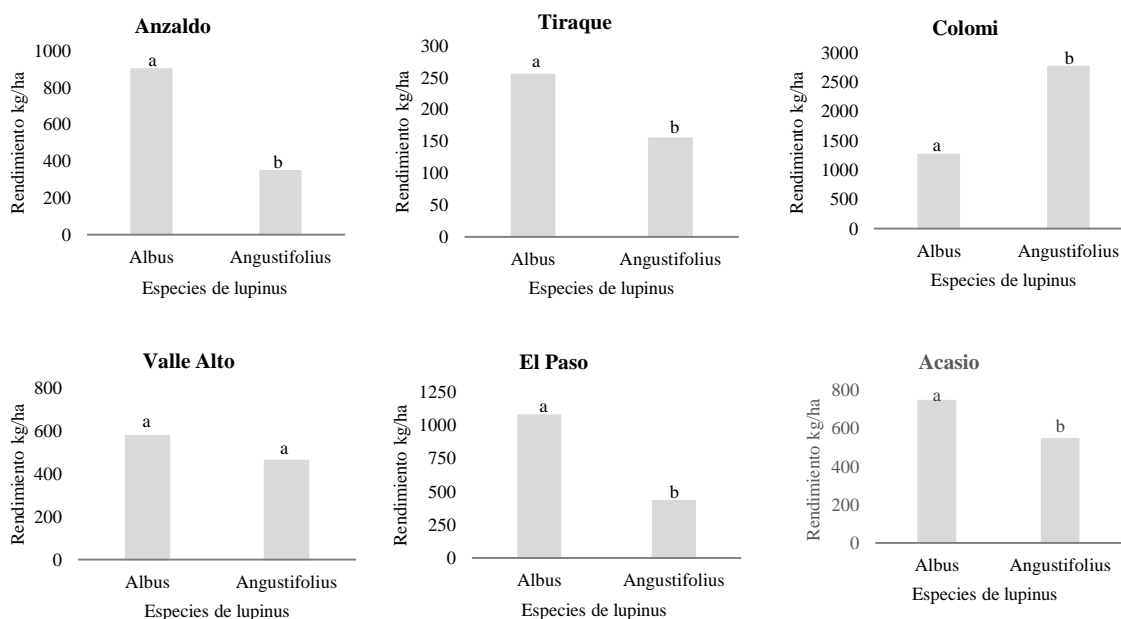
Análisis de la interacción genotipo x ambiente. Se cosecharon muestras de plantas de un metro cuadrado en cada parcela y variedad. Dependiendo de la superficie de la parcela, las muestras de rendimiento variaron desde 4 a 20 muestras. Se analizó la interacción genotipo x ambiente considerando la variable rendimiento (kg/ha). Se elaboró una base de datos de todas las muestras considerando localidades y especies, lo cual permitió hacer un análisis de los efectos simples debido a genotipos y localidades, y también los efectos de interacción. El análisis de varianza y la comparación de medias se realizaron bajo un DBCA con sub-muestreo, los bloques representaron las localidades^{26,27}. El análisis de estabilidad fenotípica se desarrolló de acuerdo al modelo de Eberhart & Russell¹¹. Asimismo, se analizó la interacción genotipo x ambiente considerando la variable rendimiento (kg/ha) para determinar el comportamiento de cada especie en cada zona.

Evaluaciones participativas. Las evaluaciones se realizaron en dos oportunidades una a la formación de las vainas y otra a la cosecha, utilizando la metodología de evaluación absoluta recomendada por Ashby 1991²⁸. Durante la formación de vainas participaron hombres y mujeres que evaluaron, el tamaño de las plantas, tamaño de las vainas, follaje y la formación de las rhizobias. La evaluación en la cosecha se limitó al tamaño de grano, tiempo de cocción y la degustación.

Resultados

En la Figura 1, se observa que, en todas las localidades, la especie *L. albus* (cultivar Jatunta) fue superior en rendimiento respecto de *L. angustifolius* (cultivar Chejchita) a excepción de Colomi, los rendimientos fueron superiores para ambas especies. En Colomi, el rendimiento superior de Chejchita posiblemente se debió a la precocidad.

Figura 1 Rendimiento de cultivares de *Lupinus*: Jatunta (*L. albus*) y Chejchita (*L. angustifolius*) en la ecorregión semiárida (Anzaldo y Acasio), semihumeda (Tiraque, Colomi) y Valles (Punata y El Paso) de Cochabamba



En zonas semiáridas como Anzaldo y Acasio, se determinó que el ciclo de *L. angustifolius* se aceleró a 3.5 meses. Respecto al número de vainas por planta, en Colomi, las plantas de *L. albus* tuvieron un promedio de 42 vainas por planta con 11 cm de largo y cinco granos por vaina. En cambio, en Anzaldo el número de vainas por planta fue 31, las vainas midieron 6 a 7 cm, con 3 a 5 granos. En el Valle Alto y El Paso, el número de vainas por planta fue de 26 y las vainas midieron de 5 a 6 cm.

Comparando las parcelas aledañas de *L. mutabilis* que la nodulación por rhizobium fue 45 a 55 % superior al de *L. albus* y 80 a 93 % superior al de *L. angustifolius*. Respecto a la biomasa foliar fresca, *L. angustifolius* produce cerca de 1800 kg/ha y radicular 300 kg/ha, de muy poca formación de nódulos de rhizobias en las raíces (7 a 15 nódulos por planta) respecto a *L. mutabilis* y *L. albus*.

Análisis de rendimiento por ecorregiones. Cuando se comparó las ecorregiones (Altoandina vs. Valles),

los rendimientos para *L. albus* fueron parecidos tanto para las zonas Altoandinas como para los Valles,

mientras que para *L. angustifolius* (Figura 2 y 3).

Figura 2 Efecto de la altura msnm (alturas) en el rendimiento de dos especies de lupinus

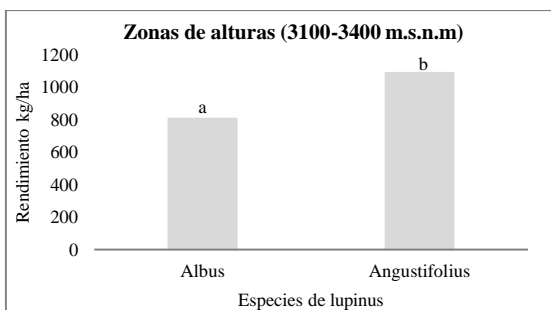


Figura 3 Efecto de la altura msnm (Valles) en el rendimiento de dos especies de lupinus

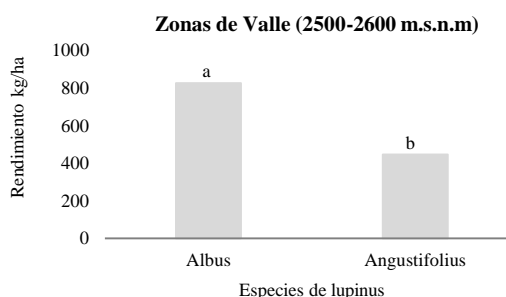


Tabla 3 Análisis de varianza para rendimiento e interacción genotipo x ambiente de dos especies de lupinus

Fuente de Variación	Gl	SC	F	Pr>F
Localidades (Loc)	4	2.63314784	40.63	<.0001
Especies de lupinus (Esp)	1	0.2038880	15.73	<.0001
Loc*Esp	3	1.0673496	20.79	<.0001
Error	91	1.17936639		
Total	101	5.6125576		

Análisis combinado de la interacción genotipo x ambiente. El análisis de varianza (Tabla 3), presenta diferencias altamente significativas al $P < 0.01$ de probabilidad para rendimiento entre los dos cultivares de *Lupinus*.

La comparación de medias de rendimiento, mediante la prueba de Tukey ($Pr < 0.05$), el *L. albus* y *L. angustifolius* con rendimientos superiores bajo las condiciones de Altura (Figura 2), sin embargo, los rendimientos inferiores y distintos bajo las condiciones de los Valles (Figura 3).

Análisis de estabilidad de dos especies de Lupinus sp. De acuerdo con las medias de rendimiento y los parámetros de estabilidad de las dos especies de *Lupinus*, se puede mencionar que el coeficiente de regresión de *L. angustifolius* no difirió significativamente de la unidad, sin embargo, las desviaciones de la regresión fueron altamente significativas (Tabla 4).

Tabla 4 Análisis de estabilidad de dos especies de Lupinus (P<0.05)

Especies de lupinus	Sc	Bi	F	Pr>F	Prob. desvió regresión	Descripción
<i>L. albus</i>	14020427	1.07	9.84	0.034 ns	8E-212**	Responde mejor en ambientes desfavorables pero inconsistente
<i>L. angustifolius</i>	8126949.7	0.94	8.58	0.061 ns	1.9E-210**	Responde mejor en todos los ambientes e inconsistente

**= altamente significativo, ns= no significativo

Por otro lado, *L. albus* tiene rendimientos superiores en ambientes favorables, contrariamente en ambientes desfavorables, la especie tiene rendimientos inferiores a la de *L. angustifolius* (Figura 4 y 5).

Figura 4 Respuesta de dos especies de *Lupinus* sp. a seis ambientes

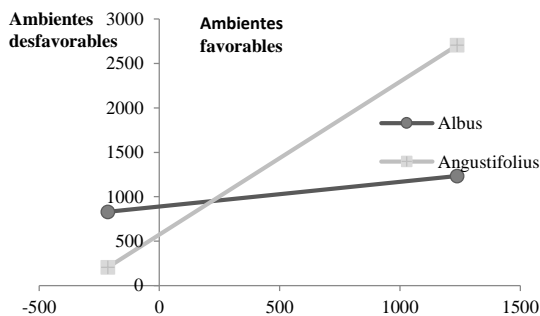


Figura 5 Efecto de seis ambientes en el rendimiento de dos especies de *Lupinus* sp

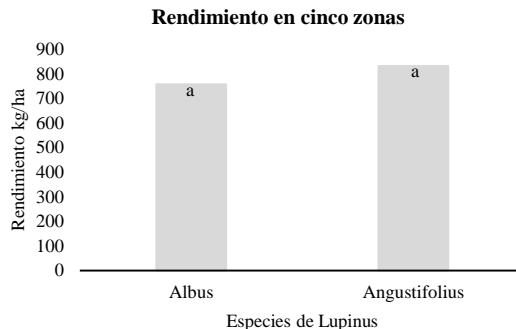


Tabla 5 Evaluación participativa de la producción de *L. albus* y *L. angustifolius* por agricultores (as) en la zona Altoandina semiárida de Anzaldo

Evaluador	<i>L. albus</i> (Jatunta)			<i>L. angustifolius</i> (Chejchita)		
	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo
Mujeres	Es bueno para consumir. Produce bien. Se puede sembrar junto con tarwi. Es dulce y su semilla es grande. Es necesario deshierbar y sembrar en suelos buenos. No necesita lavar.	Se debe fumigar de las enfermedades.	Su producción depende de la lluvia y buenos suelos.	Es pequeño, pero produce bien. Se puede sembrar junto con tarwi. Se puede sembrar tarde si no hay lluvias. No necesita lavar.	Los niños pueden utilizar para jugar. Se debe usar control químico.	Necesita buenos suelos.
Hombres	Tendríamos que probarlo en nuestras parcelas. Sus vainas son buenas y su grano es grande.		Es difícil de trillar, porque las vainas son duras y espinosos	Tendríamos que probarlo en nuestras parcelas. Su ciclo es corto como la papa holandesa. Con riego se puede producir hasta 2 veces por año.		Es difícil de trillar, porque las vainas son duras y espinosos

Evaluaciones participativas. En la Tabla 5, se observa los resultados de la evaluación participativa. Las mujeres destacaron el valor de ambas especies de *L. albus*, por su uso como alimento al no ser amargos y de grano grande. Mencionaron que *L. albus*, es muy parecido a la especie de *L. mutabilis* (tarwi), que ellas conocen. También destacan el uso forrajero, ya que podría usarse como biomasa fresca y rastrojo para el ganado. Los hombres destacaron el valor de estos

cultivos en la mejora de los suelos y la productividad de *L. albus* respecto a *L. mutabilis*. Asimismo, destacaron la precocidad de *L. angustifolius*, que observaron el escape a la sequía. Mencionaron tanto hombres como mujeres, que las especies de *Lupinus* evaluados tuvieron un sabor diferente al de *L. mutabilis*, indicaron que tienen testa gruesa, desventaja que podría mermar el uso en la alimentación de las familias.

Tabla 6 Degustación de las variedades *L. albus* y *L. angustifolius* por agricultores (as) en la zona Altoandina semiárida de Anzaldo

Evaluador	<i>L. albus</i> (Jatunta)			<i>L. angustifolius</i> (Chejchita)		
	Bueno	Regular	Malo	Bueno	Regular	Malo
Mujeres		Es regular para comer, su cascara es gruesa, pero se puede hacer varios preparados. Se puede vender mejor que el tarwi local. Para cocer el grano se necesita bastante leña			La cascara es gruesa, dificulta su consumo directo. En seco el grano es muy duro. Se puede consumir como arveja en verde. Para cocer el grano se necesita bastante leña	
Hombres	En campo desarrolla bien, puede mejorar el suelo. El follaje puede consumir los amínales			En regiones como Anzaldo y Acasio donde hay granizada y helada, esta variedad puede resistir		

En la Tabla 6, se observa que cuando los agricultores realizaron la degustación y compararon las dos cultivos dulces, encontraron algunas similitudes, como que las dos especies evaluadas tienen cascara gruesa, y que esto dificulta el consumo. Además, mencionaron que para cocer el grano de estas especies se necesitó mucho más tiempo y mucha más leña.

Discusión

Se pudo observar que las especies de *Lupinus* evaluados fueron precoces respecto al ecotipo local, al respecto investigaciones realizadas en Chile²⁴, determinaron que el ciclo vegetativo de estas dos especies fue de 7 a 7.5 meses. En Anzaldo, se pudo determinar que el ciclo de *L. angustifolius*, se aceleró a 3.5 meses, respecto a 6.3 meses de *L. albus*. Mientras que en Colomi, los ciclos incrementaron a 4.8 meses para *L. angustifolius* y 7.8 meses para *L. albus*, este incremento posiblemente se debe a las condiciones favorables que ofrece la zona, como son, humedad relativa, calidad de suelos (profundos y orgánicos). Se observó que cuando hay efectos de sequía, ambas especies sufren, pero aceleran su desarrollo acortando su ciclo, particularmente *L. angustifolius*, aspecto que fue observado y reportado.

Pudimos observar que las condiciones como sequía y granizada limitan el rendimiento de los cultivos, sin embargo, bajo las condiciones de Colomi, *L. albus* tuvo rendimientos superiores a *L. angustifolius*. Asimismo, la especie *L. albus*, tuvo una buena biomasa foliar, formación radicular y maduración uniforme, adecuándose mejor bajo las condiciones de Colomi. Esto sugiere, que esta especie es una buena alternativa de cultivo para las zonas donde los suelos son francos, profundos y de buena fertilidad, sin embargo, en estas zonas tendría que competir con otras leguminosas como la arveja (*Pisum sativum*), haba (*Vicia faba*) y tarwi (*L. mutabilis*), lo cual podría limitar su difusión en la zona. En general se aprecia, que el comportamiento favorable de los lupinus en las alturas, sugiere que prefieren zonas frías con temperaturas de 8 a 13 °C, suelos francos fértiles, profundos y húmedos. Sin embargo, se ha observado también que ambos cultivos pueden incrementar sus rendimientos en la zona de los valles cuando las condiciones de suelo y humedad son óptimas. La producción de granos por vaina en ambas especies fue diferente, observándose en promedio valores que van entre 3.2 granos para *L. angustifolius* y 2.3 granos para *L. albus*. Al respecto Hoballah et al.²⁹, señala que la cantidad adecuada de granos por vaina

varía entre 3.6 granos para *L. albus* y 5.3 para *L. angustifolius*. Fue notorio observar que los veranillos presentes en las zonas de evaluación especialmente en Anzaldo y Acasio, afectaron el rendimiento de ambas especies. Pero pueden tener rendimientos superiores a 1000 kg/ha cuando las condiciones son óptimas (buena humedad, fertilidad del suelo, buena distribución de lluvias, suelos francos y temperaturas bajas). Al respecto Vallejos et al.⁹ reportaron rendimientos superiores a 3000 kg/ha, donde el número de vainas fueron superiores a 50 vainas por planta. Cabe resaltar que, en el transcurso de esta investigación, se observó que ambas especies respondieron mejor cuando fueron sembrados después de la papa, temperaturas de 8 a 13 °C y no así cuando las siembras fueron realizadas después de la avena o el trigo.

Otra de las bondades que se observó en *L. angustifolius* fue la tolerancia a la sequía y la granizada, la tolerancia al daño por los insectos como el gorgojo, (*Apion* sp). Fue notorio que ambas especies tienen bajos niveles de alcaloides, lo cual fue evidenciado por el ataque de pájaros, liebres y ratones, que causaron daños importantes en la emergencia, formación y maduración de vainas, reduciendo sustancialmente los rendimientos. Para evitar el daño por liebres, algunos agricultores sembraron el *L. angustifolius* cerca de sus casas y asociado con avena, bajo estas condiciones, el daño solo se ha observado en los contornos de la parcela, esta estrategia de siembra necesita más seguimiento, por tanto, se sugiere realizar más estudios.

Por otra parte, estudios realizados por Patiño Torres³⁰, determinaron que a los 80 días después de la siembra hubo un mayor número de rizobias, donde *L. albus*, fijo 282 kg/ha de N y *L. angustifolius* fijo 179 kg de N., lo que equivale a 95 y 91% de nitrógeno.

Respecto a los sitios de intervención, trabajos realizados en Chile²⁴, identificaron que los mejores lugares para la multiplicación de ambas especies fueron

aquellas zonas donde la precipitación fue de 700 a 800 mm/año, materia orgánica por encima de 8 %, y una humedad relativa entre 70 a 80 %. Asimismo, investigaciones realizadas por Caicedo et al.⁸, señalaron que el rendimiento en *L. mutabilis* fue por encima de los 1000 kg/ha con el cultivar INIAP. 450 Guaranguito en el Ecuador. También, se encontró que los rendimientos de *L. angustifolius* alcanzaron en algunas parcelas a 1100 kg/ha cuando los suelos tuvieron una profundidad promedio de 0.60 m, textura franco arenosa, buena fertilidad, y un buen drenaje⁹.

De acuerdo a las variaciones de las condiciones bióticas y abióticas en cada localidad, el genotipo cambia de arquitectura y de rendimiento. Según Gremigni et al.³¹, esta variación de rendimiento también se observa en el contenido de alcaloides y grosor de la cubierta seminal en el grano, variables que son altamente influenciadas por altas temperaturas, estrés por los insectos, factores nutricionales particularmente potasio y fósforo². Al respecto, Cowling & Tarr³², analizaron muestras de grano de lupinus durante 11 años e indicaron que el ambiente tenía un mayor efecto sobre la calidad del grano de lupino que el genotipo mismo. Genotipos, años y localidades afectaron la variación de los alcaloides totales en los granos³³. Los mismos autores³³, mencionan que algunas variedades como la Danja (*L. angustifolius*) tuvo una variación mayor de alcaloides que otros, mientras en algunos años fueron más altos que los demás, y en algunos lugares fueron más altos que los otros. Esto denota la alta influencia ambiental en la genética de expresión de los alcaloides.

A manera de conclusión podemos indicar, que, los dos cultivares dulces de *Lupinus*, ofrecen grandes ventajas para promover su consumo, las familias de agricultores pueden consumir sin pasar por el complicado proceso de lavado del grano, se reduce significativamente el costo, también se reduce el consumo de agua de lavado, y contaminación ambiental al no haber desechos de alcaloides. Por estas razones, la

Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA) trabajó en la selección y adaptación de *Lupinus albus*.

Así mismo, se detectó que *L. angustifolius*, tiene características de rusticidad, manifestada en la arquitectura de planta, hojas angostas, porte bajo, y se adaptó bien en las zonas semiáridas de Anzaldo y Acasio,

Fuente de financiamiento

Fundación PROINPA, IP-Holanda, Fontagro y Euroclima.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que esta investigación fue realizada en la Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia y no presenta conflictos de interés.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo a los financiadores de distintos financiadores de diferentes proyectos y las facilidades proporcionadas por la Fundación PROINPA. También agradecemos a los agricultores de las distintas zonas donde se realizó la investigación. Un especial agradecimiento al Dr. Mario Antonio Gandarillas (+) por su aporte importante en la realización de este trabajo. A los Drs. Mario Mera y Erik von Baer por las contribuciones en la evaluación de los lupinus.

Consideraciones éticas

La aprobación de la investigación por la Fundación PROINPA, el Comité de ética y el Comité de investigación siguió las pautas establecidas por estas instancias.

Limitaciones en la investigación

Los autores señalan que no hubo limitaciones en el presente trabajo de investigación.

Contribución de los autores

Juan Vallejos Arnéz, Planeación del experimento, análisis estadístico y sistematización e interpretación de la información. *Pablo Mamani Rojas*, Toma de datos y sistematización e interpretación de la información. *Javier Huiza Nina*, Toma de datos y sistematización de la información. *Julio Gabriel Ortega*, Sistematización, análisis, interpretación de la información y revisión del artículo.

Literatura Citada

1. Wallace W. Distribution of nitrate assimilation between the root and shoot of legumes and a comparison with wheat. *Physiol plant* 1986;66(4):630-6.
2. Rahman MS, Gladstones JS. Temperature responses of lupin species during germination and flower development. *J Aust Inst Agric Sci* 1973; 39:259-62.
3. Mora S. Antecedentes del lupino de hoja angosta (*Lupinus angustifolius*) en la X región [Internet]. Temuco: Serie Carillanca; 1996 [citado 22-de octubre de 2020]. 9-17 p. Recuperado a partir de: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/38885>
4. Gladstones JS. Lupins of the Mediterranean region and Africa [Internet]. Australia: Perth: Govt; 1974 [citado 22-de mayo de 2020]. 48 p. Recuperado a partir de: https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/tech_bull/38/
5. Kyle WSA. The current and potential uses of lupins as food. In: Dracup M, Palta J, editors. Proceedings of the First Australian Lupin Technical Symposium: 17-21 October 1994. Department of

- Agriculture. Perth, Western Australia: Department of Agriculture; 1994. p. 89-97.
6. Australian Sweet Lupin Information [Internet]. WA Lupins-Northbound Trading Pty Ltd Trading As Wa Lupins. 2021 [citado 5 de marzo de 2021]. Recuperado a partir de: <https://walupins.com.au/about-us/australian-sweet-lupin-information/>
 7. Hernández JE, León J, Jardín Botánico de Córdoba, editores. Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492 [Internet]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 1992 [citado 22-de octubre de 2020]. 339 p. Recuperado a partir de: <http://www.fao.org/3/t0646s/t0646s.pdf>
 8. Caicedo C, Murillo A, Peralta E, Pinzón J, Rivera M. Variedad de chocho para la zona centro/norte de la Sierra ecuatoriana. Revista Informativa INIAP 2000;(14):28-9.
 9. Vallejos E, Silva P, Acevedo E. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de lupino en la zona central [tesis licenciatura]. [Santiago]: Universidad de Chile; 1998. p. 69.
 10. Talhinhos P, Leitão J, Neves-Martins J. Collection of *Lupinus angustifolius* L. germplasm and characterisation of morphological and molecular diversity. Genet Resour Crop Evol 2006;53:563-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-004-2684-0>
 11. Russell J. Farm based demonstrations for lupin adoption in the central eastern wheatbelt of Western Australia. In: van Santen E, Wink M, Weissmann S, Römer P, editors. Lupin, an ancient crop for the new millennium: Proceedings of the 9th International Lupin Conference, Klink/Muritz, Germany, 20-24 June 1999. Germany; 2000. p. 193-8.
 12. Cowling W, Stephens D. Trends in lupin yield-1981 to 1994. In: Nelson P, editor. Lupin Logic [Internet]. Perth: Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia; 1997. p. 174. Available from: <https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1085&context=newslupin>
 13. Cowling WA, Huyghe C, Swiecicki W. Lupin breeding. In: Gladstones JS, Atkins C, Hamblin J, editors. Lupins as Crop Plants: Biology, Production and Utilization. Wallingford: CAB International; 1998. p. 93-120.
 14. Petterson DS. Composition and food uses of lupins. In: Gladstones JS, Atkins CA, Hamblin J, editors. Lupins as Crop Plants: Biology, Production and Utilization. Wallingford: CAB International; 1998. p. 353-84.
 15. Buirchell BJ, Cowling WA. Genetic resources in lupins. In: Gladstones JS, Atkins C, Hamblin J, editors. Lupins as Crop Plants: Biology, Production and Utilization. Wallingford: CAB International; 1998. p. 41-66.
 16. Huyghe C. White lupin (*Lupinus albus* L.) Field Crops Res 1997;53(1-3):147-60. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00028-2)
 17. Mera M, Galdames R. Boroa-INIA, primera variedad de lupino (*Lupinus albus*) amargo exportable obtenida en Chile. Agric Téc 2007;67(3):320-4. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0365-28072007000300011>
 18. Von Baer E. el cultivo del lupino. El campesino 1986;117(6):21-34.
 19. Unkovich MJ, Pate JS, Sanford P. Nitrogen fixation by annual legumes in Australian Mediterranean agriculture. Aust J Agric Res 1997;48(3):267-93. DOI: <https://doi.org/10.1071/A96099>
 20. Riffo Pozas ME. Caracterización y tipificación del sector proveedor de lupino blanco (*Lupinus albus* L.) de la empresa “Productos nutritivos AVELUP Ltda.” Chile IX región, estudio de caso [tesis licenciatura]. [Valdivia]: Universidad Austral de Chile; 2006 [citado 16 de octubre de 2020]. Recuperado a partir de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/far564c/doc/far564c.pdf>
 21. Steinberga V, Alsina I, Ansevica A, Dubova L, Liepina L. The evaluation of effectiveness of *Rhizobium lupini* strains. Latvian J Agron 2008;52(5):1394-8.

22. Gobierno Autónomo del Departamento de La Paz. Atlas Estadístico Departamento La Paz [Internet]. La Paz: Gobierno Autónomo del Departamento de La Paz; 2014 [citado 22-de octubre de 2020]. 394 p. Recuperado a partir de: https://issuu.com/gobernacionlp/docs/atlas_estadistico
23. Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Estudio Preparatorio para el Programa del Desarrollo Integral en el Altiplano Central y Sur [Internet]. La Paz: Estado plurinacional de Bolivia; 2012 [citado 22-de octubre de 2019]. 155 p. Recuperado a partir de: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12083010_01.pdf
24. Von Baer E, Toledo MI, Olivares G, Soto P, Manrique A, Harrison C, et al. Lupino dulce: leguminosa en la producción de alimento para salmónidos [Internet]. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso; 2004 [citado 12-de septiembre de 2020]. 49 p. Recuperado a partir de: <http://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/145526>
25. Gabriel Ortega J, Valverde LA, Indacochea Ganchozo B, Castro Piguave C, Vera Tumbaco M, Alcívar Cobeña J, et al. Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios [Internet]. Guayaquil: Editorial Grupo Compás; 2021 [citado 12-de mayo de 2021]. 34 p. Recuperado a partir de: <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/625>
26. Martínez Garza A. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. México D.F: Editorial Trillas; 1988. p. 756.
27. Molina-Galán J. Genética de poblaciones y cuantitativa. México DF: AGT editor; 1988. p. 343.
28. Ashby JA. Manual para la evaluación de tecnologías con productores. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical; 1991. p. 102.
29. Hoballah AA, Ibrahim AF, Jahn-Deesbach W. Evaluation of yield components and seed quality in white lupin (*Lupinus albus*). In: Von Baer D, editor. 6th International Lupin Conference. Temuco; Lupin Association and German Agency for Technical Cooperation; 1990.
30. Patiño Torres CO. Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del Valle de Cauca. Estudio de Biodiversidad y eficiencia [tesis doctoral]. [Palмира]: Universidad Nacional de Colombia; 2010 [citado 06 de octubre de 2020]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7293>
31. Gremigni P, Hamblin J, Harris D, Cowling WA. The interaction of phosphorus and potassium with seed alkaloid concentrations, yield and mineral content in narrow-leaved lupins (*Lupinus angustifolius* L.). *Plant and Soil* 2003;253:413-27. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024828131581>
32. Cowling WA, Tarr A. Effect of genotype and environment on seed quality in sweet narrowleaved lupins (*Lupinus angustifolius* L) *Aust J Agric Res* 2004;55(7):745-51. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR03223>
33. Ravelo AC, Planchuelo AM. Aptitud agroecológica de la pradera pampeana argentina para el cultivo de lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *Agriscientia* 2003;20: 35-44. DOI: <https://doi.org/10.31047/1618.298x.v20.n0.282>

Nota del Editor:

Journal of the Selva Andina Biosphere (JSAB) se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales publicados en mapas y afiliaciones institucionales.