

Variables directas e indirectas que influyen en el rendimiento de grano de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet)

Direct and indirect variables that influence grain yield of tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet)

Carla P. Escobar-Navia¹, Luis F. Banda-Garrido², Josue E. Berduguez-Claros³

¹Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), Banco Nacional de Germoplasma de Cereales y Leguminosas, Centro de Innovación Toralapa, km 74 carretera antigua a Santa Cruz, Municipio de Tiraque, Cochabamba, Bolivia.

²Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno (UAGRM), Facultad de Ciencias Agrícolas de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Santa Cruz, Bolivia.

³Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Facultad de Ciencias, Agrícolas, Pecuarias y Forestales de la Escuela de Ciencias Forestales Programa Desconcentrado de Licenciatura En Ingeniería Agroforestal, Cochabamba, Bolivia.

*Autor para correspondencia: carly.paolita@gmail.com

Recibido: mayo de 2023; Revisión: julio de 2023; Aceptado: 29 de agosto de 2023

doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8377265>

RESUMEN

Con el objetivo de identificar variables directas e indirectas que influyen en el rendimiento de grano de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) mediante coeficientes de sendero, se evaluaron 18 líneas avanzadas de tarwi y un testigo, provenientes de accesiones del Banco Nacional de Germoplasma. La investigación se llevó a cabo en el Centro de Innovación Toralapa del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), ubicado en el municipio de Tiraque del departamento de Cochabamba. El ensayo se ha implementado bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones durante la campaña agrícola 2018-2019. Se realizó análisis de la información en base a estadística descriptiva, análisis de coeficientes de correlación, análisis de regresión múltiple por pasos sucesivos y análisis de coeficientes de sendero aplicando el método de Wright (1921) y Li (1978). Mediante el análisis de coeficientes de sendero, se pudo identificar tres variables que influyeron directamente en el rendimiento de

tarwi; número de vainas por planta, longitud de vaina y número de semillas por vaina con un efecto directo de (0,89) (0,14) y (0,12) respectivamente. Podemos decir que estas variables son los componentes de rendimiento de grano, por lo tanto, el aumento de una unidad de cualquiera de estas variables tendrá un efecto directo en el rendimiento en kg ha⁻¹. El ranking de rendimiento estandarizado permitió identificar a las líneas BOL-11242-1, BOL-11246-1 y BOL-11219-1, con rendimientos sobresalientes de 5779,0; 5300,9 y 5095,4 kg ha⁻¹ respectivamente.

Palabras clave: causa-efecto, coeficientes de sendero, directos e indirectos, *Lupinus mutabilis*, rendimiento.

ABSTRACT

In order to identify direct and indirect variables that influence bitter lupin or tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) grain yield through path coefficients. 18 advanced lines of tarwi and one control were evaluated, from accessions of the National

Germplasm Bank, the research it was carried out at the Toralapa Innovation Center of the National Institute for Agricultural and Forestry Innovation (INIAF), located in the municipality of Tiraque, the department of Cochabamba. The trial had a completely randomized block design (CRBD) with three replications during the 2018-2019 agricultural season. Statistical analyzes consisted of descriptive statistics, correlation coefficient analysis, multiple regression analysis by successive steps and path coefficient analysis applying the Wright and Chung method. As a result, through the analysis of path coefficients, three variables that directly influenced the yield of tarwi were identified; number of pods per plant, pod length and number of seeds per pod with a direct effect of (0.89) (0.14) and (0.12) respectively, we can say that these variables are the yield components. The increase of one unit of any of these variables will have a direct effect on the yield in kg ha^{-1} . The standardized yield ranking allowed to identify the lines BOL-11242, BOL-11246 and BOL-11219, with outstanding yields of 5779.0; 5300.9 and 5095,4 kg ha^{-1} respectively.

Keywords: cause-effect, path coefficients, direct and indirect, *Lupinus mutabilis*, yield.

INTRODUCCIÓN

El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) es un cultivo de la familia de las leguminosas. Su centro de origen se ubica en la región andina de Bolivia, Ecuador y Perú, países en los cuales se encuentra la mayor variabilidad genética, desde la adaptación a suelos, precipitación, temperatura y altitud (Jacobsen & Mujica, 2006). El valor de esta especie leguminosa radica en su alto contenido de proteína, que es de 42,2% en grano seco, 20% en grano cocido y 44,5% en harina (Mercado, 2018). Castañeda et al. (2008), observaron que en más de 300 diferentes

genotipos de tarwi, los valores de proteína variaron de 41 a 51%.

Asimismo, Jacobsen y Mujica (2004) observaron que en 1.200 accesiones, se detectó presencia de proteínas de 35 a 45%. Un segundo factor en el cultivo de tarwi es la nutrición de los suelos a través de la fijación de nitrógeno. El tarwi es reconocido como el mejor abono verde, por su aporte de biomasa, nitrógeno y liberación de fósforo (Mazón, 2018). Finalmente, un tercer factor importante es el alto contenido de porcentaje de aceites, que es de 16,9%. Los ácidos grasos que predominan en el tarwi son los no saturados, como el oleico, linoleico y linolénico. En comparación con el cultivo de soya, el tarwi supera hasta en dos veces al ácido oleico de la soya. Esta comparación se basa en los resultados de Villacres et al. (1998), citados en Tapia (2015).

El tarwi es cultivado en cinco departamentos de Bolivia, con un rendimiento promedio de 637 kg ha^{-1} y una producción anual total de 1208 t en una superficie de 1895 ha (Chipana et al., 2019; Mercado, 2018). Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (2008), el departamento de Cochabamba aporta con un 50% a la producción, seguido de Chuquisaca, La Paz, Oruro y Potosí. El rendimiento en Bolivia es considerado bajo en comparación a reportes de otros países como Perú y Ecuador, cuyos rendimientos son de 1,29 y 1,35 t ha^{-1} , respectivamente (MINAGRI, 2016). El tarwi fue desplazado por la introducción de cultivos como *Vicia faba*, *Pisum sativum* y otros. A causa de esta marginación, fue una de las especies más afectadas debido a su fuerte sabor amargo por la presencia de alcaloides quinolizidínicos en el grano. Este sabor es el principal obstáculo para que su procesamiento para el consumo sea extenso (Suca y Suca, 2015). Actualmente se conoce de un prototipo de desamargador para la reducción de alcaloides en el cultivo de tarwi. Esta máquina es muy versátil, presenta un diseño sanitario y permite un fácil

mantenimiento. Por tanto, es factible que esta tecnología sirva para una producción industrial (Carhuallanqui, et al., 2022). Se observa que el tarwi muestra una desventaja en términos de contenido de alcaloides. Sin embargo, el avance de la tecnología podría dejar de lado este obstáculo. Por lo tanto, queda el reto de investigar y estudiar el cultivo de tarwi en términos de rendimiento, contenido de proteína, precocidad, y otros.

El mejoramiento genético utiliza ciertas estrategias, entre las que se destaca el estudio de los componentes de rendimiento. En este contexto, la correlación múltiple es considerada importante y fundamental para la selección efectiva de progenitores y progenies (Valencia 2010; Abbott et al., 2014). Sin embargo, los coeficientes de correlación no indican la exacta importancia de los efectos directos e indirectos que tienen los caracteres sobre la variable de interés (Abbott et al., 2007). La correlación alta o baja entre dos variables puede deberse al efecto de una tercera variable, por lo que la correlación entre dos variables no predice el éxito de la selección (Seker y Serin, 2004). Ante este inconveniente, Wright (1921) y Li (1978) descubrieron la manera de descomponer la correlación en componentes de efectos directos y efectos indirectos de (x) sobre (y), denominados coeficientes de sendero. Este método es bastante útil para determinar relaciones causa-efecto en variables que se encuentran correlacionadas (Espinoza, 2018). El objetivo del presente estudio fue identificar variables directas e indirectas que influyen en el rendimiento de grano de tarwi mediante coeficientes de sendero, con el fin de identificar genotipos ideales para ...el rendimiento y así... contribuir a la seguridad alimentaria ante el cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó durante la campaña agrícola 2018 a 2019, en el Centro de Innovación Toralapa ubicado en el Municipio de Tiraque, geográficamente situado a 17°12' 00" Latitud Sur, 65°18' 00" Longitud Oeste y a una altitud de 3491 m.s.n.m.

El material genético correspondió a 18 líneas avanzadas provenientes de accesiones de la colección de tarwi del Banco Nacional de Germoplasma de Leguminosas. Estas líneas fueron seleccionadas en base a rendimiento, contenido de proteína y ciclo de cultivo (Tabla 1).

Tabla 1. Líneas de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y un testigo (control).

Nº	Accesión	Taxón
1	BOL-11213-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
2	BOL-11217-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
3	BOL-11219-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
4	BOL-11227-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
5	BOL-11229-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
6	BOL-11230-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
7	BOL-11233-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
8	BOL-11235-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
9	BOL-11237-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
10	BOL-11239-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
11	BOL-11242-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
12	BOL-11243-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
13	BOL-11246-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
14	BOL-11255-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
15	BOL-11256-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
16	BOL-11267-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
17	BOL-11269-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
18	BOL-11274-1	<i>Lupinus mutabilis</i>
19	Koari (Control)	<i>Lupinus mutabilis</i>

Cada unidad experimental estuvo conformada por 3 surcos de 4 m de largo, con una densidad de siembra de 0,70 m entre surco y 0,50 m entre planta. El ensayo se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se evaluaron 18 líneas de tarwi y un testigo el ecotipo Koari (Tabla 1). La siembra se llevó a

cabo el 29 de agosto de 2018 y la fertilización se ha realizado en la implementación del ensayo con 100 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico (18-46-00).

Según Aboott et al. (2014) y Espinoza (2018), el método de coeficientes de sendero, permite descomponer la correlación entre un componente (**X**) y el producto final (**Y**) en un efecto “directo” de (**X**) y en efectos “indirectos” de (**X**) sobre (**Y**), los que se hacen efectivos por vía de la relación de (**X**) con otros componentes de **Y** (**Z**, **W**), los efectos directos de cada componente estarían definidos por los valores que asumen P_{XY} , P_{WY} y P_{ZY} en el siguiente sistema:

$$\begin{aligned} r_{XY} &= P_{XY} + r_{XW} P_{WY} + r_{XZ} P_{ZY} \\ r_{WY} &= r_{XW} P_{XY} + P_{WY} + r_{WZ} P_{ZY} \\ r_{ZY} &= r_{XZ} P_{XY} + r_{ZW} P_{WY} + P_{ZY} \end{aligned}$$

Dónde (r) es el coeficiente de correlación, (P) es el efecto directo y (**X**, **W**, **Z**), definen las variables relacionadas. La determinación total R^2 en relación al carácter (**Y**) a partir de los componentes se determina mediante la siguiente ecuación:

$$R^2 = r_{XY} P_{XY} + r_{WY} P_{WY} + r_{ZY} P_{ZY}$$

Esta técnica no se trata de un sistema totalmente definido, en el que dichos componentes expliquen el 100% de la variación de (**Y**), también se debe incluir un componente (**E**) que considera los efectos residuales no previstos en el sistema.

Los coeficientes de sendero para la variable dependiente rendimiento (RDTO) se generaron con el resumen de los coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos y la matriz de correlación de Pearson.

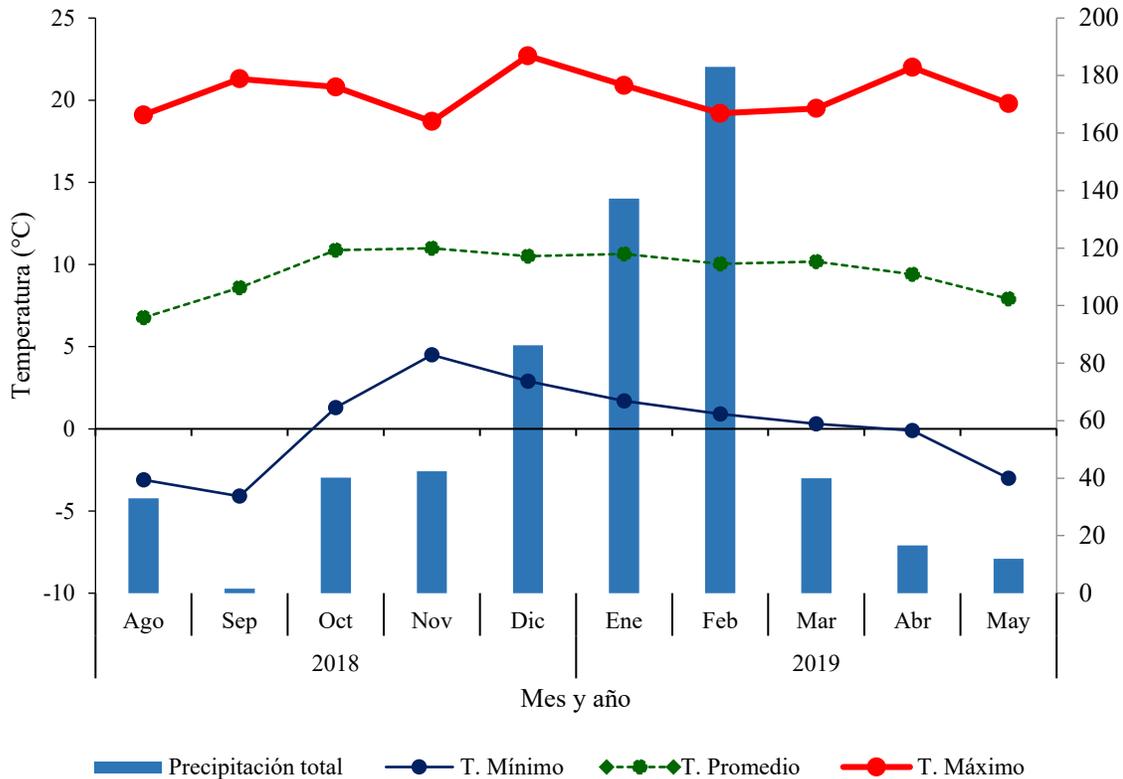
Para el análisis descriptivo, análisis de correlación, regresión múltiple por el método de pasos

sucesivos y coeficientes de sendero, se utilizó el software estadístico R (2021).

Las variables se evaluaron en diferentes fases fenológicas del cultivo, las mismas fueron: GT=Grosor de tallo (mm); NRP=Número de ramas primarias (unidades); DAM=Diámetro máximo de la hoja (cm); LIP=Longitud de inflorescencia principal (cm); NVP=Número de vainas por planta (unidades); LV=Longitud de vaina (mm); AV=Anchura de vaina (mm); AP=Altura de planta (cm); NSV=Número de semillas por vaina (unidades); LS=Longitud de semilla (mm); AS=Ancho de semilla (mm); PCS=Peso de cien semillas (g); RDTO/P=Rendimiento de semilla por planta (g).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones climáticas corresponden a una zona montañosa sub húmeda, donde la precipitación total fue de 592 mm durante todo el ciclo del cultivo. El mes más lluvioso fue febrero con 183 mm, y el mes menos lluvioso fue septiembre con 2 mm. La temperatura promedio fue de 9,59 °C, con una máxima de 22,7 °C y una mínima de -4,1 °C (Figura 1). El diagrama climático se ha realizado en base a datos registrados por la estación automática DAVIS Pro Plus, que registró datos cada 30 minutos durante 24 horas del día. La estación se encuentra ubicada en el Centro de Innovación Toralapa. Según Jacobsen y Mujica (2004), el cultivo de tarwi requiere una precipitación de 350 a 850 mm. Las condiciones climáticas en el presente estudio estuvieron dentro del promedio, y queda como precedente para futuras investigaciones. Cabe resaltar que el exceso de agua en el cultivo de tarwi asfixia las raíces.

Figura 1. Climadiagrama de la campaña 2018-2019 en el Centro de Innovación Toralapa.

Nota. El gráfico muestra los datos climáticos registrados por la estación automática DAVIS Pro Plus.

La Tabla 2 muestra los valores medios de distribución, tendencia central y dispersión de la variabilidad del comportamiento de los caracteres cuantitativos. El rendimiento promedio fue de 4271,2 kg ha⁻¹ con un mínimo de 1962,9 y un máximo de 6237,7 kg ha⁻¹, respectivamente. La desviación estándar fue de ±1149,8 kg ha⁻¹ en condiciones experimentales. Los promedios de número de vainas por planta, longitud de vaina, altura de planta, número de semillas por vaina y peso de 100 semillas fueron 272 vainas por planta, 98,4 mm de longitud de vaina, 142,4 m de altura de planta, 6 semillas por vaina y 21,8 g de peso de 100 semillas, respectivamente. El número de vainas por planta y altura de planta presentaron la mayor desviación estándar, con ±69,15 y ±20,97, respectivamente. La variable días a madurez fisiológica presentó un promedio de 242,2 días,

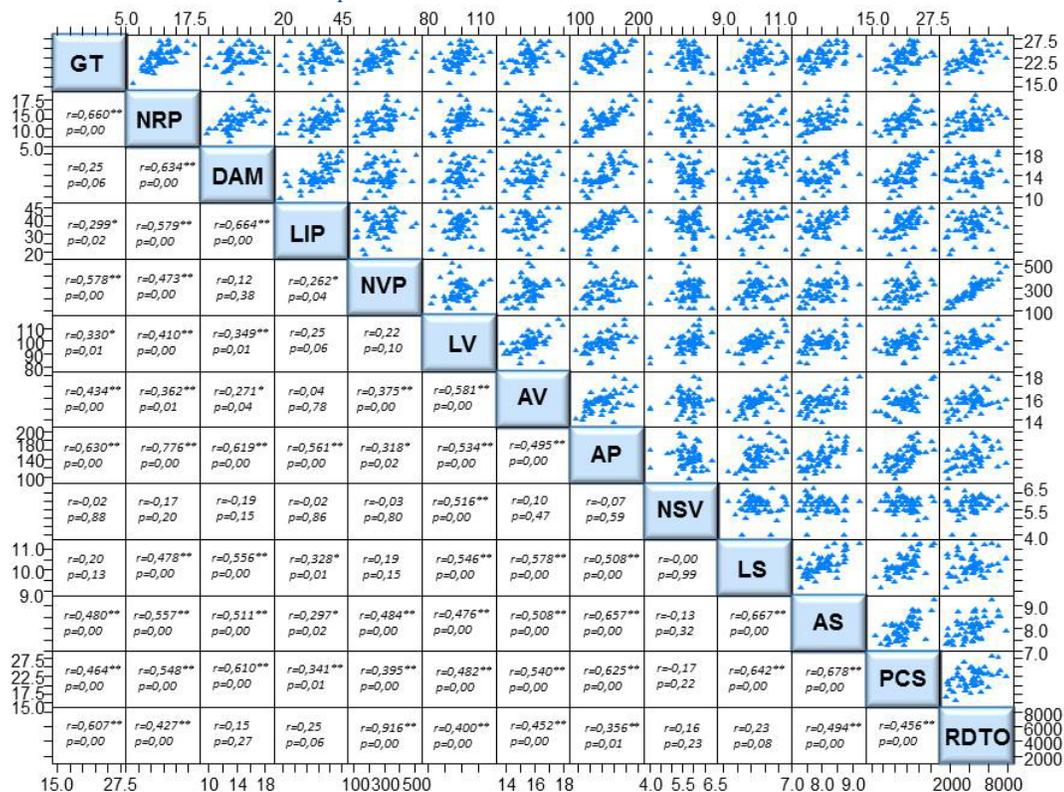
con un máximo de 273 días, un mínimo de 187 días y una desviación estándar de ±21,47. Huiza (2018) menciona que la diferencia en el comportamiento de cada línea se debe al genotipo y al medio donde se cultive. Chirinos et al. (2015) mencionan que la variabilidad genética es un requisito básico en procesos de mejoramiento genético. Chalampunte et al. (2023) encontraron una madurez de 276 días en un estudio de 173 accesiones de tarwi. En el presente estudio se encontraron líneas avanzadas precoces con una madurez de 187 días. Estas líneas podrían ser una alternativa para los productores ante las amenazas de heladas en genotipos tardíos.

Tabla 2. Estadística descriptiva de variables cuantitativas evaluadas en 18 líneas de tarwi y un testigo en el Centro de Innovación Toralapa en la campaña agrícola 2018-2019.

Variables	N	DE	Media	Máximo	Mínimo	Sesgo	Curtosis
DMF (Días)	19	21,47	242,4	273	187	-	-
GT (mm)	19	1,93	22,53	18,27	25,90	-0,21	0,08
NRP	19	1,93	11,88	8	16	0,13	0,16
DAM (cm)	19	1,73	14,07	11,83	17,14	0,33	-1,09
LIP (cm)	19	4,05	34,88	29,42	42,17	0,63	-0,80
NVP	19	69,15	272,22	139	389	-0,36	-0,08
LV (mm)	19	4,31	98,40	92,36	106,43	0,51	-0,65
AV (mm)	19	0,65	15,62	14,22	17,15	-0,22	1,50
AP (cm)	19	20,97	142,40	109,82	180,73	0,31	-0,71
NSV	19	0,39	5,75	5	6	-1,51	3,14
LS (mm)	19	0,38	10,23	9,55	10,95	0,09	0,13
AS (mm)	19	0,38	8,01	7,43	8,74	0,08	-0,74
PCS (g)	19	2,19	21,83	17,54	25,45	0,01	-0,60
RDTO/P (g)	19	53,80	199,86	91,85	291,88	-0,60	0,17

Nota. La tabla muestra las siguientes variables de estudio: DMF=Días a la madures fisiológica (días); GT=Grosor de tallo (mm); NRP=Número de ramas primarias (unidades); DAM=Diámetro máximo de la hoja (cm); LIP=Longitud de inflorescencia principal (cm); NVP=Número de vainas por planta (unidades); LV=Longitud de vaina (mm); AV=Anchura de vaina (mm); AP=Altura de la planta (Cm); NSV=Número de semillas por vaina (unidades); LS=Longitud de semilla (mm); AS=Ancho de semilla (mm); PCS=Peso de cien semillas (g); RDTO/P=Rendimiento de semilla por planta (g).

Figura 2. Matriz de correlación múltiple de variables cuantitativas.



La Figura 2 muestra que la variable rendimiento (RDTO) tiene una correlación positiva altamente significativa (1%) con el número de vainas por planta (NVP) y el grosor de tallo (GT), con

valores de $r = 0,92$ y $r = 0,60$, respectivamente. Las correlaciones simples entre componentes del rendimiento son poco informativas entre componentes de distinta jerarquía. Por ello, Espinoza (2018) menciona que el análisis de los coeficientes de sendero nos permitirá analizar de forma más explicativa, y que las correlaciones simples pueden utilizarse de forma complementaria.

La Figura 3 muestra el diagrama del análisis de coeficientes de sendero. Este análisis permitió identificar los efectos directos e indirectos que influyeron en la variable dependiente rendimiento (RDTO) y las variables independientes diámetro máximo de la hoja (DAM), longitud de la inflorescencia principal (LIP), número de vaina por planta (NVP), longitud de vaina (LV), ancho de vaina (AV), altura de planta (AP), número de semillas por vaina (NSV), longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS) y peso de cien semillas (PSC).

Con este análisis se identificaron tres variables que influyeron directamente sobre la variable dependiente rendimiento: número de vainas por planta, longitud de vaina y número de semillas por vaina. Estas variables tuvieron un efecto directo de ($P_1=0,89$), ($P_2=0,14$) y ($P_3=0,12$), respectivamente. Estos tres componentes principales de efecto directo fueron los que determinaron el rendimiento en las líneas de tarwi. Los valores indican que a mayor número de vainas por planta, mayor longitud de vaina y mayor número de semillas por vaina, el rendimiento será mayor. En promedio, un rendimiento superior se obtendrá con 340 vainas por planta, 10,6 cm de longitud de vaina y 6 semillas por

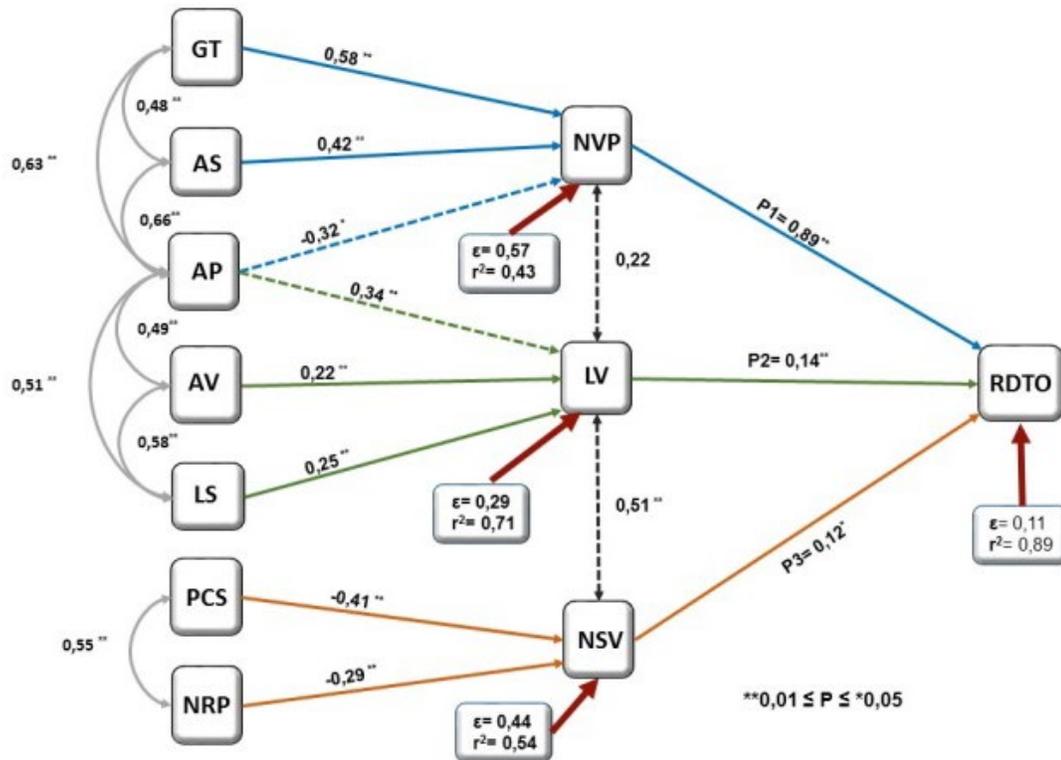
vaina. A su vez la variable longitud de vaina presentó una correlación altamente significativa con número de vainas por planta ($r=0,22$) y número de semillas por vaina ($r=0,51$). El coeficiente de determinación (R^2) explicó el 89% de la variación del rendimiento. El 11% restante recae en el efecto residual (ϵ).

Las variables indirectas a través de número de vaina por planta fueron grosor de tallo, ancho de semillas y altura de planta, con valores de 0,58; 0,42 y -0,32, respectivamente. El valor negativo indica que para poder obtener un buen rendimiento a través de número de vainas por planta, la planta no deberá exceder su altura, alcanzando un promedio de 142,4 cm. Asimismo, las variables indirectas que influyeron sobre la longitud de vaina fueron altura de planta, ancho de vaina y longitud de semilla, con efectos indirectos de 0,34; 0,22 y 0,25, respectivamente. Finalmente, las variables indirectas que influyeron a través de número de semilla por vaina fueron peso de 100 semillas y número de ramas por planta, con efectos indirectos de -0,41 y -0,29, respectivamente. El coeficiente de determinación (R^2) para las variables directas NVP, LV y NSV explicaron el 43, 71 y 54% de la variación, respectivamente. Los valores de (R^2) no fueron muy altos, por lo que la variación debida a los efectos residuales (ϵ) es relativamente importante.

El modelo de la estimación o pronóstico del rendimiento en grano de tarwi responde a la siguiente ecuación:

$$RDTO = -4835,9 + 14,9 NVP + 32,2 LV + 325,4 NSV + (1 - R^2)$$

Figura 3. Diagrama de coeficientes de sendero (*Path analysis*) de variables directas e indirectas que influyen en el rendimiento (RDTO), evaluado en 18 líneas de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y un testigo en el Centro de Innovación Toralapa en la campaña agrícola 2018-2019.



El resultado del modelo de regresión múltiple por pasos sucesivos (Tabla 3) muestra que el rendimiento (RDTO) tiene una relación positiva con número de vainas por planta (NVP), longitud de vaina (LV) y número de semillas por vaina (NSV). Estos tres componentes son los que explican el rendimiento. El incremento de cualquiera de estas variables significa un incremento en el rendimiento. Por lo tanto, el incremento de una vaina por planta significa un incremento de 0,89 kg ha⁻¹ en el rendimiento, el aumento de un milímetro en la longitud de vaina significa un incremento en 0,14 kg ha⁻¹ en el rendimiento y el aumento de una semilla por vaina significa un incremento de 0,12 kg ha⁻¹ en el rendimiento.

Según los resultados obtenidos, se identificaron tres de los 12 caracteres estudiados como componentes del rendimiento. Estos tres

caracteres se consideran componentes principales (directos) del rendimiento, mientras que los otros nueve se consideran componentes secundarios (indirectos). Este análisis establece un sistema de causa y efecto entre los caracteres, como se describe en Espinoza (2018). Es importante considerar que este análisis es una aproximación simplificada de un conjunto de procesos complejos de las plantas. El sistema de causa y efecto puede modificarse al incluir nuevos componentes. El método de los efectos directos e indirectos es una herramienta útil y eficaz en el proceso de selección de progenitores y progenies. Como se indica en Valencia (2010) y Aboott et al. (2014), este método puede ayudar a los investigadores a identificar los caracteres que tienen el mayor impacto en el rendimiento.

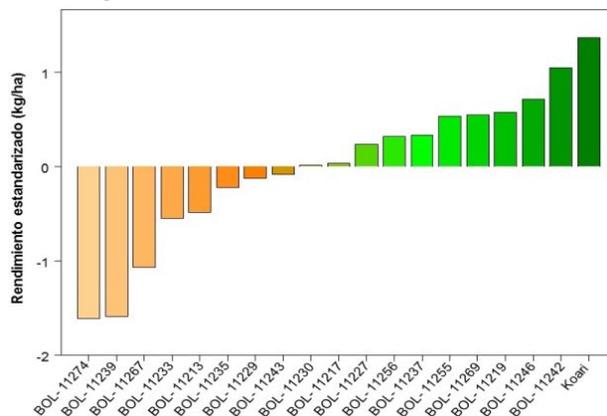
Tabla 3. Coeficientes de regresión múltiple por pasos sucesivos para rendimiento.

Variables	CNE		CE	t	Sig.
	B	EE	Beta		
RDTO	-4835,9	1030,50		-4,69	0,00
NVP	14,9	0,79	0,89	18,77	0,00
LV	32,3	12,31	0,14	2,62	0,01
NSV	325,4	150,56	0,12	2,16	0,04
R ²	0,89				

Nota. La tabla muestra las variables de estudio: CNE=Coeficientes no estandarizados; CE=Coeficientes estandarizados; EE=Error estándar; RDTO=rendimiento; NVP=Numero de vainas por planta, LV=Longitud de vaina, NSV=Numero de semillas por vaina, R²=Coeficiente de determinación.

La Figura 4 muestra el ranking de rendimiento estandarizado con alternativas positivas y negativas, reflejando el rendimiento de las 18 líneas y el testigo. Las mejores líneas fueron BOL-11242, BOL-11246, BOL-11219, BOL-11269 y BOL-11255, con rendimientos de 5.779,0; 5.300,9; 5.095,4; 5.059,7 y 5.034,6 kg ha⁻¹, respectivamente. Gabriel et al. (2018) y Fundación PROINPA realizaron estudios de mejora genética en tarwi *L. mutabilis*, donde encontraron rendimientos superiores a 1,1 t ha⁻¹. Sin embargo, el presente estudio muestra rendimientos superiores en condiciones experimentales. Bolivia presenta una amplia diversidad en *L. mutabilis*. Según Bebeli et al. (2020), se necesita más investigación para comprender y mejorar aún más el cultivo y sus características agronómicas. El tarwi es un cultivo prometedor.

Figura 4. Ranking de rendimiento estandarizado, evaluado en 18 líneas de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y un testigo en el Centro de Innovación Toralapa la campaña 2018-2019.



CONCLUSIONES

Se identificaron tres variables que influyen directamente en el rendimiento de tarwi, número de vainas por planta, longitud de vaina y número de semillas por vaina, estableciéndose como los componentes de rendimiento, por lo tanto, el aumento de una unidad de cualquiera de las tres variables tendrá un efecto directo en el rendimiento en kg ha⁻¹, las variables identificadas pueden ser utilizadas en criterios de selección en genotipos de tarwi. Asimismo, las variables que influyeron indirectamente en el rendimiento fueron grosor de tallo, ancho de semilla, altura de planta, ancho de vaina, longitud de semilla, peso de cien semillas y número de ramas primarias, podemos decir que estas variables también deben ser tomadas en cuenta en criterios de selección de material en programas de mejoramiento genético.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal por dar la oportunidad de liderar la presente investigación. A la Carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Autónoma “Gabriel Rene Moreno” por permitir apoyar en la formación de nuevos profesionales.

Contribución del autor

Redacción original del manuscrito: C.P.E.N.; Análisis de datos y revisión: L.F.B.G.; Revisión: J.E.B.C. Todos los coautores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito antes del envío.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

REFERENCIAS

Abbott, L., Pistorale, S. & Filippini, O. (2007). Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semillas en *Bromus catharticus*. *Ciencia e investigación agraria*, 34(2),

- 141-149. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202007000200007>
- Abbott, L., Spara, F., Vernengo, E. & Wolff, R. (2014). *Análisis de coeficientes de sendero para el rendimiento de semilla en Phalaris aquatica* L. XIX Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría. Santiago del Estero, Argentina. <https://fcf.unse.edu.ar/eventos/gab2014/contento/pdf/MM01.pdf>
- Bebeli, PJ, Lazaridi, E., Chatzigeorgiou, T., Suso, MJ, Hein, W., Alexopoulos, AA, & Van den Berg, M. (2020). Estado y progreso del cultivo del lupino andino en Europa: una revisión. *Agronomía*, 10 (7), 1038.
- Carhuallanqui, S., CCora, A., Vilcapoma, L. & Casas, J. (2022). Caracterización del tarwi (*Lupinus mutabilis*) y diseño de un prototipo de desamargador para la reducción de alcaloides. *Journal of Agri-Food Science*. 1(1), 53-60.
- Castañeda, B., Manrique, R., Gamarra, F., Muñoz, A., Ramos, F., Lizaraso & Martínez J. (2008). Probiótico elaborado en base a las semillas de *Lupinus mutabilis* sweet (chocho o tarwi). *Acta Médica Peruana*, 25(4), 210-215.
- Chalampunte D., Mosquera M., Ron, A., Tapia C., & Sørensen, M. (2023). Morphological and Ecogeographical Diversity of the Andean Lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet) in the High Andean Region of Ecuador. *Agronomy*, 13(8), 2064. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082064>
- Chipana, G., Trigo, R., Bosque, H., Jacobsen, S., Mercado, G., Rodríguez, J.P., Callisaya, I., Contreras, E. & Condori, J. (2019). *El tarwi (Lupinus mutabilis) y su importancia social y económica en las familias del altiplano norte de Bolivia*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Agronomía, UMSA.
- Chirinos, M., Jiménez, J., & Vilca, L. (2015). Análisis de la Variabilidad Genética entre treinta accesiones de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) usando marcadores moleculares ISSR. *Scientia Agropecuaria*, 6 (1), 17 – 30. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.02>
- Encuesta Nacional Agropecuaria (2008). Instituto Nacional de Estadística.
- Espinoza, V. (2018). Construcción y análisis de los coeficientes de sendero. *Acta Nova*, 8(4), 517-535.
- Gabriel, J., Vallejos, J., Mamani, P., & Angulo, A. (2018). Mejora genética del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) en Bolivia. *Revista de Agricultura*, 57, 105-113.
- Gross, R. (1982). El cultivo y la utilización del tarwi (*Lupinus mutabilis* L.). *Producción y protección vegetal*. N° 36. Estudio FAO - Roma. <http://www.fao.org/>.
- Jacobsen, S. & Mujica, A. (2004). *Geographical distribution of the Andean lupin (Lupinus mutabilis Sweet)*. 931-932. En: Jacobsen, S., Jensen, C. & Porter J. (eds.). Book of Proceedings. VIII ESA Congress: European Agriculture in a Global Context. Copenhagen.
- Jacobsen, S. E. & Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los andes centrales*, 28, 458-482.
- Mazón, N. (2018). *El chocho o tarwi como recurso genético de la región andina* [Seminar online]. Quito, Ecuador: Interaprendizaje IPDRS. <https://bit.ly/2rsbfff>

- Mercado, G. (2018). Memoria foro virtual: *Los caminos del tarwi y la integración andina: Bolivia, Perú y Ecuador*. IPDRS.
- Li, C.C. (1975). *Path Analysis-a primer*. The Boxwood Press.
- R Core Team (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Suca, G. & Suca, C. (2015). Potencial del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) como futura fuente proteínica y avances de su desarrollo agroindustrial. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 18(2), 55-71.
- Tapia, E. 2015. *El Tarwi, Lupino Andino Tarwi, Tauri o Chocho Lupinus mutabilis Sweet*. Perú.
- Valencia, R. 2010. *Respuesta diferencial de variedades de soya a la asociación simbiótica con cepas de Bradyrhizobium japonicum, en oxisoles de la Orinoquia Colombiana*. [Tesis Ph.D.-Universidad Nacional De Colombia].
- Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research* 20, 557 – 585.