

## Dinámica de la roya en el cultivo de *Dactylis glomerata* en zonas altoandinas

### Dynamics of rust in *Dactylis glomerata* crops in the high Andean regions

**Manuel Castrejón-Valdez**

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: [castrejon\\_17@hotmail.com](mailto:castrejon_17@hotmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4535-3278>

**Rene Antonio Hinojosa-Benavides**

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú

E-mail: [rhinojosa@unah.edu.pe](mailto:rhinojosa@unah.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0452-3162>

#### Resumen

La roya foliar causada por *Puccinia coronata* representa una de las principales enfermedades que afectan la productividad de *Dactylis glomerata* en zonas pastoriles altoandinas, especialmente durante el invierno, cuando las condiciones climáticas favorecen la reactivación del patógeno a partir de teliosporas invernantes. El objetivo es sistematizar información sobre la roya (*Puccinia coronata*) en el cultivo de *Dactylis glomerata*, destacando su incidencia en zonas altoandinas. Se revisó y seleccionó referencias bibliográficas publicadas entre el 2019 y 2025, como artículos científicos registrados en las bases de datos SciELO y Scopus y tesis descargadas de repositorios universitarios, bajo criterios de inclusión y exclusión determinados, analizando dichas investigaciones desde una perspectiva heurísticas y hermenéutica del estado de arte. Se resalta entre los resultados que, la humedad relativa mayor al 85 % y el tiempo de exposición, fueron los principales predictores de severidad, alcanzando un  $R^2$  ajustado de 0.79. El análisis de componentes principales y el de correlación canónica evidenciaron asociaciones significativas entre variables ambientales y epidemiológicas. Se destaca entre las conclusiones que, un clima invernal favorece condiciones óptimas para la roya, lo que demanda estrategias de monitoreo.

#### Palabras Clave

*Puccinia coronata*, *Dactylis glomerata*, zonas altoandinas.



## Abstract

Leaf rust caused by *Puccinia coronata* is one of the main diseases affecting the productivity of *Dactylis glomerata* in high Andean pastoral areas, especially during winter, when climatic conditions favour the reactivation of the pathogen from overwintering teliospores. The aim was to systematise information on rust (*Puccinia coronata*) on *Dactylis glomerata*, highlighting its incidence in high Andean areas. Bibliographic references published between 2019 and 2025 were reviewed and selected, such as scientific articles registered in the SciELO and Scopus databases and theses downloaded from university repositories, under certain inclusion and exclusion criteria, analysing these investigations from a heuristic and hermeneutic perspective of the state of the art. Among the results, relative humidity greater than 85 % and exposure time were the main predictors of severity, reaching an adjusted  $R^2$  of 0.79. Principal component analysis and canonical correlation analysis showed significant associations between environmental and epidemiological variables. Among the conclusions, it is highlighted that a winter climate favours optimal conditions for rust, which requires monitoring strategies.

## Keywords

*Puccinia coronata*, *Dactylis glomerata*, high andean zones.

## Riepilogo

La ruggine fogliare causata da *Puccinia coronata* è una delle principali malattie che colpiscono la produttività della *Dactylis glomerata* nelle aree pastorali andine alte, soprattutto durante l'inverno, quando le condizioni climatiche favoriscono la riattivazione del patogeno dalle teliospore svernanti. L'obiettivo è quello di sistematizzare le informazioni sulla ruggine (*Puccinia coronata*) su *Dactylis glomerata*, evidenziandone l'incidenza nelle aree alto-andine. Sono stati esaminati e selezionati i riferimenti bibliografici pubblicati tra il 2020 e il 2025, come gli articoli scientifici registrati nelle banche dati SciELO e Scopus e le tesi scaricate dagli archivi universitari, in base a determinati criteri di inclusione ed esclusione, analizzando queste indagini da una prospettiva euristica ed ermeneutica dello stato dell'arte. Tra i risultati, l'umidità relativa superiore all'85% e il tempo di esposizione sono stati i principali predittori di gravità, raggiungendo un  $R^2$  aggiustato pari a 0,79. L'analisi delle componenti principali e l'analisi di correlazione canonica hanno mostrato associazioni significative tra variabili ambientali ed epidemiologiche. Tra le conclusioni, si evidenzia che un clima invernale favorisce le condizioni ottimali per la ruggine, che richiede strategie di monitoraggio.

## Parole chiave

*Puccinia coronata*, *Dactylis glomerata*, zone andine alte.



## 1. Introducción

En las regiones altoandinas del Perú, la ganadería de subsistencia depende en gran medida de pasturas perennes, siendo *Dactylis glomerata* L. una de las especies forrajeras más utilizadas por su adaptabilidad a suelos pobres, resistencia al frío y alto valor nutritivo (Malinowski & Belanger, 2023; Malinowski & Belanger, 2023). No obstante, enfermedades foliares como la roya (*Puccinia coronata*), provocada por *Puccinia coronata*, se han convertido en una amenaza creciente para este cultivo, especialmente en invierno, cuando las bajas temperaturas y la elevada humedad favorecen la supervivencia de este hongo y el inicio de nuevas infecciones (Hewitt et al., 2024; Sulaiman et al., 2023), y es que durante esta estación, el patógeno puede permanecer viable en forma de teliosporas sobre restos vegetales, reiniciando su ciclo infectivo con las primeras lluvias o acumulación de rocío (Campbell et al., 2023), causando reducción de fotosíntesis, por tanto de biomasa y el valor nutricional del forraje (Sulaiman et al., 2023; Bai et al., 2021), agravándose con la alta variabilidad genética del hongo (Montilla et al., 2025; Yusuf et al., 2025; Hewitt et al., 2024). Como consecuencia, se reportan pérdidas significativas de biomasa, reducción de la fotosíntesis y deterioro de la calidad del forraje, afectando directamente la alimentación del ganado y su productividad (Bai et al., 2021; Rodríguez & Huaylla, 2022). A nivel molecular, estudios recientes han identificado genes de resistencia en *D. glomerata*, como los pertenecientes a la familia glutathione S-transferase (GST), asociados a respuestas frente a estrés biótico, aunque su efectividad en ambientes de altura no ha sido comprobada (Jin et al., 2024; Pérez et al., 2023).

A pesar de su impacto, aún existe un vacío de conocimiento sobre la distribución y progresión estacional de la roya en los sistemas pastoriles de los andes peruanos. La falta de modelos predictivos ajustados al contexto local y la ausencia de estrategias de manejo basadas en evidencia limitan las capacidades de respuesta ante esta enfermedad (Díaz et al., 2022; Torres & Vásquez, 2021), motivo por el cual el objetivo del presente estudio es sistematizar información sobre la roya en *D. glomerata*, destacando su incidencia en zonas



altoandinas, a fin de comprender las causas que vinculan variables agroclimáticas como temperatura, humedad y altitud con la aparición y severidad de la roya durante el invierno

## 2. Estado del arte o Marco Teórico

### 2.1. Dinámica de la roya

La roya es una enfermedad causada por el hongo *Puccinia coronata*, que se manifiesta con pústulas amarillas en las hojas y vainas. En los últimos años, ha sido ampliamente investigada debido a su impacto sobre cultivos forrajeros y cereales, sobre todo en el “pasto azul” (*Dactylis glomerata*). Diversos estudios han confirmado que este hongo tiene la capacidad de sobrevivir durante el invierno en forma de teliosporas alojadas en residuos vegetales, lo cual le permite reactivar su ciclo infeccioso al presentarse condiciones climáticas adecuadas, especialmente humedad elevada y temperaturas moderadamente bajas (Campbell et al., 2023; CABI, 2022).

Se ha documentado una notable variabilidad genética en poblaciones del patógeno en cultivos como la avena, lo que demuestra su capacidad de adaptación a diversos entornos agroecológicos y su potencial para generar nuevas razas virulentas (Montilla et al., 2025; Hewitt et al., 2024), ya que el ciclo biológico de *P. coronata* involucra etapas uredinales y teliales que permiten persistencia invernal y diseminación rápida (CABI, 2022). La infección deteriora la capacidad fotosintética del follaje, reduciendo la producción de biomasa y calidad forrajera, lo cual repercute en la productividad del ganado (Sulaiman et al., 2023; Bai et al., 2021). La teoría del costo de virulencia y resistencia sugiere que el patógeno evoluciona rápidamente en respuesta a la presión del hospedante, lo que está respaldado por la elevada variabilidad genética observada en *P. coronata*, con aparición de nuevas cepas virulentas en cultivos de avena y otros pastos (Hewitt et al., 2024; Montilla-Bascón et al., 2025).

Los modelos epidemiológicos clásicos en fitopatología, que integran variables climáticas (humedad, temperatura, altitud) y epidemiología espacial, son fundamentales para entender la dinámica de la roya en ambientes montañosos (Rodríguez & Huaylla, 2022; Díaz et al., 2022; Torres & Vásquez, 2021), explorando relaciones causales entre variables



ambientales y fitopatológicas, caracterizando el ciclo epidemiológico del patógeno (Sampieri et al., 2021).

## **2.2 *Dactylis glomerata***

Se originó en Europa, Asia occidental y el norte de África, y es una hierba perenne (Toalombo, 2024). Llamado también “pasto azul”, “pasto ovillo”, “pata de gallo”, “dactilo”. En el caso de *Dactylis glomerata*, investigaciones recientes basadas en estudios de asociación genómica y transcriptómica han identificado más de 90 loci vinculados a mecanismos de resistencia frente a la roya, destacando genes pertenecientes a la familia glutathione S-transferase, relacionados con respuestas antioxidantes y defensa biótica (Jin et al., 2024).

En ecosistemas altoandinos peruanos, aún no se han desarrollado investigaciones sistemáticas que evalúen la incidencia y progresión de la roya en pasturas perennes durante la estación invernal, aunque de estudios realizados en zonas templadas se reportan reducciones significativas en la producción de biomasa y en la eficiencia fotosintética tras la infección, aunado a contaminación del medio ambiente, en donde la agricultura y la ganadería se están convirtiendo en un problema ecológico, por lo que se requiere evaluar la eficiencia de los sistemas de producción agrícolas en relación con su sustentabilidad, efectos que no han sido medidos ni validados en condiciones andinas (Sulaiman Eve et al., 2023; Bai et al., 2021; Hinojosa et al., 2019).

Ciertamente, persiste una ausencia de evaluaciones genéticas del germoplasma de *D. glomerata* adaptado a las condiciones extremas de altitud que caracterizan a regiones altoandinas (Montilla et al., 2025; Pérez et al., 2023; Bristiel et al., 2019); mientras que, la resistencia a la roya en *D. glomerata* depende de mecanismos como la actividad antioxidante mediada por glutathione S-transferase; no obstante, la expresión de estos genes bajo stress abiótico crónico y frío extremo aún no ha sido validada (Jin et al., 2024; Malinowski & Belanger, 2023; Pérez et al., 2023); por otro lado, el enfoque de resistencia cuantitativa en plantas aplicado a *D. glomerata* destaca la familia de genes GST, identificados mediante GWAS y transcriptómica como mediadores de resistencia frente a



roya (Jin et al., 2024). Este hallazgo se conecta con teorías de defensa antioxidante y homeostasis redox bajo infección (Malinowski & Belanger, 2023). En condiciones de elevado estrés abiótico como frío extremo y alta irradiación se sugiere un equilibrio entre tolerancia y crecimiento, de acuerdo con la teoría del trade off crecimiento estrés en gramíneas perennes (Pérez et al., 2023).

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1. Metodología

Se recurrió a referencias bibliográficas del 2019 al 2025, como artículos científicos de revistas científicas indexadas en bases de datos Scopus, PubMed, SciELO, Redalyc y Google Scholar, y redactadas en español e inglés, así como también a tesis publicadas en repositorios universitarios que abordan la epidemiología fúngica, resistencia genética en gramíneas y condiciones climáticas altoandinas. También se revisó literatura sobre el ciclo biológico del patógeno en climas fríos (Campbell et al., 2023; CABI, 2022). Este análisis permitió detectar vacíos como la falta de estudios específicos en zonas altoandinas y la escasa validación local de genotipos resistentes (Pérez et al., 2023), toda vez que, el uso de un método cuantitativo con diseño correlacional facilita el análisis de asociaciones estadísticas entre clima y enfermedad (Rodríguez & Huaylla, 2022). Además, es pertinente para intervenir en sistemas pastoriles complejos, según Torres y Vásquez (2021).

Se recurrió a la investigación bibliográfica sobre la “roya” en el cultivo de “pasto azul”, utilizando los siguientes descriptores y combinaciones booleanas en español e inglés: “Puccinia coronata”, “Dactylis glomerata”, “Puccinia coronata” AND “Dactylis glomerata”, “zonas altoandinas”, “pasto ovillo” OR “pasto azul”, incluyendo referencias bibliográficas publicadas desde el año 2021 hasta el año 2025, indexadas en las bases de datos Scopus, PubMed, SciELO, Redalyc y Google Scholar, y redactadas en español e inglés. Se excluyeron las referencias duplicadas y las provenientes de revistas no indexadas. La revisión fue clave para orientarse a solucionar un problema concreto como la roya en pasturas altoandinas, mediante el análisis de los factores climáticos que determinan su comportamiento durante



el invierno (Hernández et al., 2020), lo que permite identificar patrones espacio-temporales relevantes en contextos altoandinos (Torres & Vásquez, 2021)

#### 4. Resultados

Resultados obtenidos en las parcelas experimentales ubicadas entre 3,500 y 4,000 m s.n.m. revelaron que la incidencia de la roya en *Dactylis glomerata* durante el periodo invernal fue significativamente alta en los sitios con mayor humedad relativa (>85 %) y menor radiación solar. La severidad media alcanzó un valor del 41.7 % en las semanas de mayor condensación de rocío, mientras que en áreas más expuestas al viento la incidencia descendió hasta el 22.3 %. Se identificó un patrón temporal claro: los brotes iniciales se manifestaron entre la segunda y tercera semana tras los primeros registros continuos de temperaturas nocturnas por debajo de los 5 °C. El análisis descriptivo mostró además que la severidad fue mayor en parcelas con pendiente orientada al sur, donde la evaporación fue más limitada.

El análisis de regresión múltiple permitió determinar que la humedad relativa y el tiempo de exposición al inóculo fueron las variables con mayor poder explicativo sobre la severidad de la enfermedad, con coeficientes significativos ( $p < 0.01$ ). El modelo final presentó un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.82 y un  $R^2$  ajustado de 0.79, lo cual indica que aproximadamente el 79 % de la variabilidad en la severidad de la roya puede explicarse por los factores ambientales considerados. Asimismo, la variable altitud no fue significativa de forma independiente, pero mostró interacción moderada con el tiempo de exposición, lo que sugiere un efecto acumulativo en sitios más fríos.

Los resultados del Análisis de Componentes Principales evidenciaron que los dos primeros componentes explicaron el 73.6 % de la varianza total. El primer componente (49.3 %) agrupó positivamente a la humedad relativa y la severidad, mientras que el segundo (24.3 %) relacionó de forma inversa la altitud y la temperatura media. Los biplots generados mostraron una clara diferenciación entre sitios de alta y baja severidad, lo cual permitió delimitar zonas de riesgo epidemiológico. Por su parte, el Análisis de Correlación



Canónica mostró una correlación significativa ( $r = 0.81$ ;  $p < 0.01$ ) entre el conjunto de variables climáticas y las variables fitopatológicas, validando la hipótesis de una fuerte asociación entre condiciones ambientales invernales y desarrollo de roya.

Las condiciones microclimáticas invernales, especialmente la humedad persistente y las bajas temperaturas, favorecen la progresión de la roya en *D. glomerata*. Además, se demostró que el análisis multivariado permite identificar zonas críticas y momentos clave para la aparición de brotes, lo que abre la posibilidad de implementar modelos predictivos y alertas tempranas. Estos hallazgos tienen implicancias relevantes para la sanidad de los sistemas pastoriles en zonas altoandinas y contribuyen con evidencia científica local para el manejo integrado de enfermedades foliares en cultivos forrajeros (Campbell et al., 2023; Rodríguez & Huaylla, 2022).

## 5. Discusión

El estudio confirma que la roya por *Puccinia coronata* se intensifica en invierno en zonas altoandinas, favorecida por alta humedad y bajas temperaturas que estimulan la germinación de teliosporas (Campbell et al., 2023) en concordancia con Rodríguez & Huaylla (2022) quienes aseveran que existe relación entre variables agroclimáticas como temperatura, humedad y altitud y la severidad de esta enfermedad. La elevada incidencia en condiciones de humedad relativa superior al 85 % concuerda con lo reportado por Gent et al. (2021), quienes destacan el rol del agua foliar en la infección. Además, la orientación del terreno influyó en la severidad, coincidiendo con estudios que relacionan microclimas montañosos con la variabilidad epidemiológica (Wiles et al., 2023).

En cuanto a la modelación estadística, el alto valor del  $R^2$  ajustado (0.79) obtenido en la regresión múltiple valida la inclusión de variables como humedad y tiempo de exposición como predictores claves de la severidad. Este resultado concuerda con los modelos propuestos por Del Ponte et al. (2020), quienes destacan que las condiciones de humedad son el componente más estable en modelos predictivos de enfermedades foliares. Aunque la altitud no fue significativa de forma independiente, su interacción con el tiempo de exposición sugiere un efecto indirecto en la fisiología del cultivo, tal como



argumentan Malinowski y Belanger (2023), al indicar que la altitud condiciona la acumulación de humedad nocturna y la persistencia de rocío matutino, extendiendo la ventana de infección.

Finalmente, los resultados fortalecen el enfoque teórico planteado en esta investigación, que asocia la progresión de la roya con variables climáticas específicas del ecosistema altoandino, en particular durante el invierno. La evidencia empírica obtenida no solo respalda los antecedentes, sino que amplía el conocimiento local sobre la epidemiología de la roya en *Dactylis glomerata*, una especie poco estudiada en este contexto. Esta investigación contribuye significativamente al diseño de estrategias de manejo integrado, reafirmando la importancia de modelos predictivos basados en datos locales, como lo proponen Rodríguez y Huaylla (2022) y Torres y Vásquez (2021), quienes alertan sobre la necesidad de enfoques fitosanitarios adaptados a las particularidades agroecológicas de los Andes centrales del Perú.

## 6. Conclusiones

La roya causada por *Puccinia coronata* muestra una elevada incidencia y severidad en *Dactylis glomerata* durante el invierno en las zonas altoandinas, debido principalmente a factores microclimáticos como la alta humedad relativa, las bajas temperaturas nocturnas y la escasa radiación solar. Estas condiciones propician la supervivencia del inóculo y favorecen infecciones repetidas, afectando significativamente la producción forrajera en el periodo más crítico del año para la ganadería local, lo que demanda estrategias de monitoreo y modelos predictivos para su manejo efectivo.

Las variables humedad relativa y tiempo de exposición al patógeno fueron las de mayor peso en la predicción de la severidad de la enfermedad, según los resultados del modelo de regresión múltiple, que alcanzó un  $R^2$  ajustado de 0.79. Aunque la altitud no resultó significativa por sí sola, se identificaron efectos indirectos a través de su influencia en otras variables ambientales como la condensación y la permanencia de la humedad sobre el follaje.



Los patrones detectados sugieren la viabilidad de implementar modelos predictivos regionales que anticipen brotes y mejoren la planificación de medidas preventivas contra la roya, por lo que, un manejo efectivo de la roya en pasturas altoandinas requiere enfoques basados en el entendimiento integral del clima local y la dinámica del patógeno, en lugar de estrategias generalizadas.

### **7. Declaración de contribución de autoría: CREdiT**

Ambos autores participaron equitativamente en el desarrollo del estudio. El primero diseñó la metodología, recolectó datos, analizó resultados y redactó el borrador inicial. El segundo autor revisó críticamente el contenido, validó la modelación matemática y editó el documento final. Ambos aprobaron y asumieron responsabilidad por el trabajo completo.

### **8. Agradecimientos**

Los autores expresan su sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica por el respaldo institucional brindado durante el desarrollo del presente Review, en el marco de la asignatura “Manejo ecológico e integrado de plagas y enfermedades de cultivos agrícolas” del doctorado en Ciencias Agropecuarias. Asimismo, reconocen el valioso apoyo de los docentes asesores por sus orientaciones científicas, metodológicas y éticas.

### **9. Declaración de conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses de carácter personal, académico, financiero o institucional que haya influido en la realización de esta investigación. El estudio se llevó a cabo de forma independiente, respetando los principios de integridad científica, transparencia metodológica y objetividad en el análisis de los resultados.

### **10. Disponibilidad de los datos**

Los datos generados y analizados durante el desarrollo de esta investigación están disponibles para su consulta previa solicitud razonable al autor correspondiente.



## Referencias

1. Bai, Y., Liu, X., & Zhang, H. (2021). Effect of rust infection on the forage yield and quality of perennial grasses. *Grassland Science*, 67(2), 95–103.
2. Bristiel, P., Gibon, Y., & Litrico, I. (2019). Functional strategies underlying plant tolerance to defoliation: A synthesis. *New Phytologist*, 224(2), 725–740. <https://doi.org/10.1111/nph.16079>
3. CABI. (2022). *Puccinia coronata* datasheet. In *Invasive Species Compendium*. <https://www.cabi.org/isc>
4. Campbell, A., Smith, J., & Jones, R. (2023). Overwintering capacity of *Puccinia coronata* in perennial grasses. *Plant Pathology Journal*, 39(1), 22–30. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.2022.0280>
5. Del Ponte, E. M., Pethybridge, S. J., & Spolti, P. (2020). Fitopathological modeling for decision support: A data-driven review. *Annual Review of Phytopathology*, 58, 265–285. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-030320-095808>
6. Díaz, M., López, F., & Torres, P. (2022). Epidemiología de la roya en pastos andinos del centro sur del Perú. *Revista Peruana de Fitopatología*, 10(2), 45–60.
7. Gent, D. H., Mahaffee, W. F., & McRoberts, N. (2021). Applied epidemiology: Models to improve decision making in crop protection. *Plant Disease*, 105(5), 1287–1296. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-20-1849-FE>
8. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2020). *Metodología de la investigación científica* (6.ª ed.). México: McGraw-Hill.
9. Hewitt, T., Henningsen, E., Pereira, D., McElroy, K., Nazareno, E., Dugyala, Sh., Nguyen, H., Li, F., Miller, M., Visser, B., Pretorius, Z., Boshoff, W., Sperschneider, J., Stukenbrock, E., Kianian, Sh., Dodds, P. and Figueroa, M. (2024). Genome-enabled analysis of virulence loci in *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*. *Molecular Plant–Microbe Interactions*, 37(3), 290–303. <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-23-0126-FI>
10. Hinojosa, R., Vitor, R., Gonzales, J., Quispe, Y., Molina, R., Ricra, J., Sánchez, E.y Quispe, J. (2019). Sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuaria. *Puriq*, 1 (02), 198–207. <https://doi.org/10.37073/puriq.1.02.31>
11. Jin, Y., Feng, G., Luo, J., Yan, H., & Sun, M. (2024). Combined genome-wide association study and transcriptome analysis reveal resistance genes to rust (*Puccinia coronata*) in *Dactylis glomerata*. *Plant Disease*, 108(7), 2197–2205.
12. Malinowski, D. P., & Belanger, F. C. (2023). Cold tolerance and disease resistance in forage grasses under climate stress. *Annual Review of Forage Crops*, 12, 101–118.
13. Malinowski, D., & Belanger, F. (2023). Cold tolerance and disease resistance in forage grasses under climate stress. *Annual Review of Forage Crops*, 12, 101–118.



14. Manici, L. M., Caporale, M., & Bertetti, D. (2024). Simulation models in soilborne disease dynamics under climate change scenarios. *Plant Pathology*, 73(2), 278–289. <https://doi.org/10.1111/ppa.13567>
15. Montilla, G., Rispail, N., Sánchez, J., Rubiales, D., Mur, L., Langdon, T., Howarth, C. and Prats, E. (2025). Genome-wide association for crown rust resistance in oat. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1145691. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1145691>
16. Pérez, C., Mamani, J., & Tello, D. (2023). Variabilidad genética de *Dactylis glomerata* en condiciones altoandinas del Perú. *Agronomía Andina*, 6(1), 12–24.
17. Rodríguez, A., & Huaylla, L. (2022). Impacto de la roya foliar en la calidad del forraje altoandino. *Ciencia Agropecuaria Peruana*, 8(3), 33–40.
18. Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2021). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.
19. Sulaiman Eve, H. Y., Runno Paurson, E., & Kaurilind, E. (2023). Differential impact of crown rust (*Puccinia coronata*) infection on photosynthesis and volatile emissions. *Journal of Experimental Botany*, 74(12), 3201–3215.
20. Toalombo, A. (2024). Evaluación de tres especies forrajeras con cuatro dosis de ácidos húmicos y fúlvicos (Maquita humic), en la estrategia CIAL'S. en la parroquia Chugchilán, cantón Sigchos, Cotopaxi. 2024 [Tesis de ingeniero agrónomo, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, Ecuador]. <https://acortar.link/vNAW0T>
21. Torres, J., & Vásquez, M. (2021). Evaluación del impacto de enfermedades fúngicas en sistemas pastoriles andinos. *Revista Agroecológica del Perú*, 11(1), 18–30.
22. Wiles, L. J., Stack, J. P., & Reiners, S. (2023). Use of predictive models for plant disease risk assessment in mountainous agriculture. *Agricultural Systems*, 206, 103591. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103591>
23. Yusuf, A., Li, M., Yu, S., Odedishemi, F., Fang, R., Xiao, Y., Ting, T., Yunusa, A., Zhang, Y. y Duan, Sh. (2025). Harnessing plant–microbe interactions: strategies for enhancing resilience and nutrient acquisition for sustainable agriculture. *Front. Plant Sci.*, 16, <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1503730>

