

TIEMPO DE SUMERSIÓN DE LA SEMILLA DE QUEÑUA (*Polylepis pacensis*) EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTINES COMO ESPECIE RESILIENTE ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Soaking time for queñua seeds (*Polylepis pacensis*) in seedling production as a climate-resilient species

Edson Apaza Chura¹, Esther Tinco Mamani²

RESUMEN

La región altoandina se caracteriza por albergar una diversidad arbórea singular, resultado de procesos evolutivos asociados a condiciones ambientales extremas, como bajas temperaturas, alta radiación y limitada disponibilidad hídrica. En este contexto, la presencia de especies altamente especializadas, entre las cuales destaca la queñua (*Polylepis pacensis*), con una importancia ecológica por su rol en la regulación hídrica, conservación de suelos y provisión de hábitat. Adicionalmente, su tolerancia a condiciones adversas le confiere potencial para restauración y adaptación frente al cambio climático. El estudio se desarrolló en el vivero multipropósito del Centro Experimental Cota Cota, con el objetivo de determinar la influencia del tiempo de sumersión sobre la capacidad germinativa de semillas. Se implementó un diseño completamente al azar bajo un arreglo bifactorial, considerando como factores el tipo de solución de remojo (agua potable e infusión de sauce) y la duración del tratamiento (24, 48 y 72 horas). En total, se establecieron seis tratamientos con tres repeticiones cada uno, además de un control sin tratamiento. Se analizaron variables relacionadas con la germinación, emergencia y desarrollo inicial de las plántulas. Los resultados evidenciaron que la inmersión en agua potable durante 24 horas optimizó la respuesta germinativa, alcanzando un 70 % de germinación y 52 % de emergencia. Además de registrar el mayor porcentaje de supervivencia posterior al trasplante, con un 84 %, lo que confirma que los plantines de queñua presentan características morfológicas de resistencia a las condiciones extremas del cambio climático, con base al índice de Dickson obtenido de 8.23.

Palabras clave: *Polylepis pacensis*, germinación, tiempo de sumersión, especie resiliente.

ABSTRACT

The high Andean region is characterized by a unique diversity of tree species, the result of evolutionary processes associated with extreme environmental conditions, such as low temperatures, high solar radiation, and limited water availability. In this context, the presence of highly specialized species stands out, particularly the queñua (*Polylepis pacensis*), which is ecologically important due to its role in water regulation, soil conservation, and habitat provision. Additionally, its tolerance to adverse conditions gives it potential for restoration and adaptation to climate change. The study was conducted at the multipurpose nursery of the Cota Cota Experimental Center, with the aim of determining the effect of soaking time on seed germination capacity. A completely randomized design was implemented using a two-factor arrangement, with the type of soaking solution (drinking water and willow infusion) and treatment duration (24, 48, and 72 hours) as factors. In total, six treatments were established, each with three replicates, in addition to a control group without treatment. Variables related to germination, emergence, and initial seedling development were analyzed. The results showed that immersion in drinking water for 24 hours optimized the germination response, achieving a 70 % germination rate and a 52% emergence rate. It also recorded the highest post-transplant survival rate, at 84 %, confirming that quinoa seedlings exhibit morphological characteristics of resistance to the extreme conditions of climate change, based on a Dickson index of 8.23.

Keywords: *Polylepis pacensis*, germination, immersion time, resilient species.

Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/mpfv2726ip83n>

Recibido: 17/04/2026

Aceptado: 18/06/2026

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. <https://orcid.org/0009-0005-5906-7896>. edsonapazachura328@gmail.com

² Docente Investigadora, Centro Experimental Cota Cota, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. <https://orcid.org/0000-0003-1042-5726>. etincomamni@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El cambio climático desempeña un papel cada vez más importante en el declive de la biodiversidad, el cambio climático ha transformado los ecosistemas marinos, terrestres y de agua dulce en todo el mundo; ha provocado la pérdida de especies locales, el aumento de enfermedades y ha impulsado la mortalidad masiva de plantas y animales, dando lugar a las primeras extinciones provocadas por el clima (Naciones Unidas, 2024).

Asimismo, Hughes et al. (2007) indican que las concepciones tradicionales de la interacción entre las personas y su entorno están cambiando rápidamente; los antiguos paradigmas que consideran a los humanos como entidades separadas de la naturaleza, los recursos naturales como inagotables o infinitamente sustituibles, y el mundo como estable, predecible y en equilibrio, ya no son sostenibles. Por ello, la resiliencia para Walker (2020) es la capacidad para responder con rapidez a las perturbaciones y cambios en el sistema, esta capacidad ha evolucionado de forma natural en los sistemas ecológicos, pero puede no desarrollarse o incluso verse suprimida en algunos sistemas sociales (...), por ejemplo: una manifestación global evidente de esto es la necesidad de cambios transformadores para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en lugar de seguir intentando adaptarse al calentamiento global.

Las especies que logran adaptarse y resistir son clave, porque ayudan a mantener los beneficios que da la naturaleza, protegen ante desastres como inundaciones o derrumbes, y además guardan una riqueza genética vital para que nunca nos falte qué comer.

Para Chanove-Manrique y Cárdenas-Pillco (2024) las alteraciones climáticas que han ocurrido a lo largo de los años tienen una relación con las condiciones a las que se han ido adaptando los bosques de *Polylepis*, con lo que se puede afirmar que, por sus características y condiciones, podrían ser especies que ayuden a la adaptación al cambio climático, las investigaciones recopiladas evidencian que estos bosques han sobrevivido a diversos impactos ambientales y antropogénicos que contribuyen a la fragmentación y pérdida de conectividad del paisaje.

Además, la riqueza biológica de los árboles andinos es invaluable y propia de su geografía, pero hoy se ve amenazada. A pesar de su resistencia natural a las condiciones difíciles, el impacto humano está empujando a estas especies endémicas hacia la desaparición; una de las características de la queñua, según Argollo et al. (2004), es que las reservas almacenadas por la planta durante un período de crecimiento son empleadas en el siguiente ciclo.

Los bosques de *Polylepis* representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes centrales a altitudes entre 3 500 m y 4 400 (-5 000) m, las aproximadamente 28 especies del género ocupan una gran variedad de hábitats, desde el límite superior de los bosques de neblina hasta los volcanes áridos del Altiplano; sin embargo, durante milenios las actividades humanas en los Andes han destruido a más del 95 % de estos bosques, restringiéndolos a hábitats especiales y modificando su composición florística y faunística (Kessler, 2006).

Proveen importantes servicios ecosistémicos, de los cuales las comunidades indígenas son beneficiarios directos, por ejemplo, estos bosques son una importante fuente de leña y madera (Hurtado et al., 2018). Además, los bosques de *Polylepis* albergan muchas especies endémicas y son de gran importancia ecológica; el cambio de uso de suelo por la deforestación y la necesidad de obtener recursos naturales del sitio tienden a desestabilizar y transformar los hábitats y a generar parches de manera indiscriminada (Chanove-Manrique y Cárdenas-Pillco, 2024).

Kessler (2006) atribuye que más de la mitad de las especies de estos bosques son utilizadas por las poblaciones locales, aunque muchas están amenazadas por la pérdida de hábitat. Por ello, la conservación y restauración de los bosques de *Polylepis* es esencial para mantener la viabilidad ecosistémica en los Andes.

Además, el uso de técnicas como la hidratación y bioestimulantes naturales, como la infusión de sauce (*Salix babylonica* L.), podría potenciar la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas debido a la presencia de ácido salicílico y otros compuestos que promueven el crecimiento, además Hayat et al. (2013) menciona que el ácido salicílico o ácido orto-hidroxibenzoico, es un compuesto fenólico que se encuentra en las plantas.

El objetivo de este trabajo fue comprender cómo el tiempo que una semilla de queñua (*Polylepis pacensis*) permanece sumergida en agua afecta su capacidad de germinar, pensando en esta especie como una alternativa prometedora frente al cambio climático. Al mismo tiempo, se busca aportar conocimientos prácticos para la producción de plantines, identificando cuál tratamiento pregerminativo logra que las semillas germinen mejor y den lugar a plántulas más vigorosas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en el Vivero Multipropósito perteneciente al Centro Experimental Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés del departamento de La Paz, Bolivia.

Geográficamente ubicado a 16° 32' 22", latitud sur; 68° 03' 44" longitud oeste del Meridiano de Greenwich y 3 445 msnm, distante a 15 km de la ciudad de La Paz.

Metodología

En la presente investigación se emplearon semillas de queñua (*Polylepis pacensis*), las cuales fueron sometidas a tratamientos de imbibición considerando como Factor A el tipo de agua de remojo (agua potable e infusión de sauce) y como Factor B los tiempos de sumersión (24, 48 y 72 horas), establecidos para la evaluación experimental.

Las temperaturas promedio dentro del vivero fluctuaron entre 16.6 a 22 °C. Se presenció el descenso gradual de temperatura al largo del trabajo en los meses de mayo, junio, julio y agosto cuyas temperaturas promedio fueron de 16.6 °C a 14.2 °C y en el mes de septiembre muestra un ascenso de térmico el cual es atribuido al cambio de estación, este mes registro una temperatura media de 22.4 °C. En función al desarrollo de los plantines de queñua en el área experimental se observó un buen comportamiento de plantines, resistencia a temperaturas bajas.

La preparación no es tan compleja, en el caso de la infusión de sauce, se recolectó un kilo de hojas y tallos de la parte apical del árbol, que se dejó reposar con dos litros de agua hervida, por 24 horas en un recipiente cerrado, para el uso como enraizador (Tinco, 2024); posteriormente, la solución se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, la infusión obtenida se distribuyó en tres vasos de vidrio y, de manera paralela, se colocó agua potable en otros tres envases.

Cada vaso contuvo 120 semillas de queñua, totalizando 720 semillas sometidas a tiempos de sumersión de 24 horas para el primer par de envases, 48 horas para el segundo par y 72 horas para el tercer par, tanto para la infusión de sauce como para el agua potable.

Para la evaluación se utilizaron 1.20 m² de almácigo. De esta superficie 0.60 m² fueron destinados a la siembra de semillas sometidas a inmersión en agua potable y 0.60 m² sumergidas en infusión de sauce.

Para la preparación del sustrato se empleó la proporción 2:1:1 (turba, arena y tierra, respectivamente) relación comúnmente utilizada en el Vivero Multipropósito para la propagación de diversas especies forestales, esta mezcla es conocida como "sustrato estándar".

Concluida la mezcla, se procedió a la desinfección del sustrato mediante la aplicación de una solución compuesta de 5 ml de formol al 40 % diluidos en 20 litros de agua. La solución fue distribuida de manera uniforme sobre el sustrato, el cual posteriormente fue cubierto

completamente con nylon transparente para favorecer el proceso de desinfección por solarización. La cobertura se mantuvo hasta la disipación total del olor a formol, lo que ocurrió aproximadamente después de tres días.

El diseño experimental empleado para la evaluación fue un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial empleándose, agua de remojo: agua potable e infusión de sauce como (factor A), para el (factor B) se empleó tres diversos tiempos de sumersión (24, 48 y 72 horas). Utilizando el siguiente modelo de análisis estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Dónde: Y_{ij} = una observación particular perteneciente al i-ésima agua de remojo y el j-ésimo tiempo de sumersión; μ = media general; α_i = efecto del agua de remojo (j = infusión de sauce y agua potable); β_j = efecto del tiempo de sumersión (i = 24 horas, 48 horas y 72 horas); $(\alpha\beta)_{ij}$ = interacción de agua de remojo y tiempo de sumersión; ε_{ij} = Error Experimental.

Los factores de estudio fueron compuestos por el factor agua de remojo: agua potable e infusión de sauce. El factor B son los tiempos (24, 48 y 72 horas) incluido un testigo, tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Combinación de factores en estudio (tratamientos)

Tratamientos	Factor A	Factor B
T0	Sin sumersión	0 horas
T1	Agua potable	24 horas
T2	Agua potable	48 horas
T3	Agua potable	72 horas
T4	Infusión de sauce	24 horas
T5	Infusión de sauce	48 horas
T6	Infusión de sauce	72 horas

Se contó con seis tratamientos, tres repeticiones integrado un testigo, haciéndose un total de 18 unidades experimentales.

Las variables de respuesta evaluadas: porcentaje de germinación, porcentaje de emergencia, altura de plántula, número de hojas de la plántula, longitud de raíz, número de raíces y porcentaje de supervivencia.

Para darle orden y sentido a la gran cantidad de información recolectada directamente en campo, los datos se organizaron y analizaron con ayuda del paquete estadístico InfoStat. Este programa permitió tabular los resultados de manera precisa y aplicar las pruebas estadísticas necesarias para comparar los tratamientos evaluados. Gracias a esta herramienta, se pudo transformar los números y mediciones obtenidas en almacigo, en evidencias claras y confiables, capaces de respaldar las conclusiones del estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mecanismos de resiliencia

La resiliencia de un ecosistema no depende únicamente de cada árbol o especie por separado, sino de la variedad de funciones que conviven en él, dicho de otro modo, un bosque que alberga muchas especies diferentes,

todas ellas capaces de resistir y recuperarse, tiene una ventaja enorme frente a aquellos donde solo hay una, de hecho, como después de un incendio forestal, un bosque diverso tiene un 70 % más de probabilidades de volver a crecer y restaurarse en comparación con un monocultivo. Por ello, es importante resaltar los mecanismos de resiliencia de la queñua vs. otras especies, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Mecanismos de resiliencia: queñua vs. otras especies.

Especie/grupo	Mecanismo de resiliencia	Nivel de tolerancia	Característica
Queñua (<i>Polylepis</i>)	Corteza suberosa multicapa (aislante térmico) y alta eficiencia en la captación de humedad atmosférica.	Extremo	Soporta heladas de hasta -20 °C y suelos pobres
Pino Silvestre (<i>Pinus</i>)	Capacidad de ajustar la apertura de estomas para evitar la pérdida de agua durante sequías prolongadas.	Alto	Se adapta a cambios rápidos en la humedad del suelo.
Palmeras Amazónicas	Sistemas radiculares profundos que acceden a mantos freáticos en periodos de baja precipitación.	Moderado/Alto	Actúan como reservorios de vida en sequías.
Encinos (<i>Quercus</i>)	Plasticidad fenológica (ajuste de tiempos de floración y caída de hojas) ante cambios térmicos.	Alto	Gran capacidad de migración altitudinal.

Elaborado con referencias que cubren aspectos fisiológicos, ecológicos y modelos de distribución climática que respaldan: Sousa et al. (2020), resiliencia de las palmeras amazónicas y el acceso a mantos freáticos (Cuyckens et al., 2016), la tolerancia extrema de la queñua a heladas y su importancia hídrica (Kopeć, 2024), y descripción de la corteza suberosa y la adaptación a la radiación UV de la queñua (Segovia-Salcedo et al., 2018).

En un estudio realizado por Argollo et al. (2004) se analiza la potencialidad dendroclimatológica de la queñua, árbol que habita el Altiplano boliviano y zonas adyacentes de Perú, Chile y Argentina entre los 4 000 y 5 200 msnm, donde se concluye que la existencia de registros dendrocronológicos centenarios con fuerte señal climática brinda la oportunidad de emplear los mismos para reconstruir las variaciones pasadas de la precipitación en el Altiplano de Bolivia durante de los últimos 500-700 años. Sabiendo, que la importancia de la potencialidad dendrocronológica radica en la capacidad de los anillos de crecimiento anual de los árboles registrando con precisión eventos climáticos (sequías, humedad), ecológicos (incendios, dinámica forestal) y arqueológicos.

La queñua es un cultivo andino de valor económico y adaptabilidad a condiciones extremas, lo que lo convierte en una opción prometedora frente a los efectos del cambio climático, sin embargo, su establecimiento se ve limitado por una germinación irregular y la posible latencia de sus semillas, entonces, los tratamientos pre germinativos pueden mejorar la tasa y velocidad de germinación, facilitando la producción de plantines.

Los hallazgos del presente estudio demuestran que el tiempo de sumersión y el tipo de agua de remojo

afectan significativamente el porcentaje de germinación y emergencia de la queñua. Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado para otras especies del género *Polylepis*, donde se ha señalado que las semillas ortodoxas requieren un nivel adecuado de humedad para activar procesos vinculados a la germinación, la reparación de membranas y la tolerancia al estrés.

Porcentaje de germinación

Villena-Ochoa et al. (2024), confirman que los procesos fisiológicos como la germinación y dormancia en semillas bajo condiciones controladas de especies forestales andinas son escasamente conocidos.

El inicio de la siembra de semillas de *Polylepis pacensis* fue en el mes de marzo, a partir de la fecha se presentó un incremento progresivo en el porcentaje de germinación a lo largo del periodo de evaluación, alcanzando finalmente un 70 % a los 25 días. Estudios realizados por Olachica (2025) en especies nativas del bosque Alto Andino, evidencia que los procedimientos en tratamientos pregerminativos en la mayoría de las semillas nativas es optar por el despulpado, extracción manual de semillas, hidratación pregerminativa, secado y extracción.

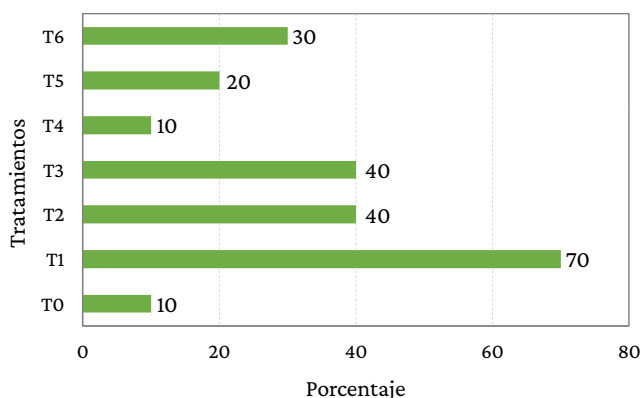


Figura 1. Porcentaje de germinación de semillas a los 25 días.

Se observa en la Figura 1, que los porcentajes de emergencia obtenidos para cada tratamiento fueron los siguientes: T0 (sin sumersión) alcanzó un 10 %; T1 (tiempo más corto) presentó el valor más alto con un 70 %; T2 y T3 obtuvieron un 40 % cada uno; T4 registró un 10 %; T5 alcanzó un 20 %; y T6 llegó a un 30 %. Estos resultados indican que la sumersión breve y controlada (T1) favorece notablemente la emergencia de las semillas de queñua, superando ampliamente al testigo sin sumersión. Sin embargo, no se observó una tendencia lineal clara entre el aumento del tiempo de sumersión y la disminución de la emergencia, ya que T4 (10 %) fue inferior a T5 (20 %) y T6 (30 %). Es posible que factores adicionales como la calidad heterogénea de las semillas o condiciones microambientales del almacigo, hayan influido en estos resultados. No obstante, lo más relevante es que una sumersión corta (T1) logró un 70 % de emergencia, convirtiéndose en el tratamiento más prometedor para la producción de plantines de queñua como especie resiliente al cambio climático.

Cuando sumergimos las semillas ortodoxas de queñua en agua durante 24 horas, se logró que alcancen justo el nivel de humedad que necesitan y un estado metabólico ideal para despertar, ese remojo controlado no es un simple mojado; detrás de eso se activan un montón de procesos internos muy importantes; se ponen en marcha mecanismos bioquímicos y fisiológicos que impulsan la germinación, ayudan a que la semilla tolere mejor el estrés del ambiente (como falta de agua o temperaturas extremas) y además se activan sistemas de reparación enzimática que arreglan posibles daños en las membranas de sus células. En pocas palabras, esas 24 horas de sumersión le dan a la semilla la humedad justa y el impulso metabólico que necesita para brotar con fuerza y resiliencia.

Vega et al. (2018), mencionan que la biología reproductiva de tres especies de *Polylepis* (*P. neglecta*, *P. incarum* y *P. pacensis*), con énfasis en su comportamiento germinativo, indican que el porcentaje de humedad de las semillas fue bajo: 10 % en *P. incarum*, 8 % en *P. pacensis* y

6 % en *P. neglecta*; por esta razón, podrían considerarse semillas ortodoxas (i.e., se pueden almacenar por un período prolongado sin perder su poder germinativo), se obtuvo una germinación de 10 % (*P. neglecta*), 8 % (*P. pacensis*) y 2 % (*P. incarum*); por otro lado, la respuesta germinativa de semillas de estas especies de *Polylepis* en condiciones de invernadero mostró el mayor porcentaje de germinación (19 %) en el sustrato arena+turba 1:1, la especie que mostró el mayor porcentaje de germinación fue *P. neglecta* (entre 10 y 15 %), mientras que *P. pacensis* y *P. incarum* presentaron 8 y 2 %, respectivamente.

Los tratamientos pre-germinativos de hidratación-deshidratación de las semillas han probado ser eficientes para revigorizar semillas envejecidas, acelerar y uniformar la germinación y incrementar los rendimientos de los cultivos bajo condiciones ecológicas óptimas y adversas; efectos que se conocen como revigorización, acondicionamiento y robustecimiento de semillas (Sánchez et al., 2001).

Es cierto que el género *Polylepis* no se caracteriza precisamente por tener una germinación abundante; sus semillas suelen brotar en baja proporción. Sin embargo, cuando se dispone de una buena cantidad de semillas y se les ofrece las condiciones adecuadas para crecer, como la humedad justa, un sustrato apropiado y una temperatura estable; es totalmente posible lograr una propagación masiva en invernadero. Y lo mejor es que los resultados son muy alentadores: se obtienen muchas plantas, y además sanas y de buena calidad.

Porcentaje de emergencia

El seguimiento al porcentaje de emergencia concluyó a los 55 días después de la siembra diferenciándose de la germinación con la pequeña ruptura de la capa del suelo y aparición de los cotiledones por encima de la misma (epigea).

En el ensayo se evaluaron diferentes tiempos de sumersión de la semilla de queñua, y los resultados fueron bastante reveladores. En la Figura 2, el tratamiento con el tiempo más corto (T1) alcanzó el mayor porcentaje de emergencia, con un 52 %, superando ampliamente al tratamiento sin sumersión (T0), que apenas logró un 10 %. A medida que se prolongó el tiempo de sumersión (desde T2 hasta T6), los porcentajes de emergencia mostraron una disminución progresiva: 47 %, 45 %, 43 %, 39 % y 38 %, respectivamente. Esto indica que, si bien una sumersión breve y controlada favorece la germinación, periodos prolongados bajo el agua terminan afectando negativamente a las semillas, probablemente por limitar el oxígeno disponible o generar condiciones de estrés. En términos prácticos, para producir plantines de queñua como especie resiliente al cambio climático, lo más

recomendable es aplicar una sumersión corta (T1) y evitar remojo extensos que reduzcan drásticamente el éxito de emergencia. Así se logra un buen equilibrio entre cantidad y calidad de plantas útiles para programas de reforestación.

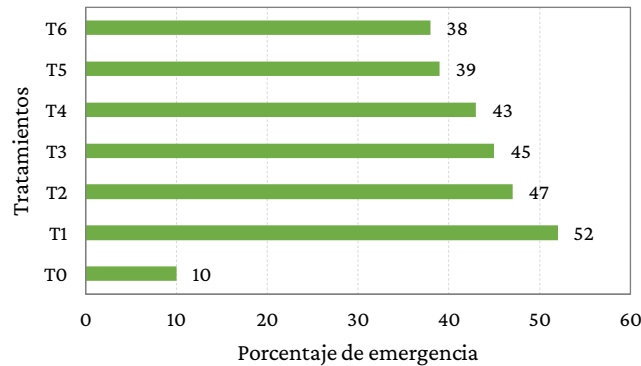


Figura 2. Porcentaje de emergencia.

Tabla 3. Análisis de varianza para la variable porcentaje de emergencia.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Modelo	79.17	5	15.83	4.19	0.0195
Agua de remojo	40.50	1	40.50	10.72	0.0067**
Tiempo de sumersión	32.33	2	16.17	4.28	0.0395 *
Agua de remojo* tiempo de sumersión	6.33	2	3.17	0.84	0.4563NS
Error	45.33	12	3.78		
Total	124.50	17			

Coefficiente de variación = 13.63 %; ** = altamente significativo; * = significativo; NS = no significativo.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de emergencia de semillas de queñua arrojó que el modelo global fue significativo ($F = 4.19$; $p = 0.0195$), indicando que los factores evaluados afectan la germinación (Tabla 3). El tipo de agua de remojo mostró un efecto altamente significativo ($F = 10.72$; $p = 0.0067^{**}$), lo que sugiere que la calidad o composición del agua utilizada influye de manera decisiva en la emergencia de las plántulas. Por su parte, el tiempo de sumersión también presentó un efecto significativo ($F = 4.28$; $p = 0.0395^{*}$), confirmando que la duración del remojo modifica el porcentaje de germinación. Sin embargo, la interacción entre ambos factores (agua de remojo $\times$ tiempo de sumersión) resultó no significativa ($F = 0.84$; $p = 0.4563$ NS), lo que indica que ambos factores actúan de forma independiente; es decir, el efecto del tiempo de sumersión no depende del tipo de agua empleada. El coeficiente de variación fue de 13.63 %, un valor aceptable que respalda la confiabilidad de los datos obtenidos.

El factor agua de remojo revela que (agua potable) registró una media de 16 %, mientras que la (infusión de sauce) alcanzó 13 %. De acuerdo con la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), ambos valores pertenecen a grupos estadísticamente diferentes: (agua potable) al

En el momento en que el ápice del coleoptilo recibe estímulos lumínicos, aún bajo la superficie del suelo, reanuda su crecimiento, elongando y produciendo la emergencia de las plántulas. Para Sánchez (2025), la emergencia de las plántulas es dependiente, además de los componentes que perjudiquen la germinación de las semillas, tanto en una cama de almacigo como en otras condiciones del medio ambiente.

grupo A (superior) y la (infusión de sauce) al grupo B (inferior). Esto demuestra que el tipo de agua de remojo influye significativamente en la germinación de las semillas de queñua, siendo el agua potable la más efectiva para lograr un mayor porcentaje de emergencia.

En cuanto al factor tiempo de sumersión, la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) mostró que el tiempo de sumersión (72 horas) alcanzó la media más alta con 16.33 %, ubicándose en el grupo A. Para (48 horas) registró 14.00 % y compartió el grupo AB, lo que indica que no es estadísticamente diferente ni de (72 horas) ni de (24 horas). Finalmente, el tiempo de sumersión (24 horas) obtuvo la media más baja con 13.17 %, correspondiente al grupo B. Estos resultados sugieren que tiempos de sumersión más prolongados (72 horas) favorecen significativamente el porcentaje de emergencia en comparación con el tiempo más corto (24 horas), mientras que el tiempo intermedio (48 horas) muestra un comportamiento intermedio sin diferencias claras con los extremos.

La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos que incluye la respiración, síntesis proteica y movilización de reservas (Chong, 2002). Por lo tanto, el tiempo de sumersión en remojo de agua rompe estados de latencia en semillas de

queñua, a su vez esta va acompañada con la rehidratación y posterior inicio de las actividades metabólicas.

Altura de plántula

Los resultados que se muestran en la Tabla 4, indican que no existe significancia en ninguno de los factores A (agua de remojo), B (tiempo de sumersión) como en la interacción, por lo tanto, cuando se analiza estadísticamente los datos de altura de las plántulas de queñua, los resultados fueron bastante claros, el modelo en su conjunto no mostró diferencias significativas ($p = 0.6838$). En términos más simples, da lo mismo qué

agua usemos o cuánto tiempo dejemos las semillas sumergidas, ninguna de esas variables influyó de manera clara en la altura que terminaron alcanzando las plántulas. Pero, el coeficiente de variación fue de apenas 11.38 %, un valor muy bajo que indica que los datos fueron precisos y que las mediciones son confiables. Aunque no se encontraron efectos significativos de los tratamientos sobre la altura de la queñua, la consistencia de los datos afirma que los resultados obtenidos no se deben al azar, sino a que, probablemente, la altura de esta especie no responde de manera sensible a los tiempos de sumersión o al tipo de agua probados en este ensayo.

Tabla 4. Análisis de varianza para la variable altura de plántula.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Modelo	1.05	5	0.21	0.63	0.6838
Agua de remojo	0.00056	1	0.00056	0.0017	0.9682NS
Tiempo de sumersión	0.98	2	0.49	1.46	0.2703NS
Agua de remojo* tiempo de sumersión	0.07	2	0.03	0.10	0.9047NS
Error	4.03	12	0.34		
Total	5.08	17			

Coeficiente de variación = 11.38 %; ** = altamente significativo; * = significativo; NS = no significativo

Los estudios realizados en métodos pregerminativos demuestran que la interacción efectuada de factores que intervienen en la germinación no afecta en el proceso fisiológico de los demás órganos de la planta tales, como tallo, hojas, brotes y que estas actúan directamente en los procesos bioquímicos – fisiológicos de la semilla.

Número de hojas

En el análisis de varianza de la Tabla 5, se observa efectos no significativos para los factores de estudio factor A (agua de remojo) y factor B (tiempo de sumersión)

como también su interacción, lo cual indica que no existe efectos que favorezcan al número de hojas de la plántula.

En la investigación de Mejia (2024), se menciona sobre la evaluación de tratamientos pregerminativos y sustratos en el crecimiento inicial (*Vachelia macracantha*) las variables evaluadas, descritas en tratamientos pregerminativos y sustratos son: porcentaje de supervivencia de plántulas, número de hojas, diámetro de tallo, altura de plántula, índice de robustez, proporción altura/raíz. Los datos no presentaron homogeneidad en las medias obtenidas en la investigación.

Tabla 5. Análisis de varianza para la variable número de hojas.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Modelo	2.50	5	0.50	0.75	0.6017
Agua de remojo	0.06	1	0,06	0.08	0.7778NS
Tiempo de sumersión	2.33	2	1.17	1.75	0.2153NS
Agua de remojo* tiempo de sumersión	0.11	2	0.06	0.08	0.9206NS
Error	8.00	12	0.67		
Total	10.50	17			

Coeficiente de variación = 17.05 %; ** = altamente significativo; * = significativo; NS = no significativo.

Longitud de raíz

En el análisis de varianza de la Tabla 6, se observa efectos no significativos para los factores de estudio factor A (agua de remojo) y factor B (tiempo de sumersión) como también su interacción, lo cual indica que no existen efectos que favorezcan a la longitud de raíces, ni de manera conjunta ni de manera individual, ya que el agua de remojo

y el tiempo de sumersión no influyeron de forma significativa. La germinación para Courtis (2013), comprende cuatro etapas principales: la imbibición de agua, la síntesis y activación de los sistemas enzimáticos, degradación de las sustancias de reserva y elongación de células del embrión y emergencia de la radícula. Cuyas etapas se realiza bajo el contenido de los distintos

nutrientes existentes en los órganos de la semilla, tales como tegumento seminal, cotiledón y embrión. Los tratamientos pregerminativos no influyen en la longitud

de la raíz, ya que actúan principalmente sobre la viabilidad de la semilla y no sobre el desarrollo de los órganos posteriores a la germinación.

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable longitud de raíz.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Modelo	12.50	5	2.50	1.93	0.1621
Agua de remojo	3.83	1	3.83	2.96	0.111NS
Tiempo de sumersión	1.48	2	0.74	0.57	0.5787NS
Agua de remojo* tiempo de sumersión	7.19	2	3.60	2.78	0.1018NS
Error	15.52	12	1.29		
Total	28.02	17			

Coeficiente de variación = 16.37 %; ** = altamente significativo; * = significativo; NS = no significativo.

Número de raíces

El análisis de varianza de la siguiente Tabla 7, mostró efectos no significativos para el factor A (agua de remojo), el factor (tiempo de sumersión) y su interacción.

La ausencia de significancia estadística sugiere que dichos factores no influyeron de manera favorable en la cantidad de raíces de la plántula, ni de forma individual ni en combinación.

Tabla 7. Análisis de varianza para la variable número de raíces.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Modelo	1.17	5	3.03	0.84	0.5464
Agua de remojo	0.06	1	0.06	0.02	0.9033NS
Tiempo de Sumersión	6.33	2	3.17	0.88	0.4411NS
Agua de remojo* Tiempo de sumersión	8.78	2	4.39	1.22	0.3306NS
Error	43.33	12	3.61		
Total	58.50	17			

Coeficiente de variación = 11.96 %; ** = altamente significativo; * = significativo; NS = no significativo.

El estudio realizado por Quinteros (2014), donde una de las variables evaluadas fue el número de raíces en dos especies de queñua (*Polylepis tarapacana* y *Polylepis besseri* Hieron.) cultivadas en cuatro sustratos bajo ambiente protegido, mostró significancia independiente de los factores especie y sustratos, pero no de su interacción. Así mismo se mencionó que los valores del número de raíces fueron inversamente proporcionales a los obtenidos para longitud radicular, lo que indica que cuando el brote desarrolla una mayor cantidad de raíces, estas tienden a ser de menor longitud.

Este aspecto se puede evidenciar claramente no solo en la reproducción asexual, sino también en la reproducción sexual de la queñua, en lo que respecta al desarrollo radicular, coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Porcentaje de supervivencia

En el porcentaje de plantas que lograron sobrevivir después de pasarlas a las bolsas de repique, se observa que

el tratamiento que mejor resultado dio fue el T1, con nada menos que un 84 % de supervivencia, seguido muy de cerca por el T4 (81 %), T6 (79 %), T2 (78 %) y T5 (76 %). En el otro extremo, el testigo sin sumersión (T0) apenas alcanzó un 60 %, mientras que el T3 quedó en 67 %. Lo que más llama la atención es que todos los tratamientos que incluyeron sumersión superaron al testigo, lo que sugiere que mojar las semillas antes de sembrarlas tiene un efecto positivo y claro en la capacidad de las plantitas para aguantar el estrés del trasplante. Además, no parece que exista una regla simple como "a más tiempo de remojo, mejor supervivencia", porque varios tratamientos (T1, T4, T6, T2, T5) se mantuvieron por encima del 75 % sin un orden perfecto. Lo importante es que, comparado con no hacer nada (T0), cualquier tiempo de sumersión mejora notablemente la supervivencia. Esto nos deja una lección práctica, si queremos que nuestros plantines de queñua resistan el cambio de almacigo a bolsas de repique y sigan creciendo sanas, conviene aplicar un remojo previo, y el T1 (que probablemente fue el más corto) resultó ser el más efectivo en este ensayo.

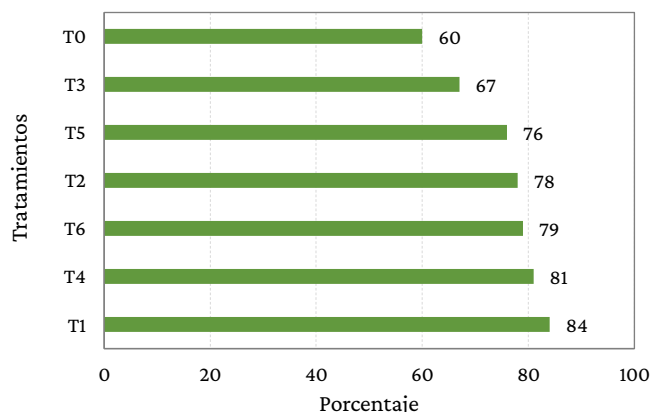


Figura 3. Porcentaje de supervivencia después del trasplante.

En la Figura 3, se puede apreciar los porcentajes de supervivencia, los cuales fueron determinados a los 20 días después del trasplante de los plantines a bolsas de repique. León (2009), a los 90 días obtuvo un porcentaje de prendimiento de 91.3 % en *Polylepis racemosa* y 45.9 % en *Polylepis incana*, además obtuvo un mayor porcentaje de prendimiento de 75.6 % con la aplicación de enraizado té de estiércol.

Los resultados obtenidos en la presente evaluación, en relación con el porcentaje de supervivencia, encuentra dentro de los rangos establecidos por estudios previos sobre la reproducción asexual, aspecto que difiere del enfoque metodológico del presente trabajo. Sin embargo, dichos antecedentes permiten evidenciar que no existen diferencias significativas en el prendimiento entre ambos tipos de reproducción, cuando el establecimiento de las plantas se realiza en condiciones de ambiente protegido.

Índice de calidad de Dickson

El tratamiento con mayor índice de calidad de Dickson (ICD) es el T1 (sumersión en agua durante 24 horas) que presenta mayores características morfológicas de resistencia a las condiciones extremas del cambio climático (Figura 4). Bañuelos et al. (2008) opina que el Índice de Dickson es una de las variables más importantes en los resultados de pruebas sobre manejo de la producción de planta en vivero. Por lo anterior, se considera que utilizar este índice para medir el efecto del agua como estimulante durante el tiempo de 24 horas es adecuado para estimar la calidad en la producción en vivero de plantines de queñua y superó al tratamiento testigo. En este sentido, se ha demostrado que el ICD constituye un indicador confiable del desempeño post-trasplante, ya que integra variables morfológicas clave asociadas al vigor y la resistencia al estrés ambiental (Grossnickle y MacDonald, 2018).

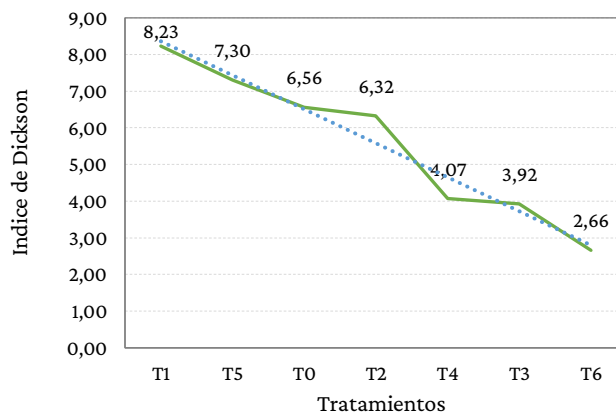


Figura 4. Índice de Dickson de los tratamientos evaluados.

Los resultados obtenidos a partir de los tratamientos evaluados mediante el ICD permitieron discriminar diferencias en la calidad morfofisiológica de las plántulas. En este sentido, el tratamiento que presentó el mayor valor de ICD evidencia un balance óptimo entre biomasa aérea y radical, así como una adecuada robustez estructural, lo que se traduce en un mayor potencial de establecimiento y tolerancia frente a condiciones ambientales adversas, incluidas aquellas asociadas al cambio climático. En consecuencia, el ICD se constituye en un indicador integrador clave para la selección del tratamiento más eficiente.

CONCLUSIONES

El remojo sí funciona, pero no cualquier remojo. Después de probar diferentes tiempos y tipos de agua de remojo, encontramos que la mejor combinación para despertar las semillas de queñua es 24 horas de sumersión en agua potable. Con ese tratamiento logramos un 70 % de germinación a los 25 días, mientras que las semillas que no se remojaron apenas alcanzaron el 10 %.

La emergencia también se beneficia del remojo corto. A los 50 días después de la siembra, el mismo tratamiento (agua potable, 24 horas) volvió a destacar con un 52 % de emergencia, superando a los tiempos más largos (48 y 72 horas) que obtuvieron 47 % y 45 % respectivamente. Esto nos dice que más tiempo no es mejor; un día de remojo es suficiente y hasta óptimo.

La supervivencia después del trasplante fue el gran logro del T1. Cuando pasamos las plántulas del almálico a las bolsas de repique, el tratamiento de 24 horas en agua potable alcanzó un 84 % de supervivencia, seguido muy de cerca por otros tratamientos con remojo (todos por encima del 75 %). En cambio, el testigo sin remojo apenas llegó al 60 %, asimismo, mojar las semillas antes de sembrarlas ayuda muchísimo a que aguanten el estrés del trasplante.

El crecimiento de las plántulas ya no dependió de los tratamientos. Para variables como altura de planta, número de hojas, longitud de raíz y número de raíces, los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Esto significa que, una vez que la semilla germina y emerge, el desarrollo posterior de la plántula responde más a otras condiciones (como el sustrato, la luz o la temperatura) que al remojo.

Cualquier remojo es mejor que ningún remojo. Aunque el T1 fue el mejor en varios aspectos, todos los tratamientos con sumersión superaron al testigo sin remojo en germinación, emergencia y supervivencia. El remojo no óptimo será mejor que no hacer nada.

La queñua, aunque sea resistente por naturaleza. El cambio climático ya está imponiendo condiciones más extremas: sequías más largas, heladas más intensas y suelos más pobres. La queñua tiene herramientas naturales para enfrentar parte de eso, pero nuestros resultados muestran que pequeñas intervenciones humanas, como un remojo controlado de 24 horas, pueden marcar una diferencia enorme en el éxito de su establecimiento.

En términos prácticos, ya tenemos una recomendación clara. Para quienes quieran producir plantines de queñua con fines de reforestación, restauración o cultivo resiliente al cambio climático, lo más seguro y efectivo es (agua potable, 24 horas de sumersión), lo que asegura una germinación y emergencia aceptable, además, de una altísima probabilidad de que las plantas sobrevivan al trasplante. El resto del crecimiento ya dependerá de otros cuidados, pero al menos el trabajo inicial marcará el crecimiento y desarrollo de los plantines.

El Índice de Calidad de Dickson evidenció que la sumersión en agua por 24 horas optimiza la calidad morfofisiológica de las plántulas de queñua, al favorecer un equilibrio estructural y funcional. Este tratamiento mejora el potencial de establecimiento, consolidando al ICD como un criterio confiable en la producción eficiente en vivero.

BIBLIOGRAFÍA

- Argollo, J., Soliz, C., & Villalba, R. (2004). Potencialidad dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en los Andes Centrales de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 39(1), 5-24. <http://www.scielo.org.bo/pdf/reb/v39n1/v39n1a02.pdf>
- Bañuelos, N., Salido, P. L., & Gardea, A. (2008). Etnobotánica del chiltepín: Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios Sociales (Hermosillo, Son.)*, 16(32), 177-205. <https://www.scielo.org.mx/pdf/estsoc/v16n32/v16n32a6.pdf>
- Chanove-Manrique, Andrea, & Cárdenas-Pillco, Berly. (2024). Fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad en los bosques de queñua (*Polylepis*) en Perú y su vulnerabilidad ante

- el cambio climático. *Madera y bosques*, 30(3), e3032593. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032593>
- Chong, C., Bible, B. B. & Hak-Yoon Ju (2002). Germination and emergence. Pessarakli (Ed.). *Handbook of plant and crop physiology*. 2a. ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2002. 85-146. https://www.frutvasf.org/wp-content/uploads/2022/07/physiology_compressed.pdf
- Courtis, A. C. (2013). Germinación de semillas, cátedra y fisiología vegetal. *Fisiología Vegetal*, 22. <https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/GuiadeestudioGerminacion.pdf>
- Cuyckens, G. A. E., Christie, D. A., Domic, A. I., Malizia, L. R., & Renison, D. (2016). Cambio climático y la distribución y conservación de los bosques de mayor altitud del mundo en el Altiplano sudamericano. *Global and Planetary Change*, 137, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.12.010>
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Por qué crecen las plántulas: influencia de los atributos de la planta. *New forests*, 49(1), 1-34. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>
- Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, Q., & Ahmad, A. (2005). Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica*, 53(4), 433-437. <https://doi.org/10.1556/AAgr.53.2005.4.9>
- Hughes, T. H., Gunderson, L. H., Folke, C., Baird, A. H., Bellwood, D., Berkes, F., Crona, B., Helfgott, A., Leslie, H., Norberg, J., Nyström, M., Olsson, P., Österblom, H., Scheffer, M., Schuttenberg, H., Steneck, R. S., Tengö, M., Troell, M., Walker, B., Wilson, J., & Worm, J. (2007). Adaptive Management of the Great Barrier Reef and the Grand Canyon World Heritage Areas, *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 36(7), 586-592. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[586:AMOTGB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[586:AMOTGB]2.0.CO;2)
- Hurtado, R., Palabral-Aguilera, A. N., Domic, A. I., Gómez, M. I., & Liberman, M. (2018). Estudios etnobotánicos y florísticos de los bosques amenazados de *Polylepis incarum* y *Polylepis pacensis* (Rosaceae) en Bolivia. *Bonplandia*, 27(2), 113-126. <https://doi.org/10.30972/bon.2723534>
- Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. *Botánica económica de los Andes Centrales*, 11, 110-120. https://www.researchgate.net/publication/228644927_Bosques_de_Polylepis
- Kopeć P. (2024). Climate Change-The Rise of Climate-Resilient Crops. *Plants (Basel, Switzerland)*, 13(4), 490. <https://doi.org/10.3390/plants13040490>
- León A. P. (2009). Propagación de dos especies de yagual (*Polylepis incana* y *Polylepis racemosa*), utilizando dos enraizadores orgánicos y dos enraizadores químicos en el Vivero forestal del Crea en el cantón y provincia del Cañar. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/754>
- Mejía, E. (2024). Evaluación de tratamientos pre-germinativos y sustratos en el crecimiento inicial de *Vachellia macracantha* Humb & Bonpl. ex Willd (faique) en el Distrito de Chota, Cajamarca. Universidad Nacional Autónoma de Chota. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/624>
- Naciones Unidas. (2024). Biodiversidad: nuestra defensa natural más fuerte contra el cambio climático. Acción por el Clima. <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/biodiversity>
- Olachica, J. (2025). Guía de recolección, tratamientos pre-germinativos y germinación de especies nativas del bosque alto andino: caso de estudio parque ecológico la poma.

- Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales Bogotá, Colombia.
<https://share.google/v19PoMRerU5e58VsN>
- Quinteros, I. (2014). Enraizamiento de dos especies de queñua (*Polylepis tarapacana* y *Polylepis besseri* Hieron.) en cuatro sustratos, bajo ambiente protegido. Universidad Mayor de San Andrés.
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5275/T-1935.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, J. A., Orta, R., Muñoz, B. C. (2001). Tratamientos pre-germinativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*, 25(1), 67-91.
https://www.researchgate.net/publication/237597615_TRATAMIENTOS_PREGERMINATIVOS_DE_HIDRATACION-DESHIDRATACION_DE_LAS_SEMILLAS_Y_SUS_EFECTOS_EN_PLANTAS_DE_INTERES_AGRICOLA
- Sánchez, K. P. (2025). Evaluación del porcentaje de germinación y emergencia de cuatro especies forestales nativas de cuatro caseríos de la provincia de Celendín, en condiciones de invernadero de la Universidad Nacional de Cajamarca.
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/9110>
- Segovia-Salcedo, M. C., Domic, A., Boza, T. E., & Kessler, M. (2018). Situación taxonómica de las especies del género *Polylepis*: Implicancias para los estudios ecológicos, la conservación y la restauración de sus bosques. *Ecología austral*, 28(1, Supl. 1), 188-201.
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000200004&lng=es&tlng=es
- Sousa, T. R., Coelho de Souza, S. F., Sousa, T. R., Schietti, J., Coelho de Souza, F., Esquivel-Muelbert, A., Ribeiro, I., Thaise, E., Pequeño, P., Phillips, O., Costa, F. (2020). Las palmeras y los árboles resisten la sequía extrema en los bosques amazónicos con niveles freáticos poco profundos. *J. Eco.* 108:2070–2082.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13377>
- Tinco, E. (2024). Propagación de estacas de higo (*Ficus carica* L.) bajo enraizadores naturales en distintos tiempos de inmersión. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 11 (1), 47-56.
<https://doi.org/10.53287/zecr7375iw83w>
- Vega, C. K., Villegas, C. G., Rocabado, P. A., Quezada, J. A. N., López, M. Y., & Quevedo, A. W. (2018). Biología reproductiva de tres especies de *Polylepis* (*P. neglecta*, *P. incarum* y *P. pacensis*), con énfasis en su comportamiento germinativo. *Ecología austral*, 28(1), 310-324. Disponible en:
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2018000200014
- Villena-Ochoa, P. G., Joseph, A., Delva, J., Jadán, O., Monteros-Altamirano, Á., Peña-Tapia, D. F., & Palomeque, X. (2024). Evaluación de germinación y dormancia de semillas de tres especies forestales nativas andinas en Azuay-Ecuador. *Bosque (Valdivia)*, 45(1), 177-186. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002024000100177>
- Walker, B. 2020. Resilience: what it is and is not. *Ecology and Society*, 25(2), 11. <https://doi.org/10.5751/ES-11647-250211>