

EVALUACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE PINO DE LA MICROCUENCA PHUMPHAWI, MUNICIPIO DE COLLANA, PROVINCIA DE AROMA

Evaluation of pine plantations in the Phumphawi micro-watershed, Collana municipality, Aroma province

Vladimir Simón Taquichiri Mamani¹, Ramiro Augusto Mendoza Nogales^{2*}

RESUMEN

Esta investigación evaluó el desarrollo inicial de una plantación del pino en la microcuenca Phumphawi, analizando cómo el relieve influye en su crecimiento y comparando características dendrológicas entre comunidades y tipos de relieve. Se evaluó la plantación de especies de pino en su primera etapa de desarrollo del proyecto de manejo integral de la microcuenca Phumphawi, en las comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya, municipio de Collana, provincia Aroma. Esta evaluación se hizo necesaria porque el proyecto concluyó hace más de un año antes de la investigación y generalmente el porcentaje de mortandad era alta. Para este estudio se recolectaron datos dasométricos (diámetro, altura, calidad) con el trabajo de campo en las tres comunidades, luego de organizaron. Para el análisis estadístico se utilizó modelos como la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Kruskal-Wallis. Se tomaron 54 muestras en las tres comunidades durante un año (marzo de 2021 a febrero de 2022). Las variables dependientes fueron altura, diámetro e índice de robustez, mientras que las independientes incluyeron la zona geográfica, tipo de relieve y especie. El índice de robustez se calculó como la relación entre altura y diámetro del cuello de la raíz. Utilizando un diseño factorial, se analizaron los efectos individuales e interactivos de los factores. Los análisis descriptivos y la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) revelaron diferencias significativas en las características de las plantaciones según el tipo de relieve. Los resultados subrayan la influencia del relieve y factores edafológicos en el desarrollo dendrológico del pino, destacando su impacto en la altura, diámetro e índice de robustez. Con el estudio, se puede afirmar, que el crecimiento y la robustez del pino varían según el tipo de relieve y la comunidad. Los valores de altura y diámetro fueron mayores en planos y cárcavas, predominando índices de robustez altos a regulares.

Palabras clave: *Pinus radiata*, tipos de relieve, altura, diámetro de tallo, índice de robustez.

ABSTRACT

This research evaluated the initial development of a pine plantation in the Phumphawi micro-watershed, analyzing how relief influences its growth and comparing dendrological characteristics between communities and types of relief. The plantation of pine species was evaluated in the first stage of development of the integrated management project of the Phumphawi micro-watershed, in the communities of Collana, San Nicolás and Uncallamaya, Collana municipality, Aroma province. This evaluation was necessary because the project concluded more than a year before the research and the mortality rate was generally high. For this study, dasometric data (diameter, height, quality) were collected through field work in the three communities and then organized. For the statistical analysis, models such as the Kolmogorov-Smirnov test and the Kruskal-Wallis test were used. Fifty-four samples were taken in the three communities during one year (March 2021 to February 2022). The dependent variables were height, diameter and robustness index, while the independent variables included geographic area, relief type and species. The hardness index was calculated as the ratio of height to root collar diameter. Using a factorial design, the individual and interactive effects of the factors were analyzed. Descriptive analyses and the Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$) revealed significant differences in the characteristics of the plantations according to the type of relief. The results underline the influence of relief and edaphological factors on the dendrological development of pine, highlighting their impact on height, diameter and hardness index. From the study, it can be affirmed that the growth and hardness of pine vary according to the type of relief and the community. The values of height and diameter were higher in the plains and gullies, with a predominance of high to regular hardness indexes.

Keywords: *Pinus radiata*, terrain types, height, stem diameter, robustness index.

Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/pmib2636yq84p>

Recibido: 03/10/2024

Aceptado: 19/06/2025

¹ Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

^{2*} Autor de correspondencia: Docente Investigador, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. <https://orcid.org/0000-0003-3310-0115>. ramendoza@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

La degradación de los ecosistemas, y en particular del recurso suelo en el altiplano boliviano, está estrechamente vinculada con la pobreza (FAO, 2016 citado por Portocarrero, 2022). Estas familias con el nivel de pobreza generalmente tienen un acceso limitado al factor de producción tierra y agua, por lo que se desarrolla la actividad agrícola de subsistencia en suelos de baja calidad y con alta vulnerabilidad a la degradación, tomando en cuenta las condiciones climáticas propias del lugar. En este sentido, la región altiplánica del departamento de La Paz enfrenta desafíos ambientales, como la erosión hídrica y eólica, salinización de los suelos, pérdida de biodiversidad y deforestación; problemas que se ven agravados por la acción humana (Garvizu y García, 2022). El proyecto “Manejo Integral de la microcuenca Phumphawi del municipio de Collana” ha desarrollado un plan de reforestación de dos especies forestales: el pino (*Pinus radiata*) y la queñua (*Polylepis besseri*) en la gestión 2021, situada en la cuenca del lago Titicaca, del sector boliviano, en las comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya. Que a la fecha la plantación forestal se encuentra implementado y en pleno desarrollo. Es importante realizar una evaluación exhaustiva de este fenómeno para comprender sus causas y efectos, y desarrollar estrategias efectivas de mitigación. Una de las alternativas prácticas y rápidas es la forestación y recuperación de la cobertura natural especialmente en las nacientes hídricas. Según el Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI) del Municipio de Collana, los suelos superficiales, poco profundos y de textura liviana, combinados con pendientes moderadas, son especialmente vulnerables a la erosión pluvial, lo que afecta su fertilidad (BEEHIVE, 2016).

Generalmente el financiamiento de proyectos de forestación solo se limita hasta la plantación, descuidando el seguimiento de la etapa post plantación. El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de hacer un estudio del estado actual de la plantación referente a la especie *Pinus radiata* y su adaptación al medio y en particular al tipo de suelo. Donde el objetivo es comparar las características dendrológicas de pino en su etapa inicial de desarrollo, considerando las variaciones entre diferentes comunidades y tipos de relieve (Niklitschek et al., 2024). El conocimiento sobre la contribución de las acciones adaptativas a la resistencia y resiliencia es aún limitado.

En las comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya, situadas en la microcuenca Phumphawi, se ha realizado una campaña de forestación con pino y queñua como una medida de mitigación a la degradación de los suelos y por ende del ecosistema. Sin embargo, la ausencia de estudios sobre cómo los diferentes tipos de relieve (ladera, cárcava y plano) influyen en el crecimiento inicial de estas especies, lo que limita significativamente la eficacia de las prácticas de manejo y conservación. Esta carencia de información dificulta la optimización de las plantaciones, esenciales para la restauración ecológica y la sostenibilidad de la microcuenca.

El presente trabajo, tiene como objetivo evaluar la plantación de la especie forestal del pino en su primera etapa de desarrollo del proyecto manejo integral microcuenca Phumphawi, en las comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya municipio de Collana, provincia Aroma. Este estudio analiza el desarrollo de las plantaciones de pino en su primera etapa de crecimiento, describiendo cómo los diferentes tipos de relieve (ladera, cárcava y plano) influyen en su desarrollo. Además, compara y contrasta las características dendrológicas entre comunidades y tipos de relieve.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Collana, en la microcuenca Phumphawi, con un enfoque específico en las comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya, ubicadas en la provincia Aroma del departamento de La Paz. Este municipio se encuentra a una distancia de 27,6 km de la ciudad de Viacha y 51,5 km de la ciudad de La Paz. Geográficamente la microcuenca Phumphawi se ubica entre: 16° 18' 53,02" y 16° 58' 40,80" latitud Sur y entre los meridianos 68° 11' 27,91" y 68° 22' 32,42" longitud Oeste en relación al Meridiano de Greenwich.

Materiales

De acuerdo a lo planteado se tiene la plantación de pino en las tres comunidades con, para el desarrollo de la presente investigación, se emplearon diversos materiales, entre los cuales se incluyen herramientas como flexómetro, vernier, identificadores, estacas, letreros y pita. En cuanto a los equipos, se utilizaron un GPS y una cámara fotográfica. Además, el material biológico empleado consistió en especies como el pino.

Metodología

El presente trabajo es de carácter descriptivo analítico, se analizó el proceso de desarrollo de una plantación de dos años de edad. Utilizando comparación de medias y estadígrafos, para la comparación de las características dendrológicas entre las tres comunidades evaluadas, proporcionando un análisis detallado de las diferencias observadas. La investigación muestra una visión clara del crecimiento de las especies forestales en su primera etapa, lo que permite establecer patrones y relaciones entre el tipo de relieve y el desarrollo de las plantaciones.

Visita y reconocimiento de la microcuenca de estudio

El reconocimiento del área de estudio consistió en visitar y examinar las zonas forestadas de la microcuenca Phumphawi, con el objetivo de observar la ubicación y las características de los plantines durante la primera etapa de su desarrollo.

Identificación de las áreas forestadas dentro de la microcuenca Phumphawi

La forestación en la microcuenca Phumphawi, como parte del proyecto, incluyó cuatro especies: pino radiata, queñua, sauce mimbre y sewenca. Para el presente trabajo de investigación, se seleccionaron una de estas especies (*Pinus radiata*), verificándose que ambas fueron plantadas en diferentes zonas (comunidades) y ubicaciones (laderas, cárcavas, áreas planas o de menor pendiente). En contraste, las otras dos especies fueron plantadas únicamente en una sola zona.

Descripción de las condiciones de la plantación

Para poder aplicar una metodología estadística que permita realizar una comparación eficiente, primero se analizó las condiciones de la plantación, empezando por las zonas en las cuales se realizarán las mediciones que serán posteriormente comparadas. Dentro de cada zona se identificaron las ubicaciones donde fueron plantadas las diferentes especies forestales, de acuerdo a lo establecido en el proyecto se definieron tres ubicaciones, en ladera con pendiente, cárcavas y partes bajas o falda de cerro. En cada ubicación se realizaron la identificación de especie plantada, posteriormente se identificó el plantín que será evaluado y se tomaron mediciones de altura (cm), grosor de tallo a la altura del cuello (mm) de la especie forestal plantada.

Tabla 1. Distribución de área de estudio.

Comunidades	Relieves	Especie
Uncallamaya	Ladera	Pino
Uncallamaya	Cárcava	Pino
Uncallamaya	Plano	Pino
San Nicolás	Ladera	Pino
San Nicolás	Cárcava	Pino
San Nicolás	Plano	Pino
Collana	Ladera	Pino
Collana	Cárcava	Pino
Collana	Plano	Pino

La Tabla 1 presenta la distribución de pino en tres distintos tipos de relieve: Collana, San Nicolas y Uncallamaya. Estas zonas varían en su topografía, siendo representativas de ladera, cárcava y terreno plano. La elección de estas tres ubicaciones permite analizar cómo las características de los suelos y la topografía influyen en la presencia y desarrollo de estas especies.

Evaluación de altura de especies forestales

Para adquirir los datos relativos a la altura de los plantines, se procedió de la siguiente manera: se aplicó un protocolo que involucraba la utilización de un flexómetro con una longitud de 5 m a través de este instrumento, se efectuó la medición precisa desde la base hasta el ápice de los plantines de ambas especies de pino. Estas mediciones se llevaron a cabo al concluir cada mes. El proceso mantuvo una consistencia a lo largo del periodo comprendido entre marzo de 2021 y febrero de 2022, abarcando de esta forma una duración total de un año.

Evaluación del diámetro de especies forestales

En la recolección de datos referentes al diámetro o cuello de los plantines de ambas especies, se utilizó un calibrador vernier para lograr una precisión adecuada en las mediciones. La toma de medida se realizó de manera sistemática en la zona de la base de cada plantín, con un registro al final de cada mes.

Modelo estadístico de evaluación

En la actual investigación se utilizó el modelo de arreglos factoriales, la cual es una técnica en la estadística y la metodología de investigación que se utiliza para estudiar el efecto de dos o más variables independientes (factores) en una o más variables dependientes. Este tipo de diseño permite analizar no solo los efectos individuales de cada factor, sino también las interacciones entre ellos.

Variables

En el estudio, las variables se clasificaron en dos categorías principales: variables dependientes e independientes. Cada tipo de variable fue evaluado sistemáticamente en tres comunidades distintas y en tres ubicaciones específicas dentro de cada comunidad. Esto permitió un análisis detallado de cómo las variables dependientes se relacionan con las independientes.

Variables dependientes

Altura de planta, esta variable permitió evaluar el efecto de las zonas y el lugar de plantación en el crecimiento de la misma, la altura fue medida empleando un flexómetro desde el cuello de la raíz del plantín hasta el ápice (cm), en el caso de los pinos.

Diámetro de cuello de la raíz, en el cuello de la raíz se produce la transformación de la estructura radical en caulinar esta zona comunica la raíz con el tallo, para medir esta variable se empleó un vernier para la medición (mm).

Índice de robustez (Ir), se refiere a la relación de la altura de planta y el diámetro del cuello de la raíz y se expresa mediante la siguiente fórmula.

$$Ir = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

Variables independientes

Comunidades, se refiere al área geográfica donde se realizó la plantación, en este caso se refiere a las comunidades de Uncallamaya, San Nicolás y Collana.

Relieve, esta variable se refiere a la ubicación donde fueron colocados los plantines, dentro de cada zona, se identificaron tres lugares los cuales son ladera con pendiente, cárcavas y plano.

Especie, se optó por el pino radiata como única especie para la evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura promedio de pino

En la Figura 1, se observa que la altura promedio, varía según la comunidad y el medio ambiente. Se observa que en “ladera”, la comunidad de San Nicolás alcanza la mayor altura (61,17 cm), seguido de Uncallamaya y Collana (59,07 y 57,67 cm respectivamente). En “cárcava”, la comunidad Uncallamaya llega a 73,04 cm, superando a Collana (72,51 cm) y a San Nicolás (64,31 cm). Mientras tanto, en las “planicies”, Uncallamaya registra la mayor altura (75,66 cm); San Nicolás y Collana presentan valores similares (72,14 cm y 71,89 cm, respectivamente). En general, la comunidad de Uncallamaya muestra mejores resultados en ambientes favorables, mientras que San Nicolás destaca solo en Ladera.

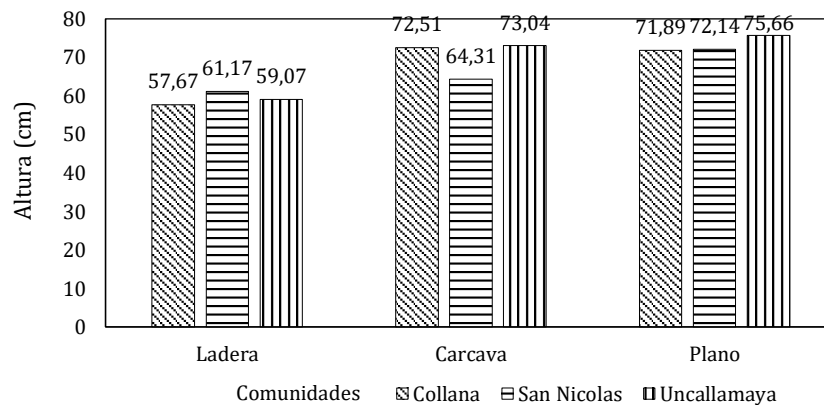


Figura 1. Altura promedio en cm del pino entre las tres comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya del municipio de Collana.

En esta variable, los resultados muestran que en las tres comunidades estudiadas, las plantaciones de pino alcanzan mayores alturas promedio en suelos de tipo “cárcava” y “plano” respecto a los de “ladera”, lo que indica una relación directa entre las características del suelo y el crecimiento del pino y otros factores medioambientales. En la comunidad de San Nicolás, se observa la misma tendencia, pero las diferencias son menos notables, con alturas promedio de 61,17 cm en ladera, 64,31 cm en cárcava y 72,14 cm en plano. Por tanto, se ratifica que en estos datos, además del tipo de suelo, existen influencia directa de otros factores como el microclima de la zona y el posible manejo de las plantaciones de pino de parte de los comunarios y del proyecto que influyen en el desarrollo morfológico del pino.

En la comunidad de Uncallamaya, las alturas promedio de pino fueron de 59,07 cm en ladera, 73,04 cm en cárcava y 75,66 cm en plano, lo que confirma que estos últimos suelos favorecen el crecimiento, posiblemente por una mayor retención de humedad y nutrientes. Según Romero (2023), el mejor desarrollo se logró con humus de lombriz y tierra micorrizada (14,90 cm), mientras que el menor fue con biosólido y micorriza comercial (10,02 cm). Carrillo y Santillana (2021), reportaron que los hongos *Sclerotium* y *Rhizoglyphus* mejoraron el

crecimiento en Ayacucho. Reyes et al. (2020) observaron un índice de desarrollo del 50 % en invierno y 64 % en primavera.

Diámetro promedio del pino

El diámetro es una característica del pino, por lo que se calculó el promedio de los diámetros de las plantaciones forestales del pino en cada tipo de suelo de las comunidades de Collana, San Nicolas y Uncallamaya durante su primera etapa de desarrollo. Los resultados sugieren que el tipo de suelo de cada comunidad influye en el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de pino. Los promedios de los diámetros, clasificados por tipo de suelo y comunidad, se presentan en la Figura 2, proporcionando una visión más clara de las posibles diferencias entre las localidades en función de sus características edafológicas.

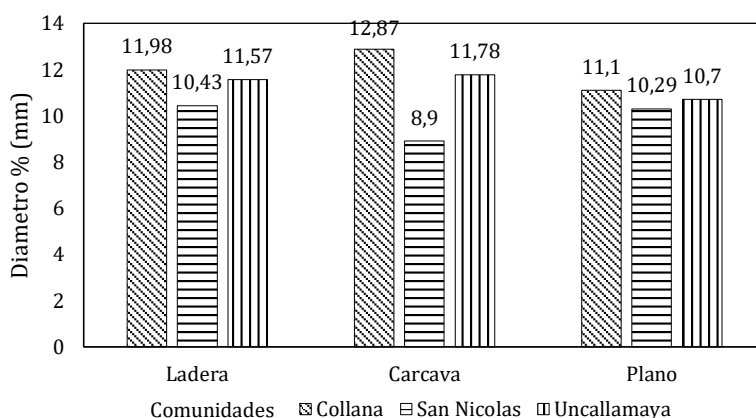


Figura 2. Diámetro promedio en cm del pino entre las tres comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya del municipio de Collana.

En la Figura 2 se observa el análisis de los diámetros promedio de pino en las comunidades de San Nicolás y Uncallamaya, evaluados en tres ambientes, se evidenció que las diferencias entre estos fueron leves. En ladera, el promedio fue de 11,33 mm ($\pm 0,80$), en cárcava 11,18 mm ($\pm 2,05$) y en plano 10,70 mm ($\pm 0,41$). De acuerdo a los datos se observa que la comunidad de Collana alcanzó el mayor valor en cárcava 12,87 mm, mientras que la comunidad de San Nicolás registró el menor 8,9 mm en ese mismo ambiente. La mayor variabilidad en el diámetro se observó en el relieve “cárcava”, pero no se observan diferencias estadísticamente significativas.

De acuerdo a los datos, el tipo de relieve no influyó en el crecimiento del diámetro de las plantaciones, concluyendo que se desarrollaron en forma homogénea los pinos en los distintos suelos evaluados; la variable pendiente tuvo efectos estadísticamente significativos sobre el diámetro basal coincidiendo con Soto-Correa et al. (2012), quienes resaltaron que el crecimiento en diámetro de distintas especies de pino depende tanto de la edad como de las condiciones del sitio. Así, aunque visualmente existieron diferencias, estadísticamente los promedios se mantuvieron similares entre comunidades y ambientes, estos resultados contrastaron con estudios previos por Hernández et al. (2021) donde encontraron diferencias significativas por el tipo de suelo.

En San Nicolás, los diámetros promedio de pino fueron menores en suelos cárcava (8,90 mm) frente a ladera (10,43 mm) y plano (10,29 mm), lo que sugiere limitaciones edáficas locales. En Uncallamaya, los valores fueron más homogéneos, con un leve incremento en cárcava (11,78 mm). Estos resultados refuerzan la importancia de las características específicas del suelo en el crecimiento, como señala Cuba (2014), quien reportó mayores diámetros en plantaciones de mayor edad y bajo mejores condiciones de sitio como es Cota Cota de la ciudad de La Paz (Bolivia). Además, Rebolledo et al. (1999) y Nina (1999) citados por Gómez-Romero et al. (2012) destacan que factores físicos y climáticos locales influyen significativamente en el desarrollo de *Pinus spp.*

El diámetro promedio de 11,98, de 12,87 y 11,10 mm en suelos tipo ladera, cárcava y en suelos planos respectivamente, muestran que los suelos "cárcava" proporcionan mejores condiciones para el crecimiento en diámetro de los pinos, estos resultados coinciden con Gómez-Romero et al. (2012) y Cuba (2014). La mayor disponibilidad de agua y nutrientes, junto con un posible mejor drenaje, podrían explicar el mejor desempeño en este tipo de suelo. El menor crecimiento en suelos "plano" podría deberse a limitaciones en la estructura del suelo o una menor retención de humedad, lo que afecta negativamente el desarrollo de los árboles, esta apreciación coincide con Núñez et al. (2022).

Índice de robustez promedio del pino

Los promedios de los índices de robustez, clasificados por tipo de suelo y comunidad, se presentan en la Figura 3. Estos datos proporcionan una visión más clara de las posibles diferencias en el crecimiento del pino según las características edafológicas de cada localidad.

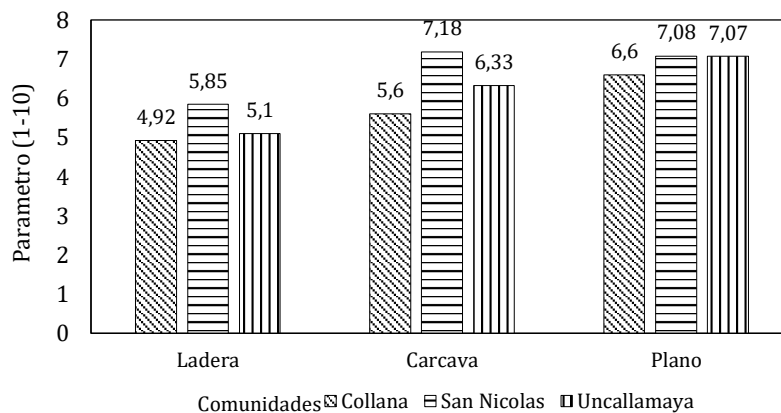


Figura 3. Índice de robustez en parámetros de 1 a 10 del pino entre las tres comunidades de Collana, San Nicolás y Uncallamaya en el municipio de Collana.

La Figura 3 muestra que el índice de robustez del pino es mayor en los ambientes de cárcava y la parte plana, especialmente en San Nicolás, donde se alcanzaron valores de 7,18 y 7,08 respectivamente, mientras que en ladera fue de 5,85. Estos resultados sugieren que las condiciones edáficas y topográficas de cárcava y plano favorecen el desarrollo vigoroso del pino, lo que coincide con lo reportado por Gómez-Romero et al. (2012) quienes encontraron que la pendiente y la fertilidad del suelo influyen significativamente en el crecimiento y supervivencia de distintas especies de pino, observando mayor diámetro basal en pendientes suaves y suelos fértiles. Asimismo, Schlatter (1977) y estudios en Chile destacan que el pino presenta un crecimiento óptimo en suelos profundos, bien drenados y con textura franco arenosa, mientras que suelos compactados, poco profundos o con mal drenaje restringen el desarrollo. Por otro lado, investigaciones en México han demostrado que la fertilización y el manejo silvícola también pueden potenciar el vigor y la robustez de las plantaciones (Fierros-Mateo et al., 2017).

El índice de robustez de la especie en estudio, ha variado según el tipo de suelo y la localidad. En Collana, los valores aumentaron de ladera (4,92) a cárcava (5,60) y plano (6,60), sugiriendo mejores condiciones en suelos planos. En San Nicolás, el índice fue más alto en cárcava (7,18) y plano (7,08), lo que indica que estos ambientes favorecieron el desarrollo robusto de los pinos. Uncallamaya mostró un patrón similar, con mayores índices en cárcava (6,33) y plano (7,07). Estos resultados subrayan la importancia de las características edáficas y la retención de humedad para el crecimiento vigoroso del pino; García et al. (2024) encontró que el índice de robustez puede alcanzar valores altos en condiciones edáficas óptimas, reforzando la importancia de la estructura y fertilidad del suelo en la calidad y vigor de las plantaciones.

Cusquillo (2022) destaca la relevancia del uso de fertilizantes en la etapa de vivero para mejorar el índice de robustez y garantizar un desarrollo adecuado de las plantaciones. Los resultados obtenidos en este estudio, donde los tratamientos con fertilizantes mostraron índices de robustez más bajos y, por lo tanto, mejor calidad de planta, ratificado por Conza (2024).

Tabla 2. Prueba de normalidad para los datos del pino.

	Kolmogórov-Smirnov		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Altura de planta	0,044	648	0,005
Diámetro de la planta	0,037	648	0,036
Índice de robustez de la planta	0,046	648	0,002

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Al realizar la prueba de normalidad utilizando el estadístico de Kolmogorov-Smirnov para las características de la altura, diámetro e índice de las plantaciones forestales del pino, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la "altura de planta", el valor de significancia (p-valor) fue de 0,005, lo cual es menor que el nivel de significancia (α) establecido. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se concluye que los datos de las alturas del pino no provienen de una población con distribución normal.

En cuanto al "diámetro de la planta", el valor de significancia obtenido fue de 0,036, el cual también es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se llega a la conclusión de que los datos de los diámetros del Pino no siguen una distribución normal.

Para el "índice de robustez de la planta", el valor de significancia fue de 0,002, nuevamente menor que el nivel de significancia (α) establecido. Esto conlleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) y a la conclusión de que los datos no provienen de una población con distribución normal.

El análisis de la prueba de Kolmogorov-Smirnov aplicada a los datos de altura, diámetro e índice de robustez de las plantaciones de pino indica que ninguna de estas variables sigue una distribución normal ($p < 0,05$ en todos los casos). Este resultado es relevante, ya que la normalidad de los datos es un supuesto fundamental para la aplicación de pruebas paramétricas como lo indican Sánchez et al. (2024). Estudios en el ámbito forestal, como el de Andenmatten y Letourneau (2003), también encontraron que los datos de crecimiento radial de especies de pino no se ajustan a la normalidad, recomendando transformaciones como el logaritmo natural antes de aplicar análisis estadísticos avanzados.

Tabla 3. Prueba de H de Kruskal-Wallis para los datos del pino.

	Altura de planta	Diametro de la planta	Indice de robustez de la planta
H de Kruskal-Wallis	171,908	171,703	420,783
Grados de libertad	8	8	8
Significancia asintótica	0,000	0,000	0,000

a. Prueba de Kruskal Wallis.

b. Variable de agrupación: plantación forestal pino ubicada en tres comunidades (Collana, San Nicolas y Uncallamaya) en tres tipos de suelos (ladera, cárcava y plana)

Por tanto, las tres características: altura de planta, diámetro de la planta e índice de robustez de las plantaciones forestales del Pino, no siguen una distribución normal. Por lo tanto, para determinar si los factores (ladera, cárcava y plano) de las tres comunidades, influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales del Pino en su primera etapa de desarrollo, se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, en términos de altura promedio, en Collana se registraron 57,67 cm en la ladera, 72,51 cm en la cárcava y 71,89 cm en el plano; en San Nicolás, 61,17 cm en la ladera, 64,31 cm en la cárcava y 72,14 cm en el plano; y en Uncallamaya, 59,07 cm en la ladera, 73,04 cm en la cárcava y 75,66 cm en el plano. El diámetro promedio fue de 11,98 cm, 12,87 cm y 11,10 cm en Collana; 10,43 cm, 8,90 cm y 10,29 cm en San Nicolás; y 11,75 cm, 11,78 cm y 10,70 cm en Uncallamaya, para ladera, cárcava y plano respectivamente.

El índice de robustez promedio mostró una variación interesante en las tres comunidades. En Collana, los valores fueron de 4,92 en la ladera y 5,60 en la cárcava, lo que indica índices altos, mientras que el plano registró un valor de 6,60, clasificándose como regular. En San Nicolás, la ladera presentó un índice de 5,85 (alto), mientras que la cárcava y el plano alcanzaron valores de 7,18 y 7,08 respectivamente, ambos dentro del rango regular. En Uncallamaya, el índice en la ladera fue 5,10 (alto), mientras que la cárcava y el plano tuvieron 6,33 y 7,07, también considerados como regulares. Ninguno de los valores se ubicó en la categoría de índices bajos (8-10).

Los resultados obtenidos apoyan la idea de que las características del suelo juegan un papel importante en el crecimiento de las plantas de pino en el altiplano boliviano. Los resultados proporcionan una base confiable para poder desarrollar nuevos procesos de reforestación que permitan tomar decisiones de gestión forestal más informadas y efectivas en la recuperación de suelos degradados, teniendo en cuenta las características del suelo durante el proceso de establecimiento de las plantas (BEEHIVE, 2016).

BIBLIOGRAFÍA

- Andenmatten, E., & Letourneau, F. (2003). Predicción y proyección del rendimiento de pino ponderosa en las provincias de Chubut y Río Negro. Quebracho - Revista de Ciencias Forestales, 14-25.
<https://www.redalyc.org/pdf/481/48101002.pdf>
- BEEHIVE. (2016). Plan territorial de desarrollo integral del municipio de Collana. Collana - La Paz: Gabinet de Consultoria y Servicios SRL.
- Carrillo, M., & Santillana, N. (2021). Calidad morfológica y biológica de *Pinus radiata* D. Don, micorrizado con *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. Y Rhizopogon luteolus Fr.& Nordh. en condiciones de vivero. Ecología Aplicada, 190-195.
<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i2.1809>
- Conza, L. (2024). Efecto de la fertilización en la producción de plantación de pino (*Pinus radiata* D. Don) en condiciones de fitotoldo y campo en el centro agronomico K'ayra - San Jerónimo - Cusco. Cusco - Perú: Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco <http://hdl.handle.net/20.500.12918/9287>
- Cuba, L. G. (2014). Respuesta del pino (*Pinus radiata* D. Don.) a la aplicación de suelo Micorrizado y dos tipos de sustrato en etapa de vivero en la Estación Experimental de Cota Cota - La Paz. Ciudad de La Paz. Tesis Licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/5606>
- Cuscillo, B. (2022). Evaluación de dos tipos de fertilizantes químicos (granular y soluble), en el desarrollo vegetativo de (*Pinus radiata* D. Don) en etapa de vivero. Escuela Superior Politécnica de Chiborazo.
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/0637ae9a-f388-4964-8129-2e9a506072f9>
- Fierros-Mateo, R., Santos-Posadas, H., De los, F.-G. M., & Cruz-Cobos, F. (2017). Crecimiento y rendimiento maderable en plantaciones de *Pinus chiapensis*. Agrociencia, 51(2), 201-214.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000200201
- García, C. X., Rodríguez, M. R., Hernández, R. J., Ruiz, D. H., Hernández, R. A., & Sáenz, R. (2024). Índice de sitio en plantaciones forestales de *Pinus oocarpa* Shiede en Michoacán, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11(1), 37-65.
<https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3765>
- Garvizu, S., & Garcia, M. (2022). Tasas de erosión hídrica y sedimentación relacionadas con la dinámica de patrones de lluvia y caudales generados en la microcuenca del río Huanquisco. Compilación de artículos. IIDEPROQ. Universidad Mayor de San Andrés, 33-39. https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Gironde/publication/382564763_1
- Gómez-Romero, M., Soto-Correa, J. C., Blanco-García, J. A., Sáenz-Romero, C., Villegas, J., & Lindig-Cisneros, R. (2012). Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. Agrociencia, 795-807.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000800005&lng=es&tlng=es

- Hernández, F. J., Bretado, M., Brenda, M., Márquez, B. E., Nájera Luna, J. A., & Vargas Larreta, B. (2021). Estimación del crecimiento de dos especies de pino de la Región Central del estado de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 30-57. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.898>
- Niklitschek, M., Rodrigo, H., Labbé, R., Alzamora, M., Rafael, M., Rubilar, F., & Droppelmann, G. (2024). Estrategia adaptación al cambio climático en plantaciones de *Pinus radiata*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27888.88322>
- Núñez, P., Mercedes, J., & Almonte, A. (2022). Correlación de los índices de sitio (IS) con factores edafoclimáticos influyentes en el desarrollo de dos especies de pino. *Revista Agropecuaria Forestal*, 11(22), 27-40. <https://sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/145/135>
- Portocarrero, H. (2022). Planificación para la conservación de biodiversidad en la subcuenca del río verde en los departamentos de Amazonas y San Martín, Perú. *Puriq Universidad Nacional Autónoma de Huata*, 1-12. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8510560>
- Reyes, G., Vargas, J., Hernandez, Cruz, N., & Lopez, J. (2020). Poblaciones de *Pinus radiata* D. Don difieren en la tolerancia a bajas temperaturas y en la tasa de crecimiento. *Scientific article*, 470-484. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40182020000300469&script=sci_arttext&tlng=es
- Romero, W. (2023). Comparativo de tres sustratos y dos fuentes de micorriza en la producción de pino (*Pinus radiata* D. Don) en bandejas bajo condiciones del vivero agroforestal K' Ayra, San Jerónimo - Cusco. Cusco - Perú: Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Agronomía y Zootecnia. https://repositorio.unsaac.edu.pe/browse?rpp=20&offset=1603&etal=1&sort_by=1&type=title&starts_with=E&order=ASC
- Sánchez, Y., Raqui, C. E., Huaroc, E. J., & Nilton, H. (2024). Importancia de conocer la normalidad de los datos utilizados en los trabajos de. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes*, 404-4013. <https://doi.org/10.37843/rted.v17i2.554>
- Schlatter, J. E. (1977). La relación entre suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile central, análisis de la situación actual y planteamientos para su futuro manejo. *Bosque*, 2(1). <http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v2n1/art03.pdf>
- Soto-Correa, J. C., Blanco-García, J. A., Sáenz-Romero, C., Villegas, J., Lindig-Cisneros, R., & Gomez, M. (2012). Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia*, 46(89), 795-807. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000800005&lng=es&tlng=es