



TRABAJO FINAL DE CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de la variabilidad intra e interpoblacional de caracteres vinculados al crecimiento de poblaciones de *Piptochaetium napostaense* del Sudoeste Bonaerense



Departamento de Agronomía
Universidad Nacional del Sur

Gustavo E. Gonzalía

Tutora: Dra. Yanina A. Torres

Consejera: Dra. Soledad Uretra

Índice

Prólogo	3
Agradecimientos	4
Resumen	5
Introducción	6
Uso pastoril de los pastizales naturales.....	8
Domesticación de especies forrajeras	9
Especie de estudio: <i>Piptochaetium napostaense</i>	11
Hipótesis	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
Materiales y métodos	15
Ensayo en invernáculo	15
Ensayo a campo.....	17
Resultados.....	23
1. Ensayo en invernáculo	23
Distribución de la altura/planta en tres fechas de evaluación.....	23
a) Colecta 2021.....	23
Población Villalonga.....	24
Población Bahía Blanca	24
Población Algarrobo.....	25
Población Patagones chacra.....	26
Comparación de la altura/planta entre poblaciones.....	27
b) Colecta 2022.....	29
Población Patagones	30
Población Médanos-Algarrobo	30
Población La Pampa.....	31
Población Montes de Oca	32
Comparación de la altura/planta entre poblaciones.....	33
Distribución de macollos/planta en cuatro fechas de evaluación	34
a) Colecta 2021.....	34
Población Villalonga.....	35
Población Bahía Blanca	36
Población Algarrobo.....	37

Población Patagones chacra.....	38
Comparación del N° de macollos por planta entre poblaciones.....	39
b) Colecta 2022.....	40
Población Patagones	40
Población Médanos-Algarrobo	41
Población La Pampa.....	42
Población Montes de Oca	43
Comparación del N° de macollos por planta entre poblaciones.....	44
Discusión	45
2. Ensayo a campo.....	47
a) Colecta 2021.....	47
Determinación de la altura/planta.....	47
Determinación del N° de macollos/planta.....	47
Determinación de la circunferencia/planta.....	48
Determinación de la biomasa aérea/planta	48
b) Colecta 2022.....	49
Determinación de la altura/planta.....	49
Determinación del N° de macollos/planta.....	49
Determinación de la circunferencia/planta.....	50
Determinación de la biomasa aérea/planta	50
Comparación entre poblaciones de las variables registradas a campo	51
Altura/planta.....	51
N° de macollos/planta	52
Circunferencia/planta	52
Biomasa aérea/planta.....	53
Análisis de componentes principales por poblaciones	54
Análisis de componentes principales por individuos.....	56
Discusión	57
Conclusiones	59
Referencias.....	60

Prólogo

La presente Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional del Sur. El trabajo fue realizado bajo la dirección de la Dra. Yanina A. Torres y la codirección de la Dra. Soledad Uretra a quienes agradezco profundamente por su acompañamiento, orientación y compromiso a lo largo de este proyecto.

Esta investigación representa no solo el cierre de una etapa académica, sino también el resultado de un proceso de aprendizaje, dedicación y crecimiento personal. A través de este trabajo, se buscó contribuir al conocimiento sobre la variabilidad fenotípica relacionada al crecimiento de la plántula de *Piptochaetium napostaense*.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Sur, por brindarme una educación pública de excelente calidad, y al Departamento de Agronomía, por facilitarme el espacio y las herramientas necesarias para realizar los ensayos.

A Selva Cuppari, por ser mucho más que una profesora; su guía, ayuda y acompañamiento en cada paso fueron fundamentales para concretar esta tesis.

Un agradecimiento especial a la Ing. Agr. Melisa Careddu, cuya investigación previa sobre las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* fue el cimiento fundamental para el desarrollo de este trabajo.

A Micaela Comezaña, por su valiosa ayuda en el análisis de los datos, y a Yanina y Soledad, por el tiempo y la dedicación brindada durante el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros y amigos, por los innumerables mates, charlas, viajes y horas de estudio, su compañía ha sido muy importante durante este camino,

A mis abuelos, Vicente, Félix, Angelita y Carmen, por brindarme su amor, por haberme acompañado en cada momento de mi vida y porque gracias a ellos nació mi amor por el campo.

A mis suegros, Ariel y Mariana, y a mi cuñada, Mechi, por brindarme siempre su apoyo incondicional y alentarme a seguir adelante en cada etapa de este camino.

A mis padres, Gustavo y Miriam, por transmitirme los valores que me hacen ser la persona que hoy soy; por demostrarme que en la vida todo es posible con trabajo y persistencia.

A mis hermanos, Darío y Ana, quienes siempre estuvieron y están cuando los necesito, festejando mis logros como si fueran propios. Su apoyo incondicional ha sido el motor para llegar a esta meta.

Y, por último, quiero agradecer a quien hizo que todo esto fuera posible: mi esposa, Griselda. Ella fue el impulso inicial para que comenzara a estudiar, quien me ayudó en todo momento y se mantuvo firme a mi lado cuando las cosas no salían como esperaba. Sin tu compañía, amor, este camino no hubiera sido el mismo.

Resumen

Los pastizales naturales del Sudoeste Bonaerense y el sudeste de La Pampa, integrados en la Diagonal Árida Argentina, constituyen la base de la ganadería extensiva regional. Sin embargo, factores como el sobrepastoreo y los desmontes han derivado en una degradación sistémica y pérdida de biodiversidad. En este contexto, la reintroducción de especies clave como *Piptochaetium napostaense* (flechilla negra) surge como una estrategia de restauración productiva fundamental, aunque limitada por la nula disponibilidad de semillas comerciales. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad fenotípica entre y dentro de ocho poblaciones de *P. napostaense* recolectadas en 2021 y 2022, analizando caracteres morfológicos vinculados al crecimiento, implantación y producción de biomasa. Para ello, se realizaron ensayos en condiciones controladas (invernáculo) y en un "jardín común" a campo en Bahía Blanca. Las variables analizadas (altura, número de macollos, circunferencia de corona y biomasa aérea) se procesaron mediante modelos lineales mixtos (REML) y análisis multivariado de componentes principales (ACP). Los resultados demostraron una marcada variabilidad intraespecífica. En condiciones de invernáculo, las poblaciones Bahía Blanca (BB) y Montes de Oca (MO) se destacaron por su mayor valor inicial en altura y macollaje. En el ensayo a campo, la población de Patagones (PAT) registró el mayor promedio de macollos, atributo clave para la persistencia ante el estrés y la cobertura del suelo. El ACP explicó el 98,5% de la variación total entre poblaciones, identificando a la biomasa y la altura como los principales rasgos de diferenciación. La elevada dispersión observada a nivel individual confirma la existencia de una amplia base genética dentro de las poblaciones, lo que representa una ventaja para la selección de genotipos superiores. Estos hallazgos aportan información técnica de base para programas de domesticación incipiente y selección de germoplasma nativo, orientados a la recuperación de la productividad forrajera y la estabilidad de los pastizales degradados de la región.

Palabras clave: *Piptochaetium napostaense*, restauración ecológica, variabilidad fenotípica, gramíneas nativas, Sudoeste Bonaerense.

Introducción

A nivel global, los pastizales naturales se distribuyen predominantemente en regiones áridas y semiáridas, cubriendo aproximadamente el 50% de la superficie terrestre (Villaverde, 2017). En Argentina, esta proporción es significativa: cerca de dos tercios del territorio nacional presentan condiciones de aridez o semiaridez. Dentro de estas zonas, alrededor de 100 millones de hectáreas se destinan a la cría y recría de bovinos, constituyendo uno de los sistemas productivos más relevantes para la ganadería extensiva del país (Busso y Fernández, 2018). Sin embargo, en la actualidad, los pastizales naturales se encuentran reducidos a escasos remanentes debido a las transformaciones del paisaje asociadas principalmente a las actividades agropecuarias.

Desde una perspectiva fitogeográfica, Cabrera (1971) ubica al sudoeste de la provincia de Buenos Aires y el sudeste de La Pampa en una zona de transición entre las provincias Pampeana, del Espinal y del Monte. Una clasificación más reciente propone una delimitación más detallada de las unidades de vegetación presentes en la región. En este sentido, el área de estudio comprende la pseudoestepa de mesófitas con matorral serrano o Pampa Austral, el bosque de esclerófitas dominado por *Neltuma caldenia* o Caldenal, y el matorral de zigofiláceas del género *Larrea*, con especies acompañantes de *Neltuma* y *Geoffroea*, denominado Monte Oriental o de Transición (Oyarzabal et al., 2018). La Pampa Austral se caracteriza por la presencia de gramíneas de los géneros *Nassella*, *Piptochaetium*, *Melica*, *Briza* y *Poa*. Entre las especies de *Nassella* se encuentran algunas de valor forrajero, como *N. longiglumis*, *N. tenuis* y *N. neesiana*, y otras de menor valor, como *N. trichotoma* y *N. tenuissima*. En el Caldenal, el estrato arbóreo está dominado por *Neltuma flexuosa*, *Geoffroea decorticans* y *Jodina rhombifolia*, mientras que el estrato herbáceo está compuesto principalmente por especies de *Nassella*, *Jarava* y *Piptochaetium*. El Monte Oriental o de Transición presenta un estrato arbustivo dominado por *Larrea divaricata*, *L. cuneifolia* y *Montea aphylla*, con isletas de *Geoffroea decorticans* e individuos aislados de *Prosopis flexuosa*, además de especies como *Chuquiraga erinacea* y *Condalia microphylla*.

Los pastizales y arbustales nativos del área de estudio se encuentran integrados en la denominada Diagonal Árida Argentina, donde la escasez de precipitaciones (menores a 500 mm anuales) y la heterogeneidad edáfica condicionan la estructura y productividad de la vegetación (León et al., 1998; Paruelo et al., 1998) (Fig. 1). Debido a limitaciones como temperaturas extremas, suelos con tendencia a la inundación, someros, salinos o arenosos, estas áreas son generalmente inapropiadas para la agricultura intensiva o la silvicultura comercial. En consecuencia, la principal actividad productiva se orienta al aprovechamiento del forraje natural (Villaverde, 2017).

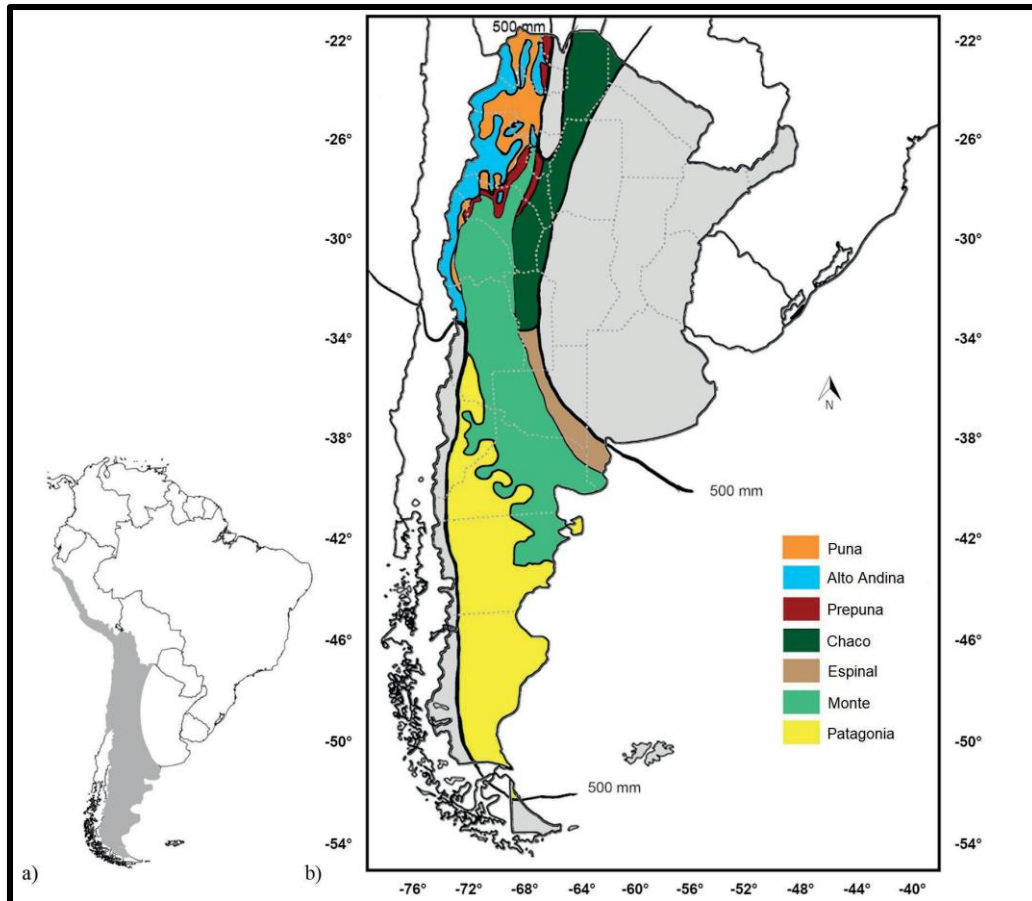


Figura 1. (a) Diagonal árida sudamericana (en gris). (b) Provincias Fitogeográficas incluidas en la Diagonal Árida Argentina. Imagen extraída de Torres y Ambrosino (2024).

En la actualidad, la degradación de los pastizales alcanza aproximadamente 650 millones de hectáreas a nivel mundial (Padilla, 2009). Este proceso resulta especialmente relevante si se considera que gran parte de la producción ganadera global proviene de animales alimentados a pasto. Sin embargo, el incremento de la presión ganadera y el uso inadecuado de los recursos han contribuido a una degradación sistémica de estos ecosistemas, comprometiendo su capacidad para proveer servicios ecosistémicos esenciales.

Entre las consecuencias más críticas de este proceso se encuentran la pérdida de biodiversidad y la extinción local de especies nativas (Milano, 2018). En este contexto, el análisis de la variabilidad genética y fenotípica en caracteres asociados al éxito reproductivo y al vigor inicial constituye una herramienta clave para la conservación y restauración de estas poblaciones (Entio et al., 2014), ya que su pérdida podría comprometer la estabilidad y resiliencia de los pastizales naturales frente al cambio global.

Uso pastoril de los pastizales naturales

La utilización de los ecosistemas naturales se basa en el aprovechamiento de los recursos forrajeros por parte del ganado, generalmente introducido. Un sistema pastoril es un fenómeno complejo con múltiples funciones interrelacionadas donde interactúan componentes vegetales, herbívoros, el suelo, el microclima y los manipuladores (humanos) (Díaz, 2007) (Fig. 2). Además de su importancia productiva y su rol en la seguridad alimentaria, estos pastizales cumplen funciones ecológicas esenciales: controlan la erosión del suelo, mejoran la mineralización de nutrientes y aumentan la diversidad microbiana, garantizando la estabilidad del sistema, entre otros (O'Mara, 2012).

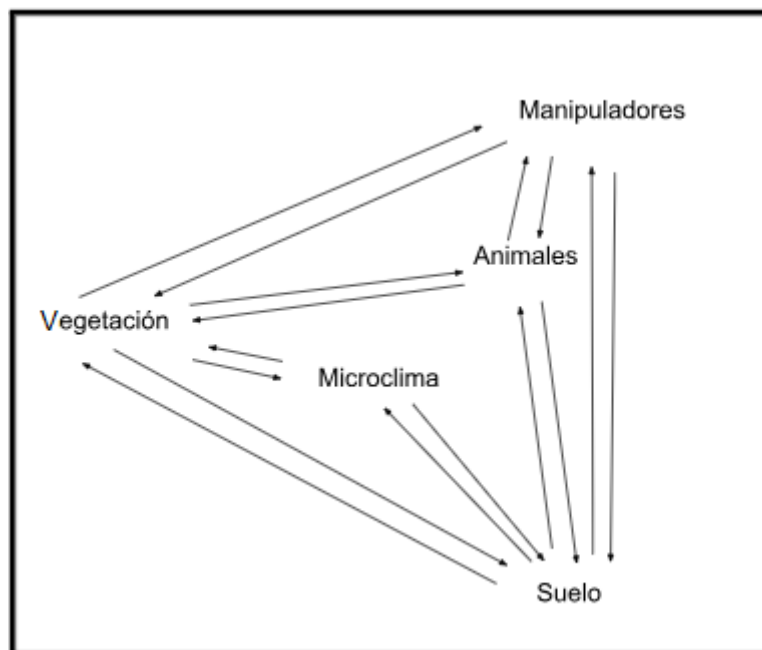


Figura 2. Componentes de un sistema pastoril y sus distintas interrelaciones.

El pastoreo determina un uso diferencial del estrato herbáceo, lo que incrementa la heterogeneidad de la comunidad vegetal. El uso ineficiente —caracterizado por la sobreutilización de sectores específicos— puede generar efectos disruptivos sobre la estructura y composición de la comunidad vegetal, pudiendo conducir a la extinción local de especies valiosas. En este proceso, el banco de semillas del suelo juega un papel crítico para la resiliencia del ecosistema. En regiones áridas y semiáridas, las semillas acumuladas en los primeros centímetros del suelo permiten la recuperación tras disturbios y la colonización de nuevas áreas (Martin et al., 2018). No obstante, el pastoreo persistente afecta la producción y viabilidad de estas semillas, alterando profundamente la estructura de las comunidades vegetales.

Las principales causas del deterioro de los pastizales del sudoeste de Buenos Aires y de La Pampa son los desmontes, que remueven la cobertura vegetal para fines agrícolas y, en muchos casos, condenan las tierras a la desertificación debido a las sequías cíclicas, junto con el sobrepastoreo derivado de un manejo inadecuado. Poniendo el foco en el manejo del pastoreo, cabe resaltar que la principal actividad económica en estas regiones es la cría de ganado vacuno basada principalmente en gramíneas forrajeras perennes nativas; sin embargo, esta producción se encuentra amenazada por la creciente degradación ambiental. Históricamente, el pastoreo continuo, con cargas animales altas y fijas, ha sido la forma predominante de aprovechamiento. Este manejo desequilibrado ha generado cambios profundos, entre los cuales se destacan:

1. Arbustización: superficies dominadas por gramíneas productivas (*Nassella clarazii*, *P. napostaense*, *N. tenuis*) se han transformado en arbustales impenetrables ('fachinales') con alta densidad de leñosas (*Condalia microphylla*, *Larrea divaricata*).
2. Dominancia indeseable: La degradación también se manifiesta como densos pajonales dominados por gramíneas de baja o nula preferencia animal (*Pappostipa speciosa*, *Jarava ichu*), reduciendo drásticamente el valor forrajero (Pelaez, 2011).

En este contexto, la palatabilidad diferencial de las especies es un factor determinante, dado que el ganado tiende a seleccionar y consumir preferentemente aquellas plantas más sabrosas y nutritivas. Este pastoreo selectivo e intensivo de las especies más palatables altera la composición de la comunidad vegetal, lo que a menudo contribuye al deterioro progresivo y a la desertificación de estos ecosistemas sensibles. Como resultado, muchos pastizales han experimentado una alteración en su estructura y composición vegetal, lo que ha derivado en distintos grados de deterioro o desertificación (Porta Siota, 2021).

La recuperación de estos sistemas mediante la reintroducción de especies clave surge como una estrategia fundamental. Sin embargo, una limitación crítica es la nula disponibilidad de semillas comerciales de gramíneas nativas de alto valor forrajero. Por ello, resulta imperativo avanzar en procesos de domesticación y caracterización de atributos productivos y reproductivos. En este sentido, trabajos recientes como el de Porta Siota (2021) han comenzado a evaluar la viabilidad de *Piptochaetium napostaense*, analizando atributos de semilla y plántula fundamentales para el éxito de futuras acciones de restauración.

Domesticación de especies forrajeras

La domesticación y el mejoramiento genético de especies nativas con aptitud forrajera son herramientas clave para mitigar el deterioro de los pastizales (Diaz. et al., 2004). Este proceso implica la transición de una especie silvestre hacia condiciones de cultivo mediante

programas de selección continua, promoviendo cambios morfológicos y fisiológicos que faciliten su manejo agronómico (Harlan, 1992). La domesticación requiere un conocimiento integral de la variabilidad genética, la biología reproductiva y los métodos de producción de semillas, así como el desarrollo de técnicas de siembra e implantación adecuadas para cada ambiente (Gallego, 2013).

Este proceso persigue un doble propósito: mejorar la productividad de los sistemas ganaderos y contribuir a la conservación de los ecosistemas mediante el desarrollo de tecnologías aplicables a la restauración (Gallego, 2013). En términos generales, la domesticación incluye la selección de poblaciones silvestres, su cultivo bajo condiciones controladas y la fijación de caracteres de interés, tales como la pérdida de dormición, la reducción de la dehiscencia (desgrane) y el aumento del tamaño de estructuras de interés como semillas o frutos. En el caso de *Piptochaetium napostaense*, esta transición se ve desafiada por la alta variabilidad entre poblaciones y la dificultad de identificar rasgos fenotípicos estables para una selección eficiente (Porta Siota, 2021).

A lo largo de este proceso se emplean distintos descriptores fenotípicos para caracterizar la diversidad entre individuos y orientar la selección, entre ellos la producción y calidad de semilla, la biomasa producida y el hábito de crecimiento. Sin embargo, pocas especies de gramíneas nativas han logrado ser domesticadas con éxito. En el caso de *Piptochaetium napostaense*, la transición hacia un estado doméstico se ve limitada por la alta variabilidad entre poblaciones y la dificultad de identificar rasgos fenotípicos estables que permitan una selección eficiente (Porta Siota, 2021).

La restauración ecológica de hábitats y ecosistemas degradados constituye un componente importante en la conservación biológica, principalmente en ambientes áridos y semiáridos donde es escasa la superficie de pastizales naturales en buen estado de conservación (Busso y Fernández, 2018). La restauración de estas áreas se basa en la aplicación programada de estrategias para alcanzar la recuperación de las funciones ecosistémicas, la estructura y la composición de la comunidad vegetal, orientando al sistema hacia condiciones deseables, ya sea la situación previa al disturbio o un estado funcional similar (Sabatini et al., 2019). Este proceso se define como la asistencia a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, con el objetivo de restablecer su biodiversidad originaria (Pérez, 2018). En los pastizales, las iniciativas de mejora suelen implementarse mediante modificaciones en el manejo.

Las acciones de restauración en pastizales son diversas e incluyen prácticas pasivas, como la exclusión del pastoreo y clausuras prolongadas, hasta intervenciones activas mediante intersiembras, cortes, rolados y quemas prescriptas (Peláez, 2011). Sin embargo, muchas veces estas prácticas no logran mejoras significativas debido al agotamiento del banco de semillas del suelo de las especies más palatables. Por esta razón, se han diseñado

planes para la incorporación de especies a partir de la siembra de semillas nativas que no se encuentran disponibles comercialmente, concepto denominado restauración productiva (Ceccon, 2013). De esta manera, se integra la necesidad de producir y establecer propágulos (semillas o plántulas) mediante prácticas agroecológicas orientadas a la rehabilitación de ecosistemas degradados en la región (Fernández et al., 2017).

La reincorporación exitosa de especies nativas requiere la selección de materiales genéticamente diversos, con buen desempeño en diferentes ambientes. Para ello, es fundamental realizar colectas de poblaciones naturales y evaluar la calidad de sus semillas, incluyendo parámetros de vigor, poder germinativo y capacidad de implantación (Gustafson, 2016). Investigaciones previas en especies forrajeras valiosas como *Pappophorum vaginatum* (Entio et al., 2014), *Stapfochloa berroi* (Porto, 2022) y, más recientemente, en *P. napostaense*, *N. longiglumis* y *N. tenuis* (Scarfó, 2025; Porta Siota et al., 2025), han demostrado una significativa variabilidad interpoblacional en la región, lo que resalta el potencial de selección para programas de restauración y mejora.

Especie de estudio: *Piptochaetium napostaense*

Piptochaetium napostaense (Speg.) Hack. (flechilla negra) representa un recurso valioso para programas de restauración ecológica en el pastizal pampeano. Esta gramínea perenne y endémica posee una amplia distribución en Argentina, desarrollándose principalmente en ambientes xéricos con suelos de textura franca a franco-arenosa. Su eficacia en la resiembra natural la posiciona frecuentemente como una de las primeras especies forrajeras en colonizar áreas tras el abandono de labranzas (Cano, 1988). Desde el punto de vista productivo y ecológico, ofrece forraje de calidad durante el ciclo otoño-invierno-primaveral, demuestra una notable resiliencia al pastoreo intenso y exhibe respuestas favorables frente a disturbios como el fuego, ya sea en incendios accidentales o quemas prescritas (Bóo., 1996).

Morfológicamente, es una especie cespitosa que conforma matas bajas de 10-20 cm de diámetro, con cañas floríferas que alcanzan los 40-70 cm de altura. Sus hojas presentan láminas conduplicadas y filiformes, de color verde claro y glabras, con una longitud de 10-20 cm. La vaina es glabra y posee una lígula pequeña (0,5-1 mm), membranácea y escotada. La inflorescencia se dispone en panojas laxas y péndulas. El fruto, un cariopse fusiforme de color castaño oscuro a negro, presenta estrías longitudinales y se prolonga en una arista bigeniculada de 7 cm o más. En su extremo inferior posee un antopodio punzante de 0,5 mm cubierto de pelos castaños, característica que, si bien es un mecanismo de dispersión eficiente, puede ocasionar molestias al ganado (Giulietti, 2005) (Fig. 3 y 4).

Considerando el uso de la especie en la restauración de pastizales naturales, es importante remarcar que los protocolos de recolección de semillas deben contemplar aspectos de su biología reproductiva. Estos protocolos distinguen entre especies autógamas (fecundación dentro de la misma flor), alógamas (reproducción cruzada), apomícticas (reproducción asexual) y el tipo de material a recolectar. En el caso de *P. napostaense*, estudios realizados sobre el saco embrionario demostraron que la especie se reproduce de manera sexual, confirmándose la autogamia por la presencia de polen maduro en las anteras previo a la apertura de las glumas del antecio (Tomás, 2000). Para las especies autógamas, las colectas deben realizarse respetando tanto la distancia entre individuos como el número de plantas muestreadas por población. En cuanto a este último punto, para representar adecuadamente la variabilidad poblacional es necesario considerar diversos factores. En poblaciones de *P. napostaense* libres de pastoreo, la especie crece formando un continuo, por lo que la colecta debe efectuarse manteniendo una distancia de 2–3 metros entre individuos, evitando así muestrear plantas derivadas de la misma planta madre. En cambio, en poblaciones sometidas a pastoreo, dependiendo de la intensidad y frecuencia, el crecimiento puede presentarse en forma de individuos aislados. En estos casos, cada planta puede considerarse un genotipo independiente del individuo adyacente (Porta Siota, 2021).

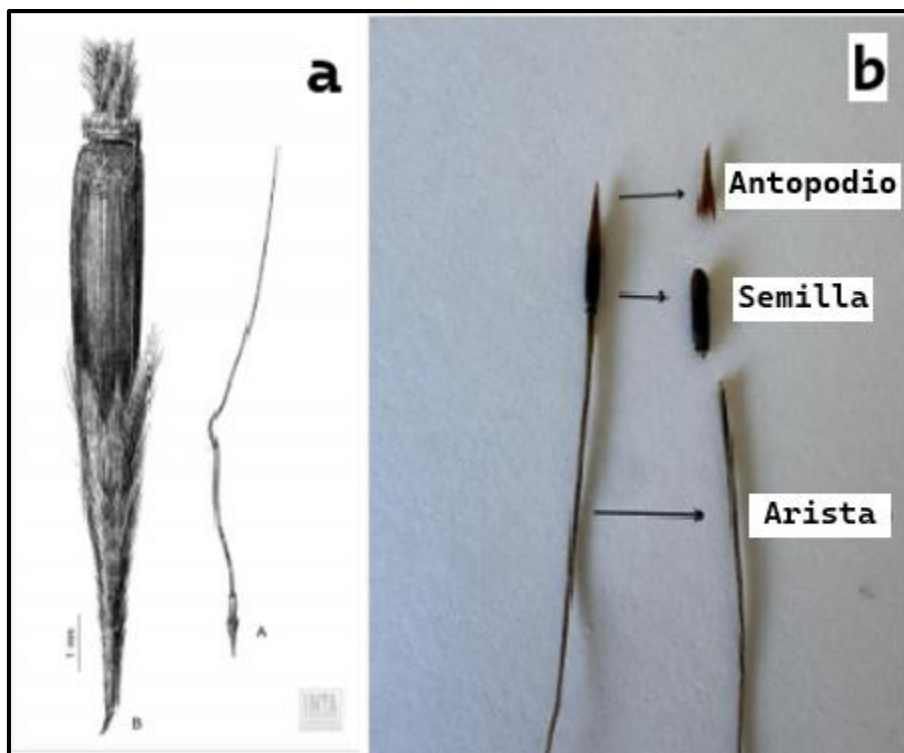


Figura 3. a) Semilla de *Piptochaetium napostaense*. b) Semilla de *Piptochaetium napostaense* con identificación de sus partes, creada por la Ing. Agrónoma Melisa Careddu.



Figura 4. Planta de *Piptochaetium napostaense* en estado reproductivo maduro (foto propia, Departamento de Agronomía).

Este trabajo constituye la continuidad de la investigación realizada por la Ingeniera Agrónoma Melisa Careddu “Caracterización fenotípica de poblaciones de *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack, provenientes de pastizales naturales del Sudoeste Bonaerense”, quien realizó una caracterización de la calidad de semilla, germinación, dormición y crecimiento inicial de ocho poblaciones de *P. napostaense* colectadas en los años 2021 y 2022. El presente estudio muestra la elaboración de: a) una caracterización de plantas en invernáculo, provenientes del trabajo de la Ing. Careddu, en relación a altura y macollos y b) selección de los individuos de mayor potencial para su posterior evaluación de crecimiento y desarrollo a campo. Para ello, se consideraron variables asociadas al establecimiento de plántulas, producción de biomasa aérea, altura, diámetro de la corona y macollaje.

Hipótesis

Poblaciones naturales de *Piptochaetium napostaense* del Sudoeste Bonaerense y la Pampa presentan variabilidad en caracteres morfológicos vinculados a la implantación, crecimiento y producción de semilla.

Objetivo general

Evaluar la variabilidad entre y dentro de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* del Sudoeste Bonaerense y la Pampa mediante el estudio de caracteres vinculados al crecimiento y desarrollo.

Objetivos específicos

1. Caracterizar variaciones fenotípicas entre y dentro de poblaciones de *Piptochaetium napostaense* a través de ensayos de implantación y crecimiento en un jardín común a campo.
2. Generar semillas de calidad de *Piptochaetium napostaense* a partir de ensayos en jardín común, con el propósito de contribuir a su conservación *ex situ* en el Banco de Germoplasma de Especies Nativas de CERZOS-CONICET y, simultáneamente, conformar un pool de semillas seleccionadas destinado a futuras siembras a mayor escala.

Materiales y métodos

En el trabajo previo se realizó la caracterización fenotípica de cuatro poblaciones de *P. napostaense*, colectadas en 2021 (Bahía Blanca, Algarrobo, Chacra Experimental Patagones y Villalonga) y cuatro en 2022 (Montes de Oca, La Adela, sitio entre Médanos y Algarrobo, y Partido de Patagones), todas del Sudoeste Bonaerense, excepto La Adela perteneciente a La Pampa. Esta caracterización incluyó parámetros de calidad de semilla (peso de mil semillas, porcentaje de germinación y viabilidad), incluyendo un tratamiento térmico de 90 °C durante 10 min para estudiar la influencia de la temperatura sobre la dormición. Asimismo, se analizó la supervivencia y el crecimiento inicial de las plántulas, considerando el número de macollos por planta y hojas por macollo principal. Su investigación permitió establecer bases para la selección de individuos con buen potencial de crecimiento inicial y adaptabilidad a condiciones controladas, las cuales fueron utilizadas en este trabajo.

El presente estudio se desarrolló en los laboratorios de las cátedras de Genética Básica y Aplicada y de Ecología, así como en el invernáculo y el campo experimental del Departamento de Agronomía (DA) de la Universidad Nacional del Sur (UNS), ubicada en la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Transcurrido un mes desde la finalización del trabajo de la Ingeniera Careddu, se seleccionaron 40 plantas representativas, con dos a tres macollos por ejemplar, correspondientes a cada una de las poblaciones analizadas. Este trabajo se divide en dos grandes secciones:

1. Ensayo en invernáculo.
2. Ensayo a campo.

1. Ensayo en invernáculo

Las 40 plantas fueron trasplantadas en macetas de plástico soplado número 8, conteniendo una mezcla de suelo proveniente del campus del Departamento de Agronomía de la UNS, homogeneizado con arena en proporción 3:1 (tierra:arena).

Una vez trasplantadas, las macetas individuales se colocaron en un espacio semiabierto del invernáculo del DA, bajo techo de polietileno, sobre una mesada, sin limitaciones de riego y homogénea exposición a la luz, condiciones que aseguraron un correcto establecimiento (Fig. 5).

Durante el desarrollo del ensayo (año 2023), se realizaron mediciones de distintos caracteres fenotípicos. La *altura/planta* (desde la base hasta el ápice de la hoja más larga) se evaluó en tres fechas diferentes: 5 de julio (F1), 11 de agosto (F2) y 12 de septiembre (F3) y el *número de macollos/planta* (contabilizando el número total de macollos) en cuatro fechas

diferentes: 5 de julio (F1), 11 de agosto (F2), 12 de septiembre (F3) y 10 de octubre (F4) (Fig. 6).



Figura 5. Individuos de *Piptochaetium napostaense* seleccionados según altura y cantidad de macollos.

Posteriormente, se seleccionaron 15 plantas por población considerando la variable número de macollos/planta, priorizando aquellas con mayor valor, debido a su importancia en la determinación de la producción de forraje (Silva, 2007) y a que fue la variable que presentó mayor variabilidad en comparación con la altura de planta.



Figura 6. Determinación del número de macollos/planta de *Piptochaetium napostaense*.

Análisis estadístico

Para el análisis de las variables altura de planta y número de macollos se empleó ANOVA simple y en los casos donde los resultados fueron significativos ($p < 0,05$), se empleó el test de comparación de medias de Tukey. Para todos los análisis se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2019). Debido a que las colectas se realizaron en años diferentes (2021 y 2022), bajo regímenes climáticos distintos, y que las poblaciones evaluadas no fueron las mismas en ambos periodos, el análisis de los datos se efectuó de manera independiente para cada grupo de poblaciones según su año de origen.

2. Ensayo a campo

Para este ensayo, 15 plantas de cada población seleccionadas anteriormente, fueron trasplantadas a campo el 10 de octubre del año 2023, en una superficie total de 30 m², perteneciente al DA, con un diseño de 3 bloques completamente aleatorizados (5 plantas/población/bloque) (Fig. 7). La superficie fue previamente acondicionada (rastreado y remoción de otras especies), y posteriormente se realizó el trasplante en líneas distanciadas a 50 cm y a 30 cm entre plantas, con una aplicación de fosfato diamónico a cada planta a

razón de 50 kg/ha. El ensayo contó con un sistema de riego por goteo, el cual permitió asegurar disponibilidad de agua durante todo el período de establecimiento, aproximadamente 30 días (Fig. 8 y 9). Finalizado este período, el ensayo se condujo en condiciones de secano.



Figura 7. Parcela correspondiente al trabajo en el campo experimental de la Universidad Nacional del Sur.



Figura 8. Parcela de trasplante luego del desmalezado y sistema de riego por goteo.



Figura 9. Trasplante de individuos de *Piptochaetium napostaense* seleccionados según la cantidad de macollos.

Además se trasplantaron 50 individuos en los bordes de todo el ensayo, con el propósito de proteger las plantas experimentales de los efectos de borde y de posibles

variaciones microambientales. El diseño y disposición de los bloques se presentan en la Fig. 10.

MA8	PC30	PAT34	PC23	PAT36	BB17	MA33	AG23	MA1	LP26	
BB29	MA17	MO3	B23	PAT33	LP27	AG39	MA26	V17	B12	BLOQUE 3
PAT40	AG6	LP37	PC40	V1	PAT23	B19	MO7	PAT31	MO40	
LP23	PC34	V11	AG28	PC35	MA14	MO10	LP34	LP35	PAT6	
MO33	B1	MA20	PAT25	MO2	PC26	MA10	AG3	B2	PC16	
PC31	LP25	AG22	V32	B18	V14	PAT27	MO13	PC3	PAT28	
LP30	MO12	LP15	MA9	V28	PC27	B6	PAT11	LP4	AG35	
V6	MA27	PAT38	B4	MO6	LP22	V22	PC20	AG21	B9	BLOQUE 2
LP36	AG5	V15	MO5	AG9	PAT26	MA19	B25	MO29	AG34	
MO26	PC22	MA29	PC29	B7	AG12	PC39	LP39	PAT35	B13	
V13	LP29	AG37	PAT14	MA12	V3	MO22	V23	B33	AG40	
PC8	B15	V39	PC10	AG20	LP1	MO23	LP33	MA30	PAT37	BLOQUE 1
PC15	MO17	PAT39	V12	MA40	B27	AG24	PAT2	LP12	AG32	
LP5	V29	AG7	B11	LP24	MO15	PC33	MA32	PAT24	B39	
V34	MA7	LP14	PAT7	PC17	PAT10	V38	MO34	AG19	PAT15	
MO9	AG14	PC24	MO25	V31	MA11	B3	PC37	B31	V21	
MO8	PC1	MA25	LP13	MO31	V33	LP21	MA15	V5	AG18	

Figura 10. Plano de trasplante de plantas de *Piptochaetium napostaense* pertenecientes a ocho poblaciones distribuidas en ocho líneas y tres bloques completamente aleatorizados (5 plantas/población/bloque).

Durante el período de evaluación a campo se efectuaron mediciones de distintos caracteres fenotípicos, que incluyeron: altura/planta (18 de noviembre de 2023 y 13 de marzo de 2024), número de macollos/planta (18 de noviembre de 2023), circunferencia de la corona/planta (19 de marzo de 2024) y biomasa aérea (29 de diciembre de 2023 y 30 de marzo de 2024), registrándose los datos de cada ejemplar individualmente (Fig. 11). Las mediciones repetidas de altura y biomasa permitieron estimar el crecimiento de los individuos entre las fechas de evaluación.

Los registros se llevaron a cabo de la siguiente manera:

- Altura de la planta en cm (altura/planta): se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice de la hoja más larga, utilizando una regla graduada.
- Número de macollos por planta (*macollos/planta*): Se evaluó la dinámica de macollaje mediante el conteo manual de macollos por planta.
- Circunferencia de la corona en cm (*circunf./planta*): se midió a nivel de la corona (base del tallo), rodeando la planta con una cinta métrica.
- Biomasa aérea en gramos (*BA/planta*): se realizó un corte transversal con tijera de la parte aérea de cada planta, desde 2 cm desde la base y se colocaron en bolsas de papel madera con su debido rótulo. Posteriormente se llevaron a estufa a 72 °C hasta peso constante.

Al finalizar el ensayo, se identificaron los individuos con mejor desempeño, con el objetivo de seleccionar aquellos sobresalientes para la conformación de un pool de semillas destinado a futuros ciclos de evaluación y mejoramiento.



Figura 11. Determinación de las variables evaluadas a campo: 1) cantidad de macollos, 2) circunferencia de la corona; 3) altura de planta.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados. Se evaluaron ocho poblaciones de *Piptochaetium napostaense*, con cinco plantas por población en cada bloque. Las variables altura de planta, número de macollos/planta, biomasa aérea/planta y circunferencia de la corona/planta fueron analizadas mediante modelos lineales y mixtos REML (máxima verosimilitud restringida) empleando los bloques como factor aleatorio. La comparación de medias se realizó de forma protegida, es decir, cuando se rechaza la hipótesis de igualdad de medias ($p < 0,05$), con el test LSD de Fisher ($p < 0,05$). Además, en el caso de la primera fecha de muestreo de biomasa se observó heterocedasticidad asociada a las poblaciones por lo que se modelaron las varianzas asociadas a las mismas. Por último, se realizó un análisis multivariado mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) con el objetivo de evaluar la asociación entre las variables altura de planta, número de macollos y biomasa aérea, y explorar patrones de diferenciación entre poblaciones e individuos de la

especie. Previamente al análisis, las variables fueron estandarizadas (media = 0; desvío estándar = 1) debido a que se encontraban expresadas en diferentes unidades de medida. Los análisis se realizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2019).

Resultados

1. Ensayo en invernáculo

Con el objetivo de caracterizar la variabilidad de los caracteres analizados se presenta, en primera instancia, un análisis descriptivo de la distribución de la variable, considerando las fechas de evaluación en cuatro poblaciones colectadas durante el año 2021 y cuatro poblaciones colectadas en el año 2022. Posteriormente, se presentan los resultados del ANOVA y comparación de medias.

Distribución de la altura/planta en tres fechas de evaluación

a) Colecta 2021

Este caracter mostró un incremento a lo largo del ensayo y una elevada variabilidad en las tres fechas analizadas (Tabla 1). Considerando las cuatro poblaciones, en la fecha F1 se registró un promedio \pm desvío estándar de 12,2 cm \pm 1,75 y un coeficiente de variación (CV) de 14 %. En la F2, los valores fueron de 18,8 cm \pm 3,24 y un CV de 17 %, mientras que en F3 el promedio fue de 19,2 cm \pm 3,3 con un CV de 17 %. En conjunto, la altura por planta varió entre un mínimo de 8,6 cm y un máximo de 29,8 cm durante el período evaluado.

Tabla 1: Valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de altura/planta (n=40) de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2021, en tres fechas de muestreo. ALG: Algarrobo. BB: Bahía Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga.

	Población	Media (cm)	D.E.	CV	Min	Max
Fecha 1	ALG	10,69	1,14	10,68	8,6	13
	BB	13,4	1,78	13,28	10	16,7
	PC	12,43	1,28	10,28	10,1	16,2
	v	12,37	1,59	12,88	9	15
Fecha 2	ALG	17,55	2,95	16,82	10,5	23,4
	BB	20,48	2,84	13,87	14	26
	PC	19,24	2,94	15,3	11	25,4
	V	18,05	3,41	18,88	10,3	23
Fecha 3	ALG	17,26	3,22	18,65	7,7	25,5
	BB	20,96	3,33	15,89	16	29,8
	PC	19,43	2,6	13,39	14	25,3
	v	19,12	3,1	16,21	10,5	24

Población Villalonga

En la población Villalonga (V), la distribución de los datos en F1 siguió una curva normal, con un 32% de la población concentrada en el rango de 12-13 cm. Por el contrario, en F2 la curva mostró un sesgo hacia la derecha, con un 30% de los individuos alcanzando alturas de entre 18-20 cm. Esta tendencia se mantuvo en F3, donde el sesgo hacia la derecha persistió y el 35% de la población registró valores en el intervalo de 18-20 cm (Fig.1).

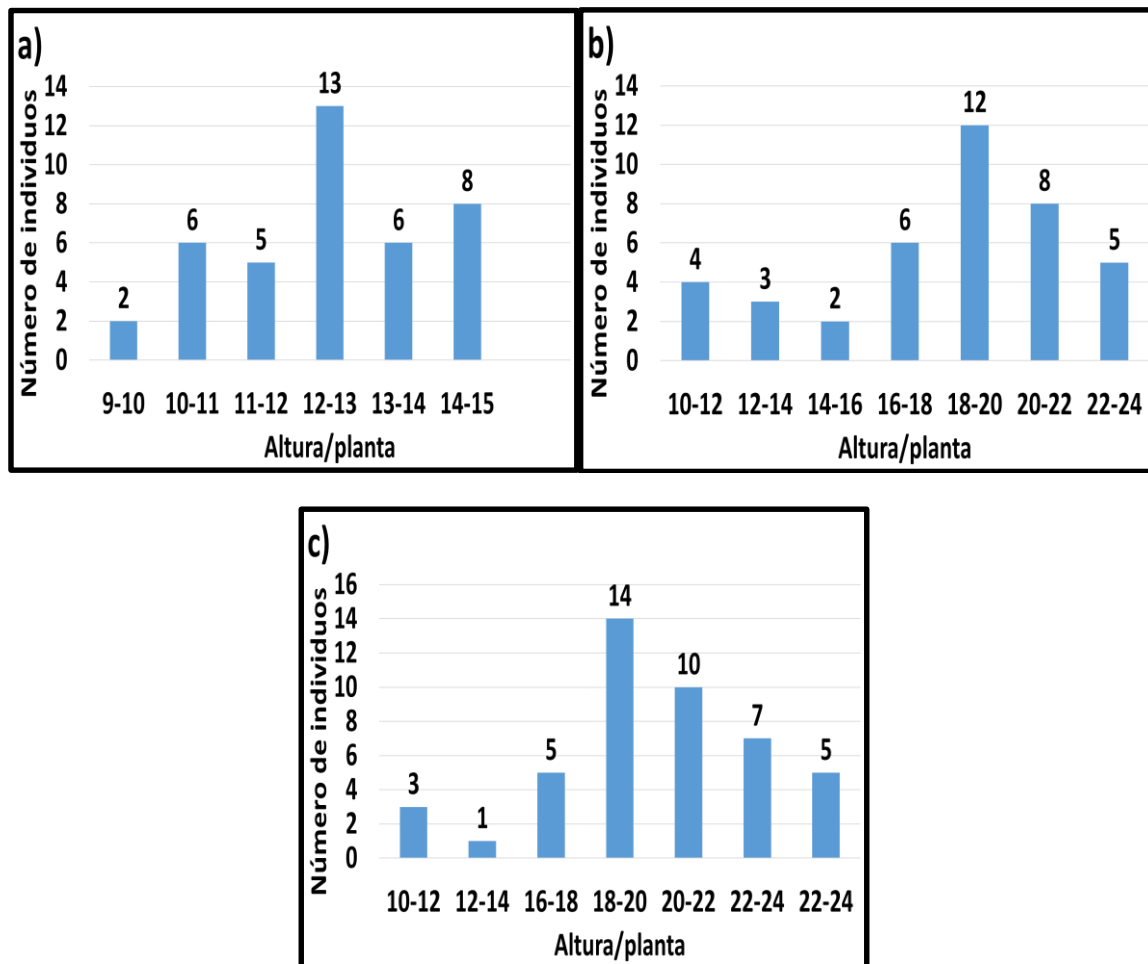


Figura 12. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Villalonga 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Población Bahía Blanca

Observando la Figura 13, la distribución de los datos en la población Bahía Blanca (BB) en F1 siguió una curva normal, con un 35% de la población concentrada en el rango de 12-14 cm. Esta tendencia se mantuvo en F2, donde la curva se presentó normal, con un 25% de los individuos alcanzando alturas de entre 20-22 cm. Por lo contrario, en F3, la curva presentó un sesgo hacia la izquierda y el 25% de la población se mantuvo en valores de 18-20 cm.

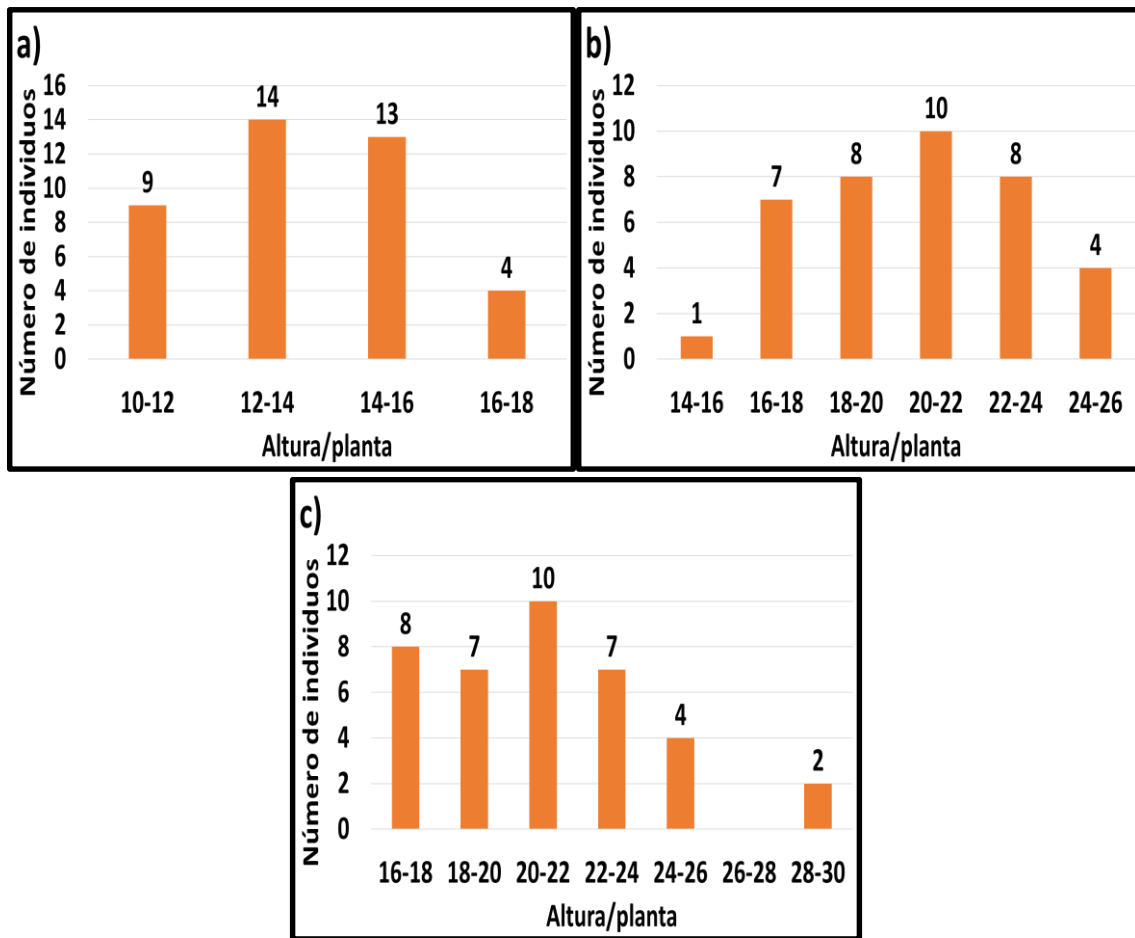


Figura 13. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Bahía Blanca 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Población Algarrobo

En la población Algarrobo (ALG), la distribución de los datos en F1 siguió una curva normal, donde alrededor del 62% de la población registró valores de 10-12 cm. Esta tendencia se mantuvo en F2 y F3, donde la curva continuó normal, con un 42% de los individuos alcanzando alturas de entre 16-19 y un 50% valores de 15-19 cm, respectivamente (Figura 14).

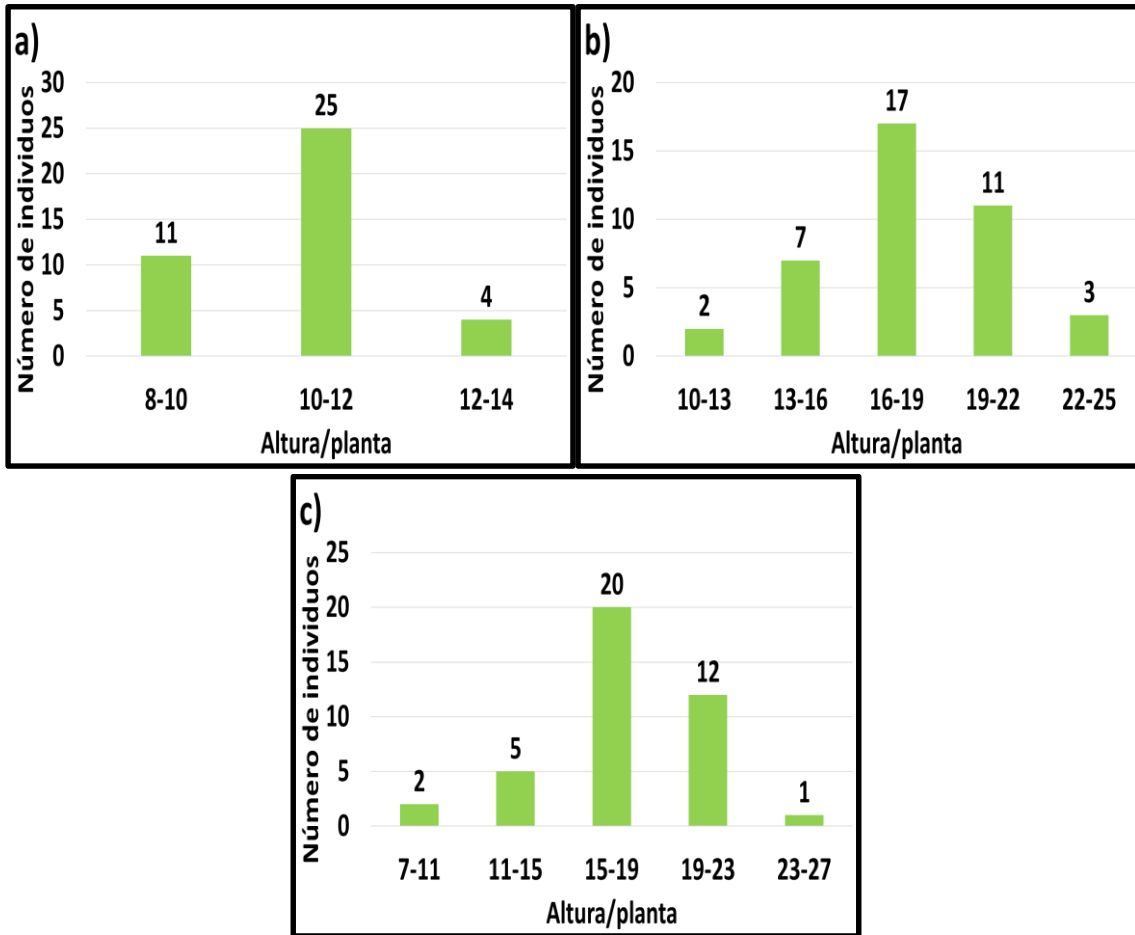


Figura 14. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Algarrobo 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Población Patagones chacra

Como se observa en la Figura 15, la distribución de los datos en la población Patagones chacra (PC) siguió, en F1, una curva sigmoidea sesgada hacia la derecha, con un 55% de la población concentrada en el rango de 12-14 cm. Por el contrario, en F2 la curva mostró una distribución normal, con un 37% de los individuos alcanzando alturas de entre 17-20 cm. En F3, la curva retomó una tendencia similar a F1, donde el sesgo hacia la derecha persistió y el 32% de la población registró valores en el intervalo de 18-20 cm.

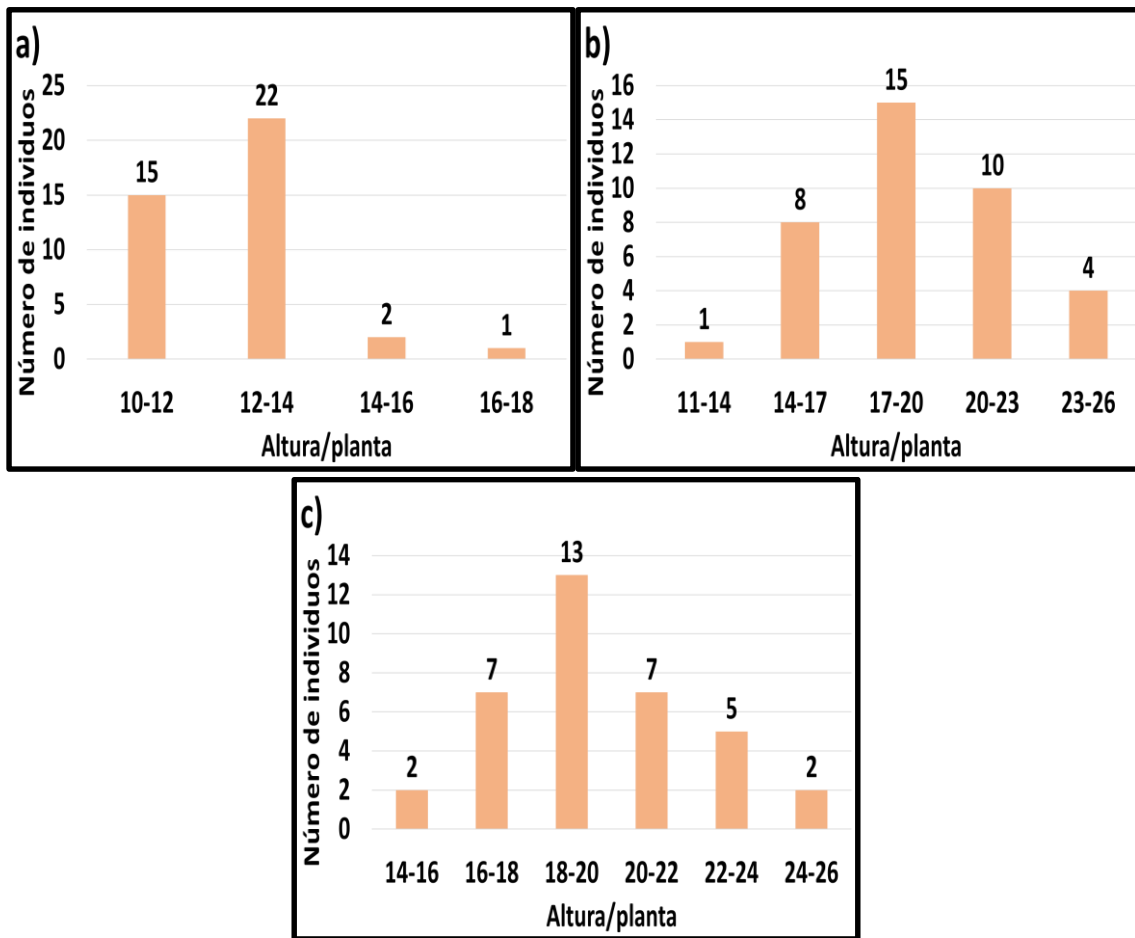


Figura 15. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Patagones chacra 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3

Comparación de la altura/planta entre poblaciones

La población BB registró los mayores valores de altura en las tres fechas evaluadas, mientras que PC mostró los segundos valores más altos en las fechas 1 y 2 y, V en la fecha 3. Estas tres poblaciones superaron significativamente a la población ALG (Fig.16).

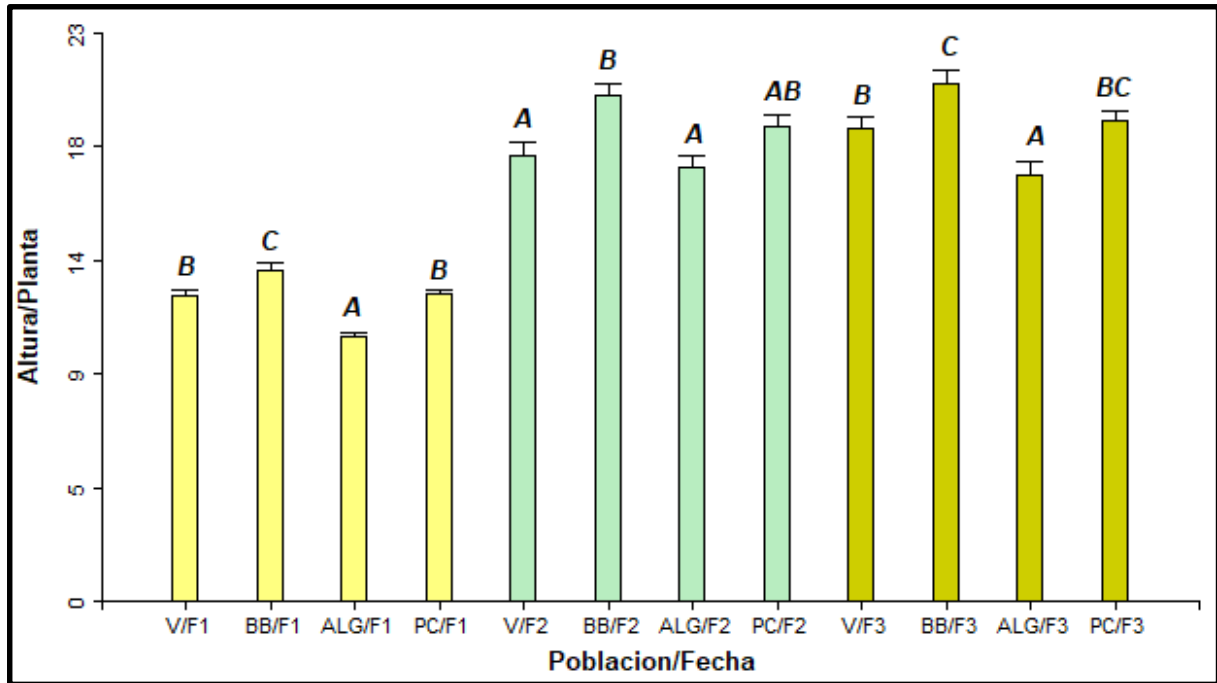


Figura 16. Comparación de altura promedio (cm; n=40) entre poblaciones 2021 de *Piptochaetium napostaense* en tres fechas de medición (F1, F2 y F3). ALG: Algarrobo. BB: Bahía Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga. Dentro de cada fecha, letras distintas indican diferencias significativas entre poblaciones ($p < 0,05$).

b) Colecta 2022

La evaluación de la altura/planta mostró elevada variabilidad en las tres fechas analizadas (Tabla 2). Considerando las cuatro poblaciones, se registró un promedio \pm desvío estándar para F1 de 12 cm \pm 1,4 y un CV de 12 %. Por otro lado, estos valores en la F2 fueron de 18,4 cm \pm 2,75 y 15 %, mientras que en F3 el promedio fue 18,65 cm \pm 2,5 y un CV de 14 %. De igual forma que en 2021, la variable se incrementó a lo largo del ensayo registrando un valor mínimo de 8,5 cm y un máximo de 26 cm.

Tabla 2. Valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de altura/planta (n=40) de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2022, en tres fechas de muestreo. LP: Algarrobo. MA: Médanos-Algarrobo. PAT: Patagones. MO: Montes de Oca.

	Población	Media (cm)	D.E.	CV	Min	Max
Fecha 1	LP	12,42	1,43	11,52	9	15,2
	MA	11,73	1,27	10,79	10	15,2
	MO	12,63	1,63	12,9	8,5	16,8
	PAT	11,31	0,99	8,73	9,4	13,6
Fecha 2	LP	19,02	2,88	15,13	13	25,5
	MA	17,59	3,07	17,46	8,5	21,7
	MO	20,16	2,31	11,45	15,3	25
	PAT	16,84	1,16	6,91	14,1	19
Fecha 3	LP	19,04	2,8	14,72	13,4	26
	MA	18,29	2,74	15	12	25,5
	MO	20,14	2,24	11,14	15,5	25,5
	PAT	17,12	1,19	6,95	14,7	19,3

Población Patagones

En consideración a la distribución de los datos en Patagones (PAT), en F1 siguió una curva normal, con un 60% de la población concentrada en el rango de 11-13 cm. Por el contrario, en F2 la curva mostró una distribución sesgada hacia la derecha, con un 35% de los individuos alcanzando alturas de entre 17-18 cm. En F3, la curva mantuvo la tendencia, donde el sesgo hacia la derecha persistió y el 32,5% de la población registró valores en el intervalo de 17-18 cm (Fig. 17).

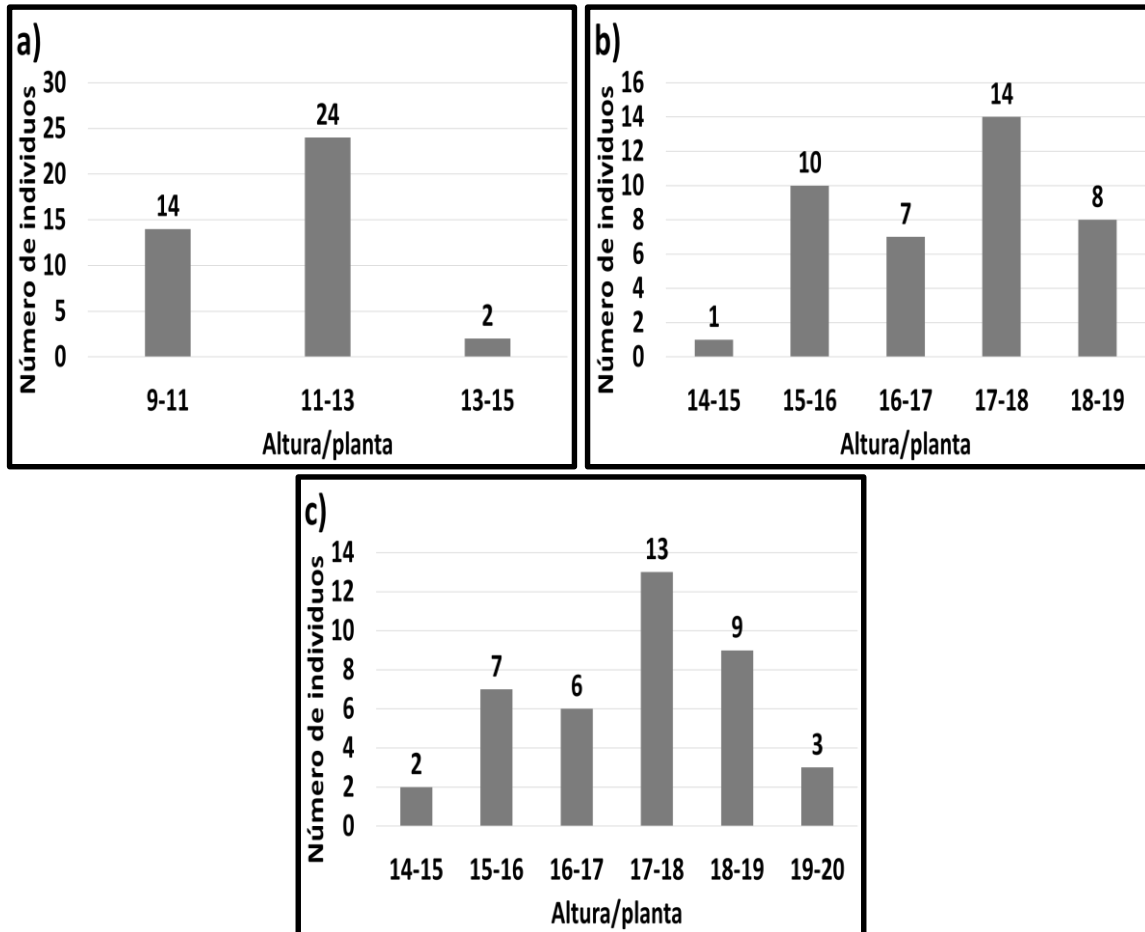


Figura 17. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Patagones 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Población Médanos-Algarrobo

En cuanto a la distribución de los datos en la población Médanos-Algarrobo (MA) en F1 siguió una curva sigmoidea sesgada hacia la izquierda, con un 62% de la población concentrada en el rango de 10-12 cm. Por el contrario, en F2 la curva mostró una distribución sesgada hacia la derecha, con un 45% de los individuos alcanzando alturas de entre 17-20 cm. En F3, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 43% de la población registró valores en el intervalo de 18-20 cm (Fig. 18).

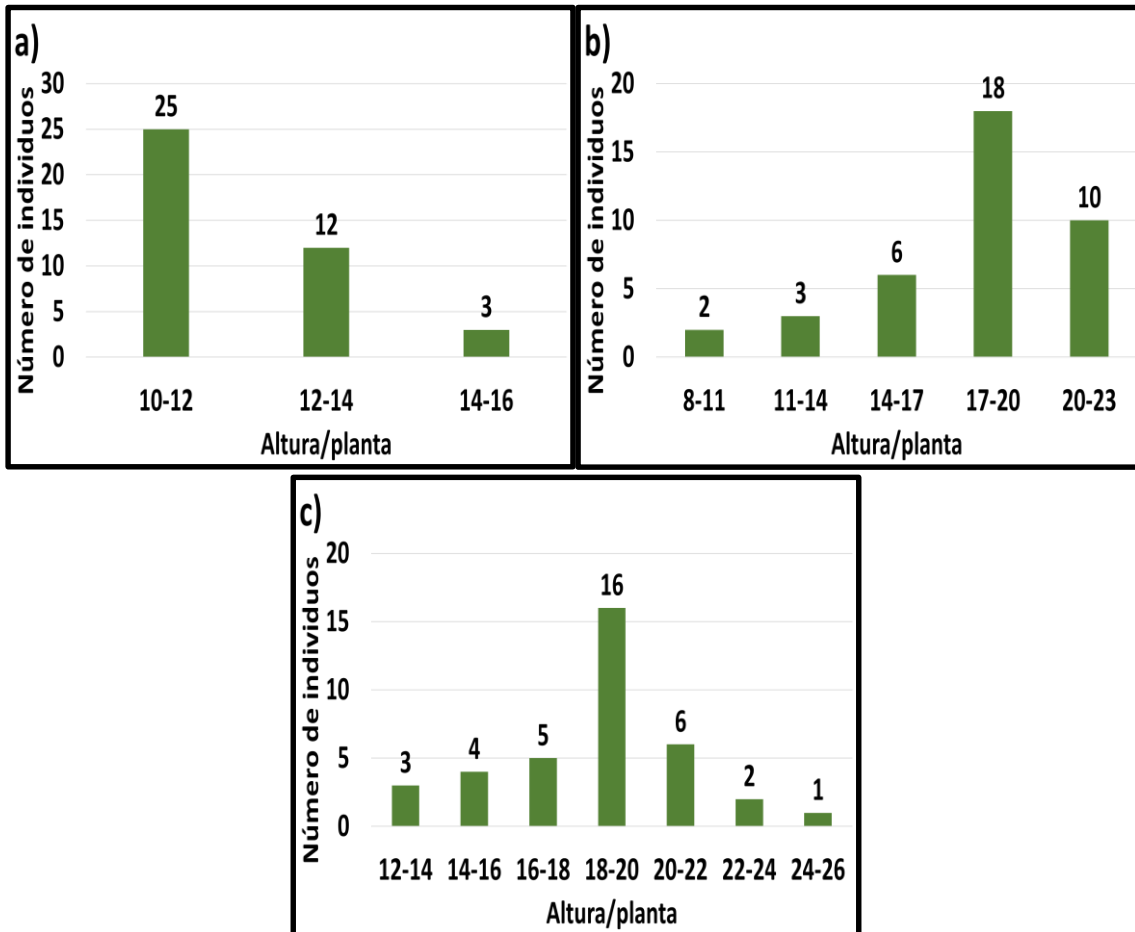


Figura 18. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Médanos-Algarrobo 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Población La Pampa

En la población La Pampa (LP), la distribución de los datos en F1 siguió una curva sigmoidea normal, con un 42% de la población concentrada en el rango de 11-13 cm. Por el contrario, en F2 la curva mostró una distribución sesgada hacia la izquierda, con un 58% de los individuos alcanzando alturas de entre 17-21 cm. En F3, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 35% de la población con valores en el intervalo de 17-19 cm (Fig. 19).

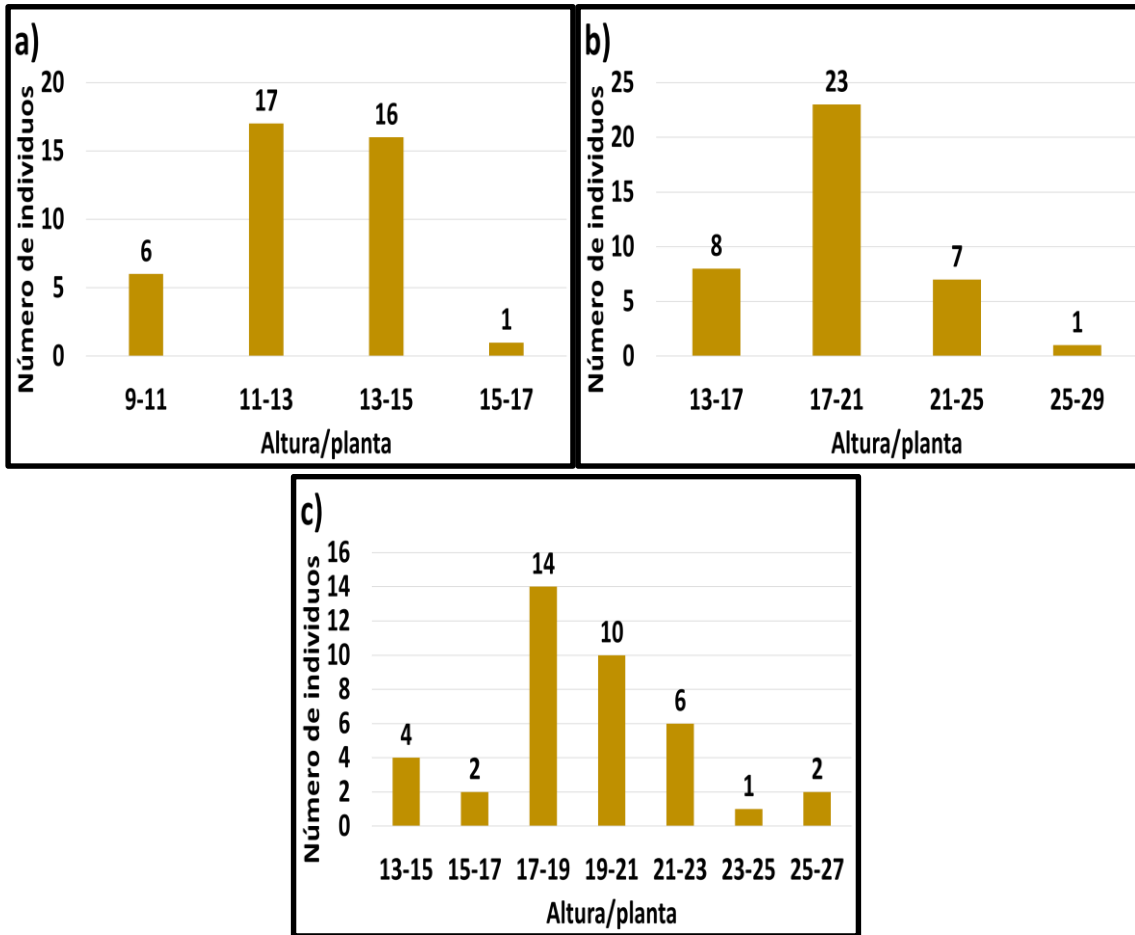


Figura 19. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población La Pampa 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Población Montes de Oca

Con respecto a la población Montes de Oca (MO), la distribución de los datos en F1 siguió una curva sigmoidea normal, con un 47% de la población concentrada en el rango de 12-14 cm. Por el contrario, en F2 la curva mostró una distribución sesgada hacia la izquierda, con un 47% de los individuos alcanzando alturas de entre 18-21 cm. En F3, la curva mantuvo la tendencia de F2, donde el sesgo persiste hacia la izquierda, con el 37% de la población alcanzando valores en el intervalo de 19-21 cm (Fig. 20).

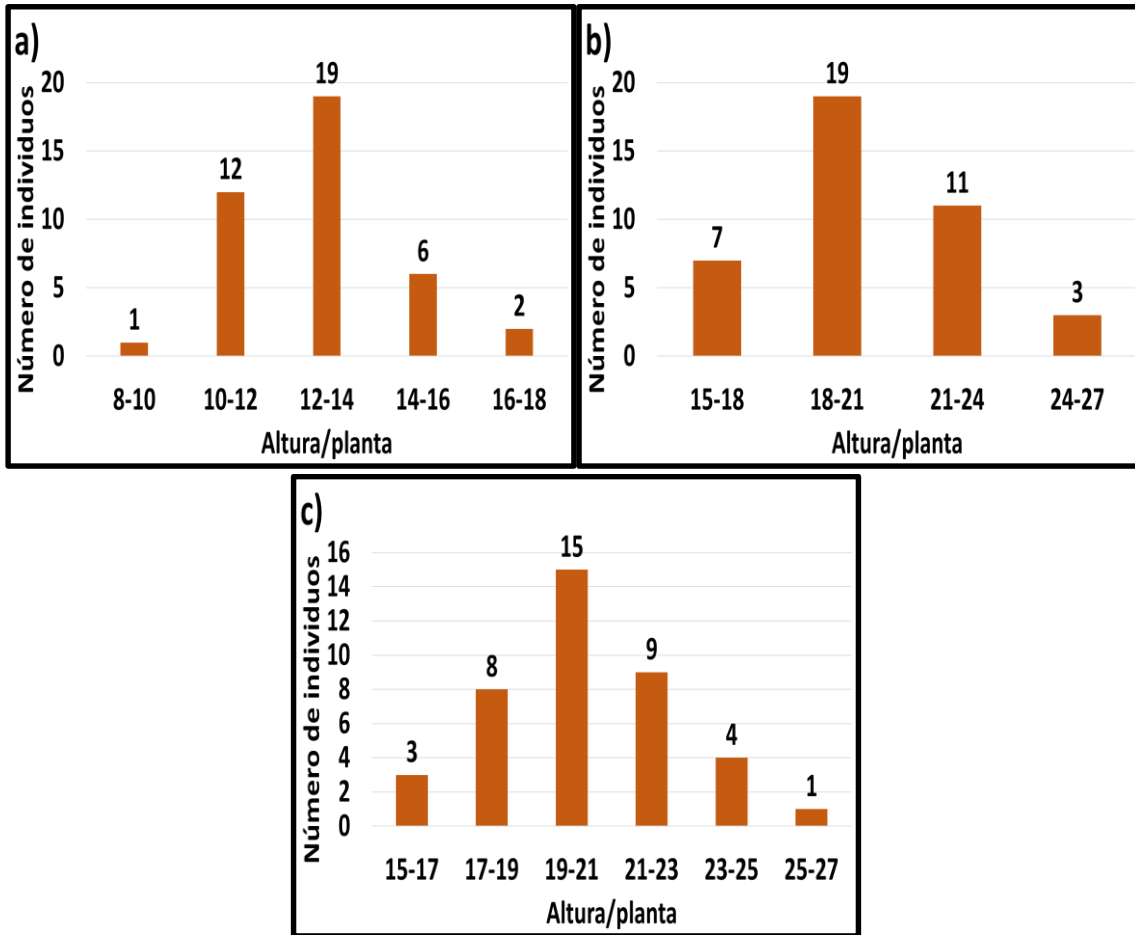


Figura 20. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Montes de Oca 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Comparación de la altura/planta entre poblaciones

La población MO registró los mayores valores de altura en las tres fechas evaluadas mientras que, LP mostró los segundos valores más altos en las tres fechas), sin presentar diferencias significativas con MO. La población MA presentó valores por debajo de los registrados en LP, aunque las diferencias no fueron significativas. Por último, PAT presentó los menores valores (Fig. 21).

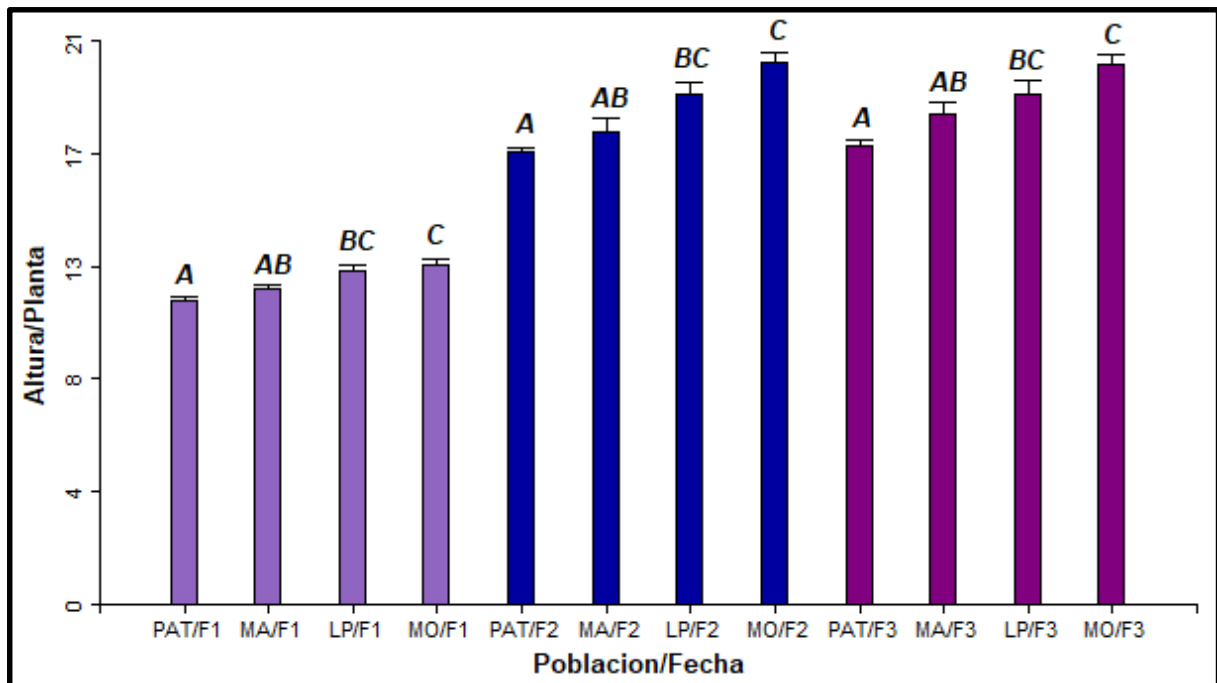


Figura 21. Comparación de altura promedio (cm; n=40) entre poblaciones 2022 de *Piptochaetium napostaense* en tres fechas de medición (F1, F2 y F3). MA: Médanos-Algarrobo. LP: La Pampa. PAT: Patagones. MO: Montes de Oca.

Distribución de macollos/planta en cuatro fechas de evaluación

a) Colecta 2021

Considerando las cuatro poblaciones, se observó una elevada variabilidad en tres de las cuatro fechas analizadas, siendo F1 la de menor variabilidad, con un promedio \pm D.E de $2,17 \pm 0,38$ y un CV de 17 %. Por otro lado, estos valores fueron de $9,4 \pm 4,3$ y 46 % en F2, $10,9 \pm 5$ y 46,5 % en F3 y, por último, $15,4 \pm 6,8$ y 44 %, en F4. Cabe destacar que, debido a la baja variabilidad observada, no se muestran los gráficos de distribución para la fecha 1.

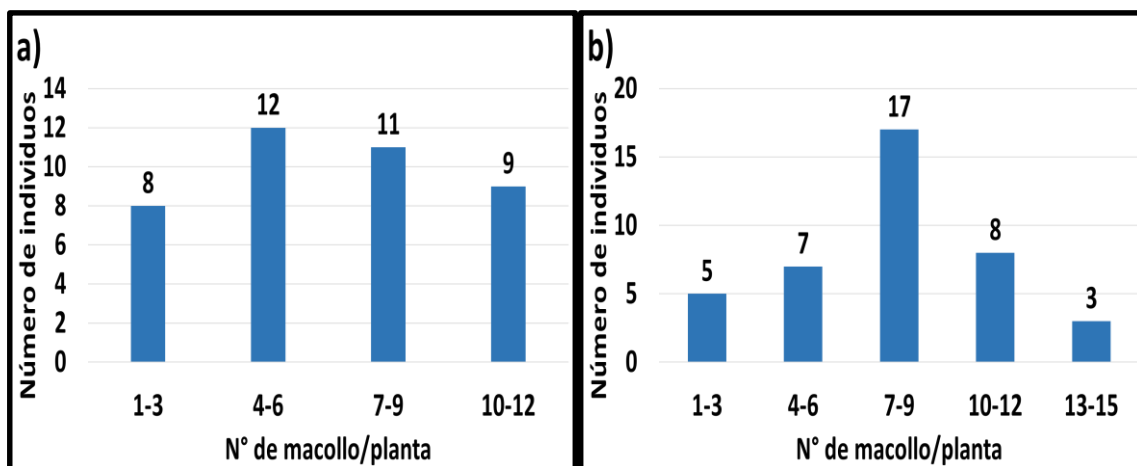
El N° de macollos/planta aumentó a lo largo del ensayo, con un valor mínimo de 1 y un máximo de 33 macollos/planta. Es importante mencionar que el valor mínimo se mantuvo a lo largo del ensayo debido a plantas que no prosperaron, representando un valor del 2,5 %. Por otro lado, el rango para los coeficientes de variación fue de 0-42 % (Tabla 3).

Tabla 3: Valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de altura/planta (n=40) de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2021 en cuatro fechas de muestreo. ALG: Algarrobo. BB: Bahía Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga.

	Población	Media (cm)	D.E.	CV	Min	Max
Fecha 1	ALG	2	0	0	2	2
	BB	2,43	0,5	20,64	2	3
	PC	2	0	0	2	2
	V	2,25	0,44	19,49	2	3
Fecha 2	ALG	10,45	4,55	43,5	1	18
	BB	12,74	3,63	28,49	3	21
	PC	7,68	2,97	38,64	1	13
	V	6,68	3,14	47,06	1	12
Fecha 3	ALG	13,3	5,32	39,97	1	22
	BB	14,21	4,94	34,79	3	26
	PC	8,61	2,76	32,05	3	14
	V	7,55	3,18	42,09	1	15
Fecha 4	ALG	20,37	6,86	33,68	3	33
	BB	17,67	5,85	33,12	3	28
	PC	13,82	4,71	34,05	5	25
	V	10,05	4,24	42,15	1	22

Población Villalonga

En cuanto a la población V, la distribución de los datos en F2 siguió una curva sigmoidea sesgada hacia la izquierda, con un 30% de la población concentrada en el rango de 4-6 macollos. Por el contrario, en F3 la curva mostró una distribución normal, donde el 42% de los individuos alcanzó entre 7-9 macollos. En F4, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 30% de la población en un rango de 10-12 macollos/planta (Fig. 22).



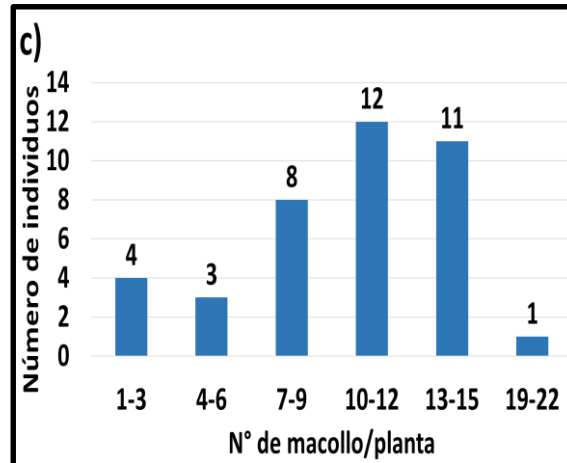
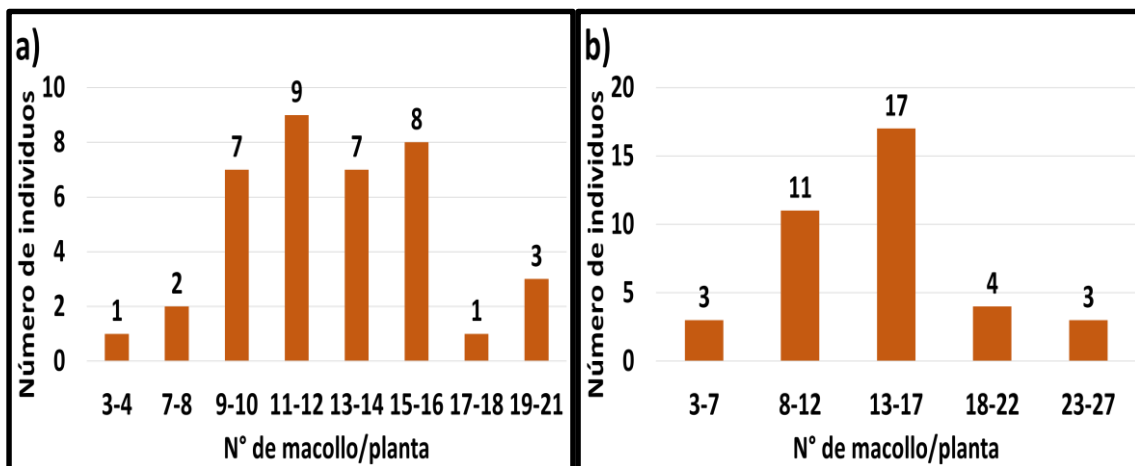


Figura 22. Distribución del número de individuos según intervalos de macollos/planta en *Piptochaetium napostaense* de la población Villalonga 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 2, b) Fecha 3 y c) Fecha 4.

Población Bahía Blanca

En la población BB, la distribución de los datos en F2 siguió una curva normal, con un 23% de la población concentrada en el rango de 11-12 macollos. En F3 la curva mostró una distribución normal, con un 44% de los individuos alcanzando entre 13-17 macollos. En F4, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 36% de la población con valores en el intervalo de 13-17 macollos (Fig. 23).



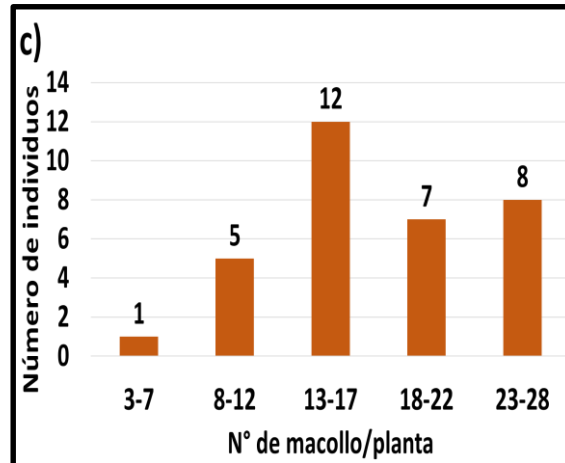
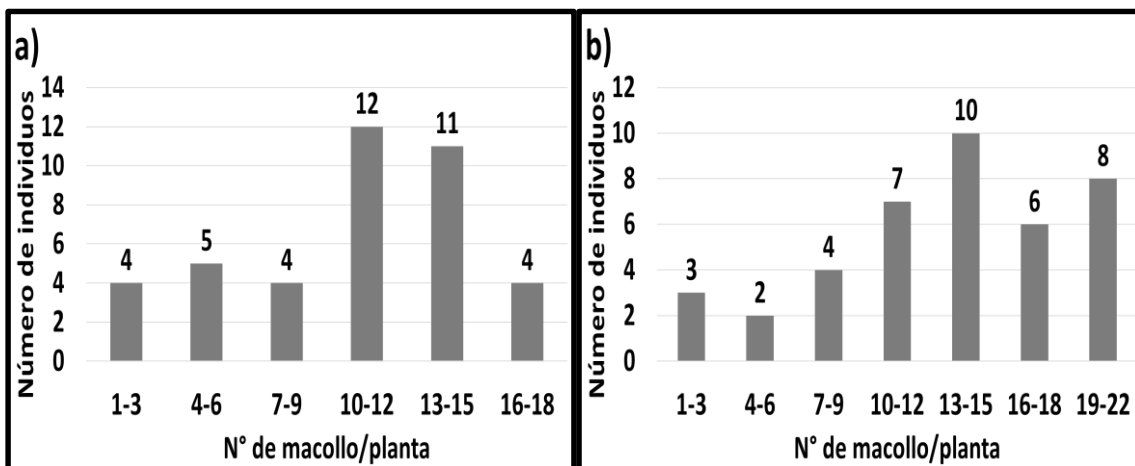


Figura 23. Distribución del número de individuos según intervalos de macollos/planta en *Piptochaetium napostaense* de la población Bahía Blanca 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 2, b) Fecha 3 y c) Fecha 4.

Población Algarrobo

En la población ALG la distribución de los datos en F2 siguió una curva sigmoidea sesgada hacia la derecha, con un 30% de la población concentrada en el rango de 10-12 macollos. En F3 la curva mostró la misma tendencia que en F2, con un 25% de los individuos alcanzando entre 13-15 macollos. En F4, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 36% de la población con valores en el intervalo de 18-22 macollos (Fig. 24).



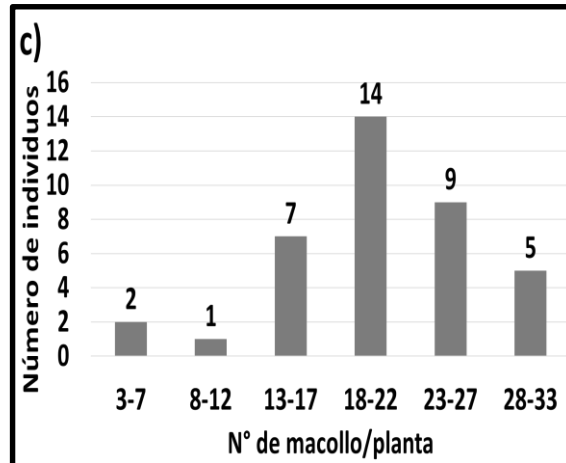
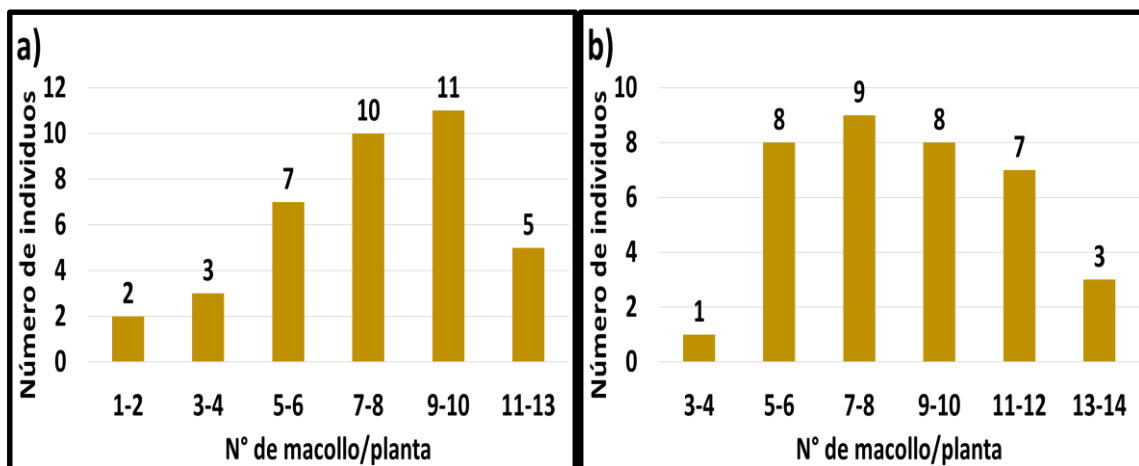


Figura 24. Distribución del número de individuos según intervalos de macollos/planta en *Piptochaetium napostaense* de la población Algarrobo 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 2, b) Fecha 3 y c) Fecha 4.a 4.

Población Patagones chacra

Para la población PC la distribución de los datos en F2 siguió una curva sigmoidea sesgada hacia la derecha, con un 28% de la población concentrada en el rango de 9-10 macollos. En F3 la curva mostró una distribución normal, donde el 25% de los individuos alcanzó entre 7-8 macollos. En F4, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 35% de la población con valores en el intervalo de 15-19 macollos (Fig. 25).



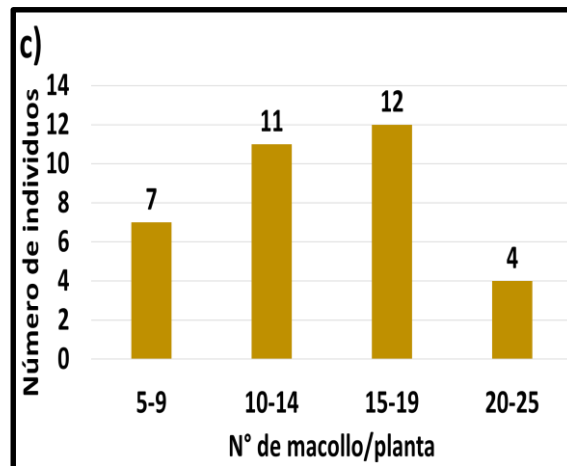


Figura 25. Distribución del número de individuos según intervalos de altura (cm) en *Piptochaetium napostaense* de la población Patagones chacra 2021, evaluada en invernáculo: a) Fecha 1, b) Fecha 2 y c) Fecha 3.

Comparación del N° de macollos por planta entre poblaciones

En la fecha inicial, las poblaciones BB y V registraron el mayor número de macollos/planta (Fig. 26), sin presentar diferencias significativas entre sí. Para F2, BB alcanzó el máximo número de macollos, seguida por ALG; en contraste, PC y V mostraron los registros más bajos, conformando un grupo estadísticamente homogéneo. En cuanto a F3 y F4, BB y ALG lideraron el número de macollos/planta sin diferencias significativas entre sí. En estas etapas finales, la población V obtuvo valores inferiores a PC, aunque dicha diferencia no fue estadísticamente significativa).

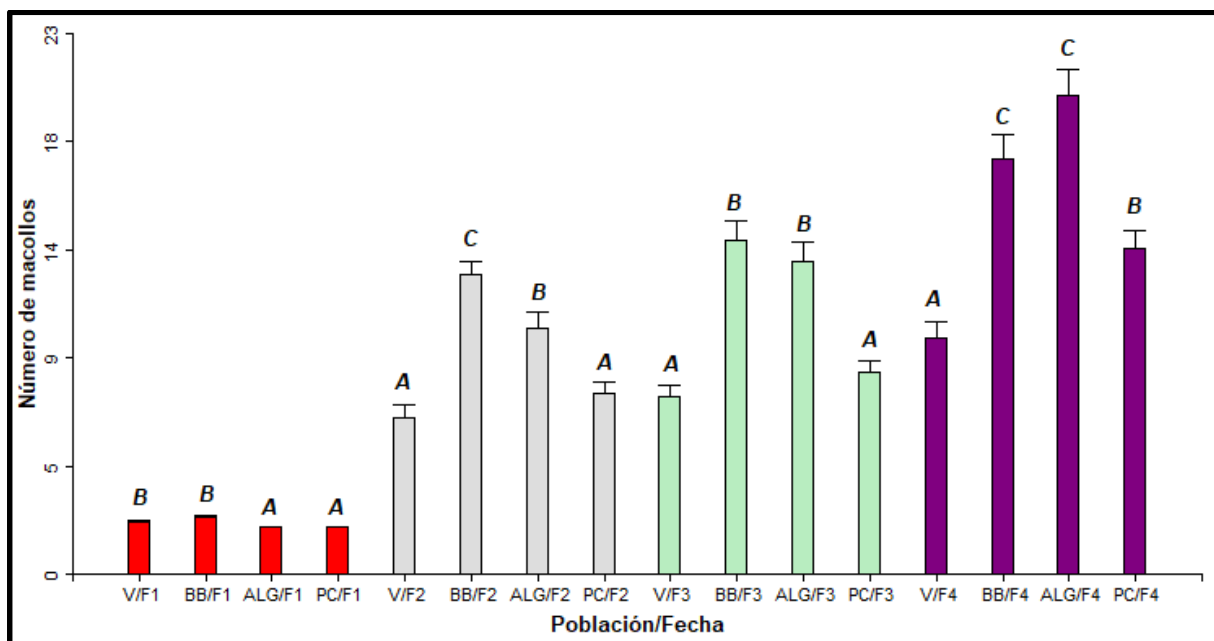


Figura 26. Comparación del número de macollos promedio (n=40) entre poblaciones 2021 de *Piptochaetium napostaense* en cuatro fechas de muestreo. ALG: Algarrobo. BB: Bahía

Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga. Dentro de cada fecha, letras distintas indican diferencias significativas entre poblaciones ($p < 0,05$).

b) Colecta 2022

Considerando las cuatro poblaciones, se observó nuevamente una elevada variabilidad en tres de las cuatro fechas analizadas, siendo F1 la de menor variabilidad, con un promedio \pm D.E de $2,5 \pm 0,5$ y un CV de 20 %. Por otro lado, estos valores fueron de $10,8 \pm 3,9$ y 36 % en F2, $14,4 \pm 5$ y 34 % en F3 y, por último, $18,5 \pm 6,6$ y 36 % en F4. Debido a la baja variabilidad observada, no se muestran los gráficos de distribución para la fecha 1.

El N° de macollos/planta aumentó a lo largo del ensayo, con un valor mínimo de 1 y un máximo de 36 macollos/planta. Es importante mencionar que el valor mínimo se mantuvo a lo largo del ensayo debido a plantas que no prosperaron, representando un valor del 2,5 %. Por otro lado, el rango para los coeficientes de variación fue de 7,81-45,83 % (Tabla 4).

Tabla 4. Valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos del número de macollos/planta ($n=40$) de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2022 en cuatro fechas de muestreo. LP: La Pampa. MA: Médanos-Algarrobo.

PAT: Patagones. MO: Montes de Oca.

	Población	Media (cm)	D.E.	CV	Min	Max
Fecha 1	LP	2,63	0,49	18,68	2	3
	MA	2,03	0,16	7,81	2	3
	MO	2,7	0,46	17,19	2	3
	PAT	2,5	0,51	20,25	2	3
Fecha 2	LP	12,08	3,96	32,81	2	24
	MA	7,54	3,34	44,29	1	14
	MO	11,73	3,73	31,85	1	18
	PAT	12,18	2,81	23,07	7	17
Fecha 3	LP	14,18	4,91	34,66	4	26
	MA	12,65	4,85	38,38	2	24
	MO	14,68	5,11	34,79	2	24
	PAT	15,8	4,37	27,65	9	28
Fecha 4	LP	17,95	5,43	30,24	4	28
	MA	15,84	7,26	45,83	1	32
	MO	21,35	6,98	32,67	4	36
	PAT	18,92	5,63	29,73	6	36

Población Patagones

La distribución de los datos en F2 siguió una curva normal, con un 23% de la población concentrada en el rango de 11-12 macollos. En F3 la curva mostró una distribución normal, con un 44% de los individuos alcanzando entre 13-17 macollos. En F4, la curva mantuvo una

tendencia normal, con el 36% de la población con valores en el intervalo de 13-17 macollos (Fig. 27).

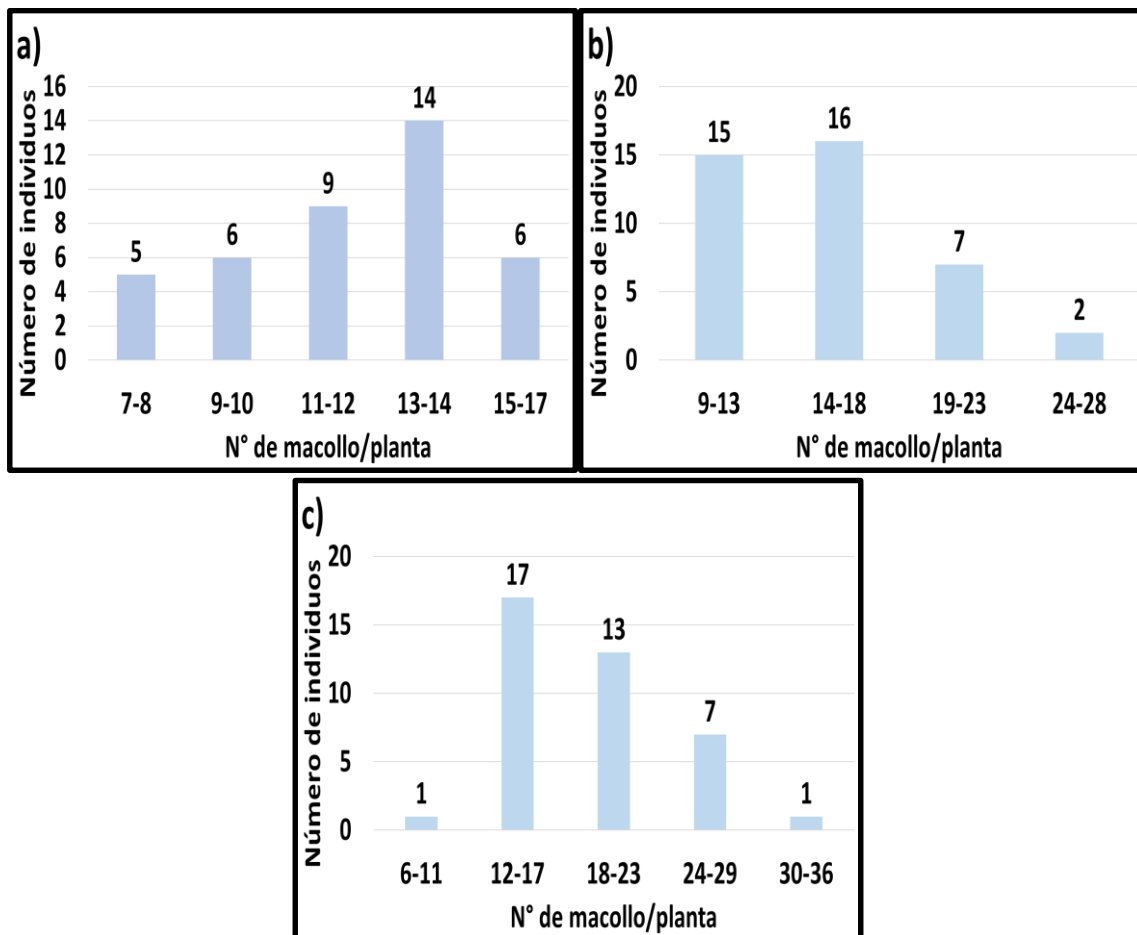


Figura 27. Distribución del número de individuos según intervalos de macollos/planta en *Piptochaetium napostaense* de la población Patagones 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 2, b) Fecha 3 y c) Fecha 4.

Población Médanos-Algarrobo

La distribución de los datos en F2 siguió una curva normal, con un 28% de la población concentrada en el rango de 7-8 macollos. En F3 la curva mostró una distribución normal, con un 42% de los individuos alcanzando entre 14-17 macollos. En F4, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 48% de la población con valores en el intervalo de 15-21 macollos (Fig. 28).

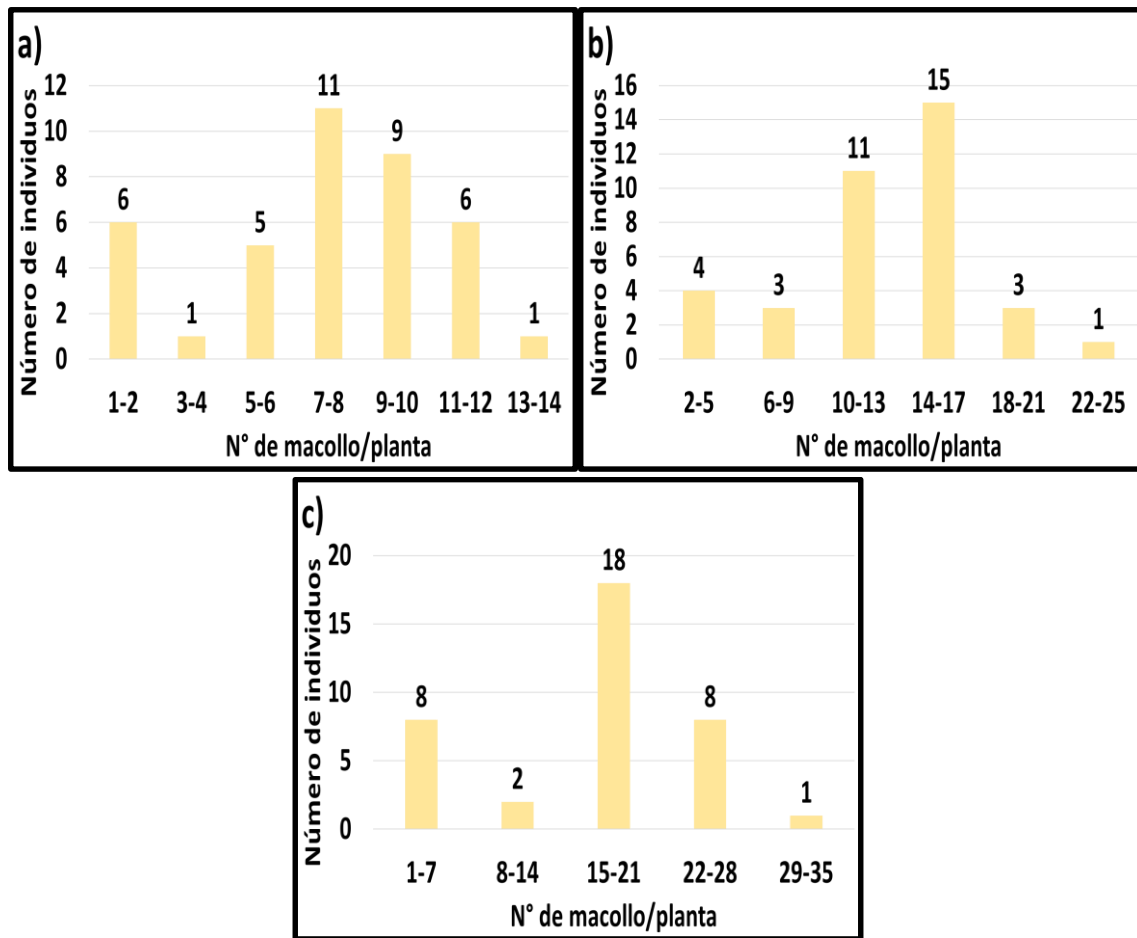


Figura 28. Distribución del número de individuos según intervalos de macollos/planta en *Piptochaetium napostaense* de la población Médanos-Algarrobo 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 2, b) Fecha 3 y c) Fecha 4.

Población La Pampa

La distribución de los datos en F2 siguió una curva normal, con un 41% de la población concentrada en el rango de 10-13 macollos. En F3 mostró una curva sesgada hacia la derecha, con un 25% de los individuos alcanzando entre 10-12 macollos. En F4, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 26% de la población con valores en el intervalo de 16-18 macollos (Fig. 29).

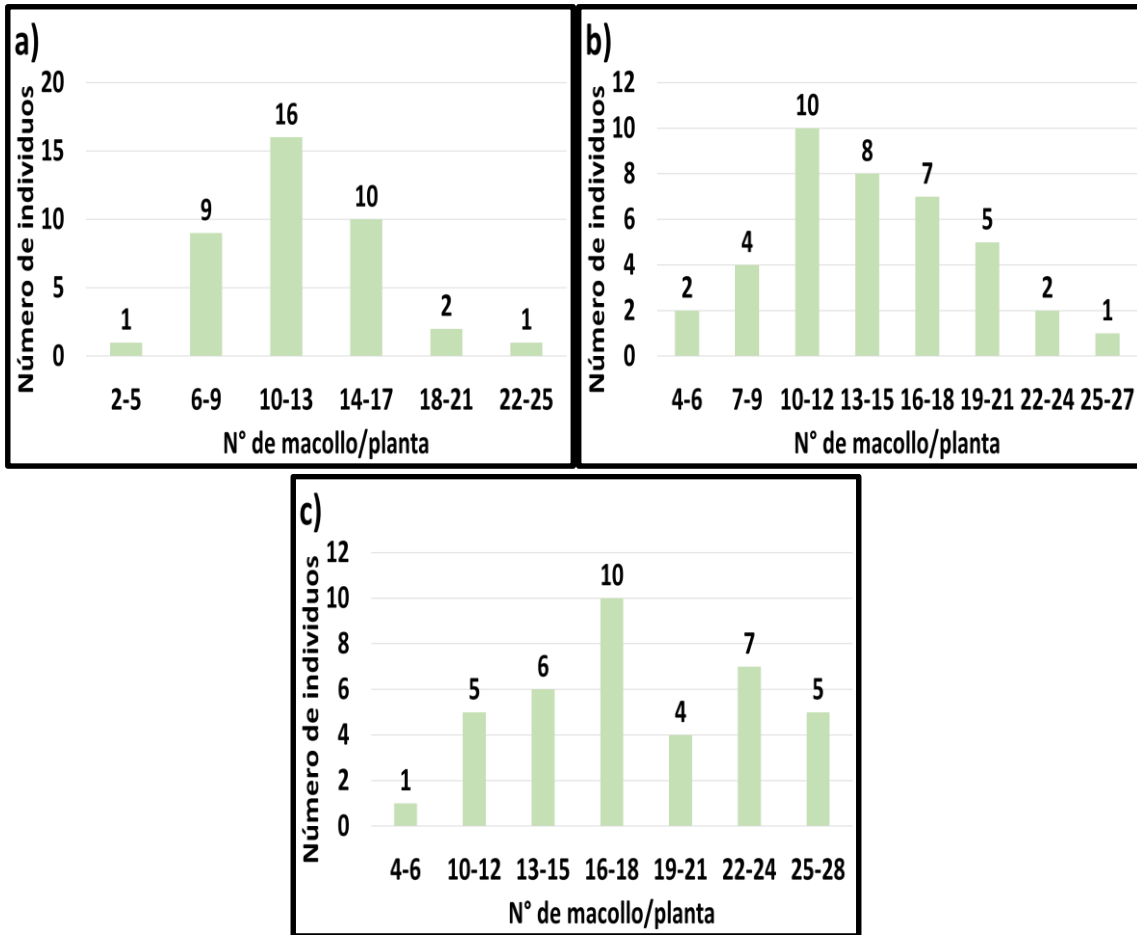


Figura 29. Distribución del número de individuos según intervalos de macollos/planta en *Piptochaetium napostaense* de la población La Pampa 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 2, b) Fecha 3 y c) Fecha 4.

Población Montes de Oca

La distribución de los datos en F2 siguió una curva sesgada hacia la derecha, con un 32% de la población concentrada en el rango de 10-12 macollos. En F3 la curva mostró una distribución normal, con un 35% de los individuos alcanzando entre 12-16 macollos. En F4, la curva mantuvo una tendencia normal, con el 40% de la población con valores en el intervalo de 19-23 macollos (Fig. 30).

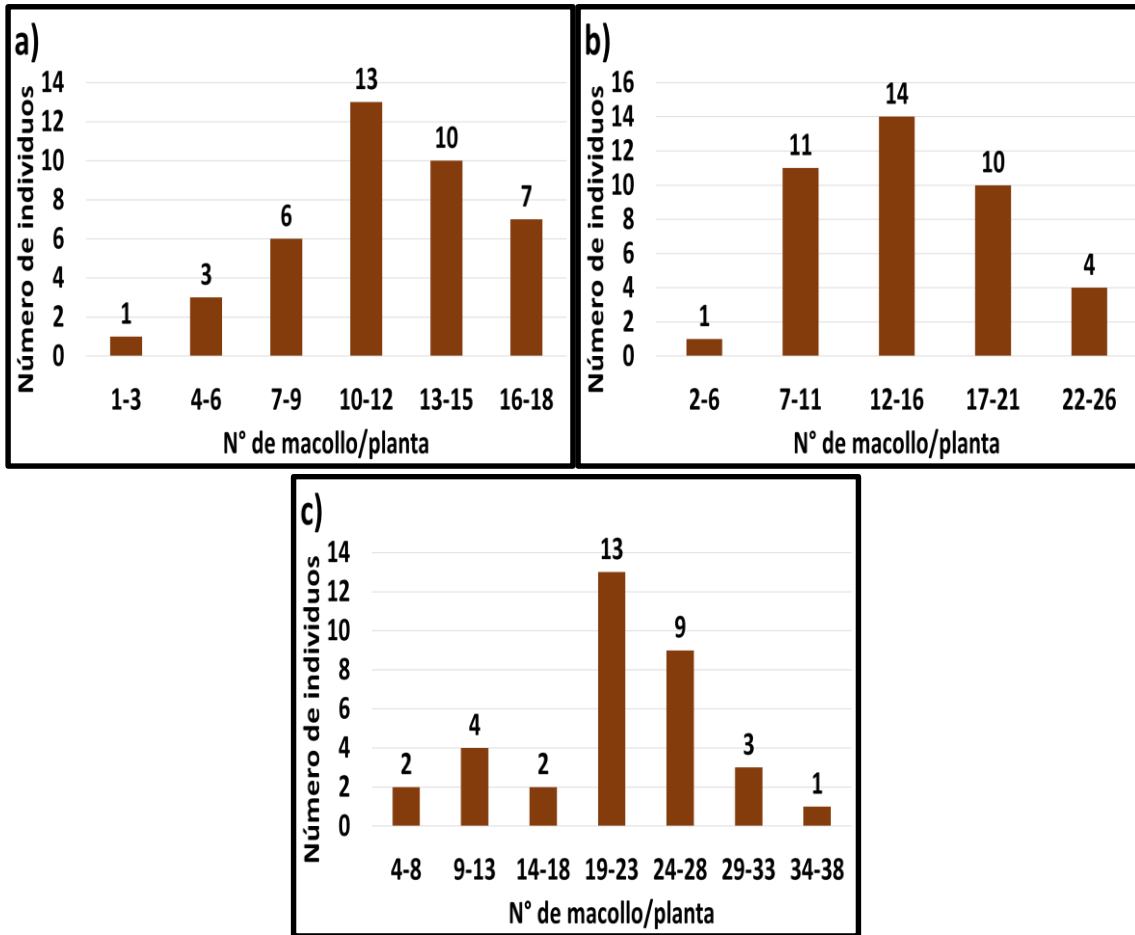


Figura 30. Distribución del número de individuos según intervalos de macollos/planta en *Piptochaetium napostaense* de la población Montes de Oca 2022, evaluada en invernáculo: a) Fecha 2, b) Fecha 3 y c) Fecha 4.

Comparación del N° de macollos por planta entre poblaciones

En F1 y F2, las poblaciones PAT, LP y MO registraron los mayores promedios (Fig. 31), sin diferencias significativas entre sí. En contraste, MA presentó los valores más bajos en ambas fechas. En F3, PAT alcanzó el valor más alto, diferenciándose significativamente del resto, seguida por LP y MO. Finalmente, en F4, MO destacó con el promedio más elevado, mientras que MA mantuvo la menor cantidad de macollos en todas las etapas.

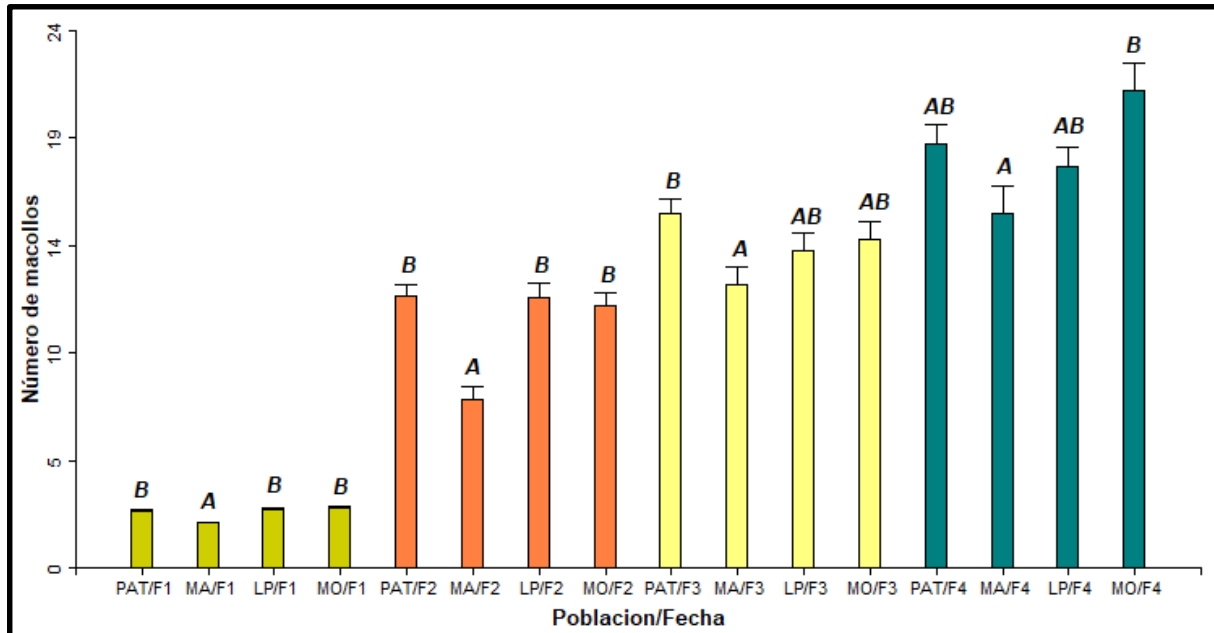


Figura 31. Comparación del número de macollos promedio (n=40) entre poblaciones 2022 de *Piptochaetium napostaense* en cuatro fechas de muestreo. MA: Médanos-Algarrobo. LP: La Pampa. PAT: Patagones. MO: Montes de Oca. Dentro de cada fecha, letras distintas indican diferencias significativas entre poblaciones ($p < 0,05$).

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran una marcada variabilidad en el crecimiento inicial entre las poblaciones de *Piptochaetium napostaense*, tanto en la altura de las plantas como en su capacidad de macollaje. En las poblaciones recolectadas en 2021, la población BB se destacó consistentemente en altura y número de macollos, mientras que, en aquellas recolectadas en 2022, la población MO lideró el desarrollo al finalizar el ensayo. Esta diferenciación fenotípica entre poblaciones provenientes de una misma región (Sudoeste Bonaerense) coincide con lo planteado por Porta Siota (2021), quien sostiene que la autogamia de la especie favorece la fijación de caracteres locales, generando una estructura poblacional con variabilidad genética entre sitios. Este patrón también ha sido documentado en otras gramíneas de ambientes semiáridos, donde las poblaciones pueden diferenciarse marcadamente debido a procesos de adaptación local y limitaciones en el flujo génico (Distel y Bóo, 1996; Busso y Fernández, 2018; Entío et al, 2021).

La altura de las plantas es un rasgo determinante para la competencia por la luz en las etapas iniciales del establecimiento. En comunidades de pastizales, una mayor altura permite a los individuos interceptar una mayor proporción de radiación y mejorar su desempeño competitivo frente a otras especies o individuos vecinos (Larcher, 2003; Distel y Bóo, 1996). En este sentido, las poblaciones BB y MO alcanzaron valores superiores a los 20

cm, superando significativamente a poblaciones como ALG o PAT. Según Careddu (2022), estas diferencias en el crecimiento temprano podrían estar vinculadas no sólo a la genética de la población, sino también al vigor de la semilla derivado de las condiciones ambientales del sitio de origen durante su maduración. Diversos estudios han señalado que el vigor de las semillas puede influir significativamente en el crecimiento inicial y en la supervivencia de las plántulas en gramíneas perennes (Soriano, 1960; Larcher, 2003).

En cuanto al macollaje, se observó una dinámica interesante: poblaciones como ALG, que presentaron menor altura, mostraron una alta tasa de producción de macollos hacia el final del ciclo (F4), igualándose con BB. Este comportamiento sugiere diferentes estrategias de asignación de recursos. El macollaje es un mecanismo de persistencia clave en gramíneas perennes del pastizal pampeano; al respecto, Busso et al. (2012) señalan que un mayor número de macollos incrementa la probabilidad de supervivencia ante el pastoreo o la sequía, al asegurar una mayor superficie fotosintética y yemas de reemplazo. Asimismo, el macollaje constituye un mecanismo fundamental de regeneración vegetativa y mantenimiento de la biomasa en gramíneas perennes de ambientes semiáridos (Distel y Bóo, 1996).

Finalmente, la variabilidad observada en este ensayo de invernáculo bajo condiciones controladas subraya la importancia de la selección del material de origen para la restauración ecológica. No todas las poblaciones responden de igual manera al establecimiento inicial; por lo tanto, para programas de recuperación de pastizales degradados, la elección de poblaciones con alto vigor inicial y capacidad de macollaje, como las identificadas en este estudio, podría garantizar un mayor éxito en la colonización del sitio (Porta Siota, 2025).

2. Ensayo a campo

a) Colecta 2021

Determinación de la altura/planta

Considerando las cuatro poblaciones, el crecimiento en altura mostró valores extremos que oscilaron entre un mínimo de 10,6 cm y un máximo de 41,5 cm, con una tendencia ascendente entre ambas fechas de muestreo, aunque con una marcada variabilidad individual (Tabla 5). En F1, el promedio fue de $19,62 \pm 4,42$ cm con un CV del 22,5 %. Para F2, la altura media se incrementó a $28 \pm 6,53$ cm, manteniendo un nivel de dispersión similar (CV: 23 %).

Tabla 5. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de altura/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2021, en dos fechas de muestreo. ALG: Algarrobo. BB: Bahía Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga.

	Población	Media (cm)	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
18-nov-23	ALG	18,38	4,43	24,1	11,5	29,4
	BB	21,52	5,22	24,24	10,6	30
	PC	18,92	3,76	19,86	13,8	25,3
	V	19,63	3,72	18,97	14,5	25,2
13-mar-24	ALG	27,79	3,37	12,12	22	35
	BB	30,58	7,36	24,07	18,5	41,5
	PC	26,5	6,23	23,53	16	39
	V	28,04	8,32	29,67	13,6	40

Determinación del N° de macollos/planta

La evaluación del N° de macollos/planta mostró una elevada variabilidad entre las cuatro poblaciones, con un promedio de $48,5 \pm 21$ y un CV de 43 %. El valor mínimo fue de 7 y el máximo de 112. Por otro lado, el rango para los coeficientes de variación fue de 38,91-47,98 % (Tabla 6).

Tabla 6. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de macollos/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2021. ALG: Algarrobo. BB: Bahía Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga.

	Población	Media	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
18-nov-23	ALG	54,87	21,35	38,91	20	112
	BB	47,8	22,94	47,98	11	75
	PC	39,79	16,66	41,89	15	67
	V	37	16,95	45,82	7	60

Determinación de la circunferencia/planta

La evaluación de este carácter para las cuatro poblaciones mostró un promedio de 9,76 cm \pm 3,7 y un CV de 37,7 %. A su vez, presentó un valor mínimo de 3 y un máximo de 21 cm. Por otro lado, el rango para los coeficientes de variación fue de 30,11-43,36 % (Tabla 7).

Tabla 7. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de circunferencia de corona/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2021. ALG: Algarrobo. BB: Bahía Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga.

	Población	Media (cm)	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
19-mar-24	ALG	11,21	4,06	36,21	4,5	21
	BB	11,36	3,51	30,91	7	19,7
	PC	9,08	2,73	30,11	4	14,4
	V	7,65	3,32	43,36	3	13,4

Determinación de la biomasa aérea/planta

La evaluación de la biomasa aérea aumentó a lo largo del período de estudio, con un valor mínimo de 0,1 g y un máximo de 20,32 g. Por otro lado, se observó un incremento entre las dos fechas analizadas. En F1, se registró un valor promedio de 2,9 g \pm 2,8, con un coeficiente de variación (CV) de 96,6 %, indicando una elevada variabilidad entre individuos. En F2, el promedio fue de 6,4 g \pm 5,4, con un CV de 85 %, manteniéndose una alta variabilidad, aunque levemente inferior a la observada en F1 (Tabla 8).

Tabla 8. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de biomasa aérea/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2021 en dos fechas de muestreo. ALG: Algarrobo. BB: Bahía Blanca. PC: Patagones chacra. V: Villalonga.

	Población	Media (g)	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
29-dic-23	ALG	3,19	2,06	64,59	0,1	7,4
	BB	4,39	4,36	99,33	0,14	17,1
	PC	2,4	2,09	87,12	0,3	8
	V	1,74	1,54	88,51	0,08	5,2
30-mar-24	ALG	6,53	4,25	65,11	1,34	14,97
	BB	8,28	6,86	82,91	1,7	20,32
	PC	5,11	4,3	84,19	0,19	16,37
	V	5,85	5,54	94,62	0,18	18,83

b) Colecta 2022

Determinación de la altura/planta

El crecimiento en altura en las cuatro poblaciones mostró valores extremos que oscilaron entre un mínimo de 9,7 cm y un máximo de 41 cm con una tendencia ascendente entre ambas fechas de muestreo, aunque con una marcada variabilidad individual (Tabla 9). En F1, el promedio fue de $19,2 \pm 4,7$ cm, con un CV del 24,4 %. Para F2, la altura media se incrementó a $29,9 \pm 5,4$ cm, manteniendo un nivel de dispersión similar (CV: 23 %) (Tabla 9).

Tabla 9. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de la altura/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2022 en dos fechas de muestreo. LP: La Pampa, . MA: Médanos-Algarrobo. MO: Montes de Oca. PAT: Patagones.

	Población	Media (cm)	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
18-nov-23	LP	20,01	5,63	28,12	10,5	29,8
	MA	19,68	4,67	23,73	11,5	27,6
	MO	19,79	3,94	19,92	13	29,3
	PAT	17,46	4,35	24,92	9,7	26
13-mar-24	LP	30,02	7,16	23,84	14	41
	MA	21,34	4,67	14,89	23,5	41
	MO	30,39	4,6	15,15	22	38
	PAT	27,9	5,37	19,25	19	38

Determinación del N° de macollos/planta

La evaluación del N° de macollos/planta mostró una elevada variabilidad, con un promedio de $51,54 \pm 21$ y un CV de 41,6 %. El valor mínimo fue de 10 y el máximo de 102 macollos/planta. Por otro lado, el rango para los coeficientes de variación fue de 36,13-43,48 % (Tabla 10).

Tabla 10. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos del número de macollos/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2022. LP: La Pampa, . MA: Médanos-Algarrobo. MO: Montes de Oca. PAT: Patagones.

	Población	Media	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
18-nov-23	LP	44,87	19,51	43,48	11	71
	MA	50,47	20,59	40,79	10	102
	MO	48,36	17,47	36,13	20	85
	PAT	62,27	25,23	40,52	15	102

Determinación de la circunferencia/planta

La evaluación de este carácter mostró un promedio de 11,287 cm \pm 3,28 y un CV de 29 %. A su vez, presentó un valor mínimo de 3 y un máximo de 18 cm. Por otro lado, el rango para los coeficientes de variación fue de 21,32-34,63 % (Tabla 11).

Tabla 11. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos de la circunferencia/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2022. LP: La Pampa. MA: Médanos-Algarrobo. MO: Montes de Oca. PAT: Patagones.

	Población	Media (cm)	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
19-mar-24	LP	10,47	3,63	34,63	3	14,9
	MA	11,72	3,42	29,21	7	18
	MO	10,44	3,3	31,58	5	16,5
	PAT	12,48	2,66	21,32	6	15,2

Determinación de la biomasa aérea/planta

Se observó un incremento en la biomasa aérea a lo largo del ensayo, con un valor mínimo de 0,05 g y un máximo de 24,39 g. En F1, se registró un valor promedio de 3,34 g \pm 2, con un coeficiente de variación (CV) de 61 %, indicando una elevada variabilidad entre individuos. En F2, el promedio fue de 8,2 g \pm 5,4, con un CV de 66 %, manteniéndose una alta variabilidad (Tabla 12).

Tabla 12. Valores promedio, desvío estándar, coeficiente de variación (CV), mínimos y máximos la biomasa aérea/planta (n=3), de las poblaciones de *Piptochaetium napostaense* 2022 en dos fechas de muestreo. LP: La Pampa. MA: Médanos-Algarrobo. MO: Montes de Oca. PAT: Patagones.

	Población	Media (g)	D.E.	C.V.	Mín.	Máx.
29-dic-23	LP	3,28	2,68	81,82	0,05	10,7
	MA	4,04	1,69	41,71	1,4	6,5
	MO	3,05	2	65,73	0,12	7,2
	PAT	3,05	1,76	57,55	0,4	7,7
30-mar-24	LP	7,27	6,58	90,53	0,28	24,39
	MA	8,94	5,4	60,38	2,66	22,57
	MO	8,73	5,95	68,16	0,77	18,73
	PAT	7,53	3,87	51,37	1,98	15,38

Comparación entre poblaciones de las variables registradas a campo

Altura/planta

Si bien se registraron valores ligeramente superiores en BB, LP, MA, MO y V, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las ocho poblaciones evaluadas en ninguna de las dos fechas de muestreo (Fig. 32 y 33).

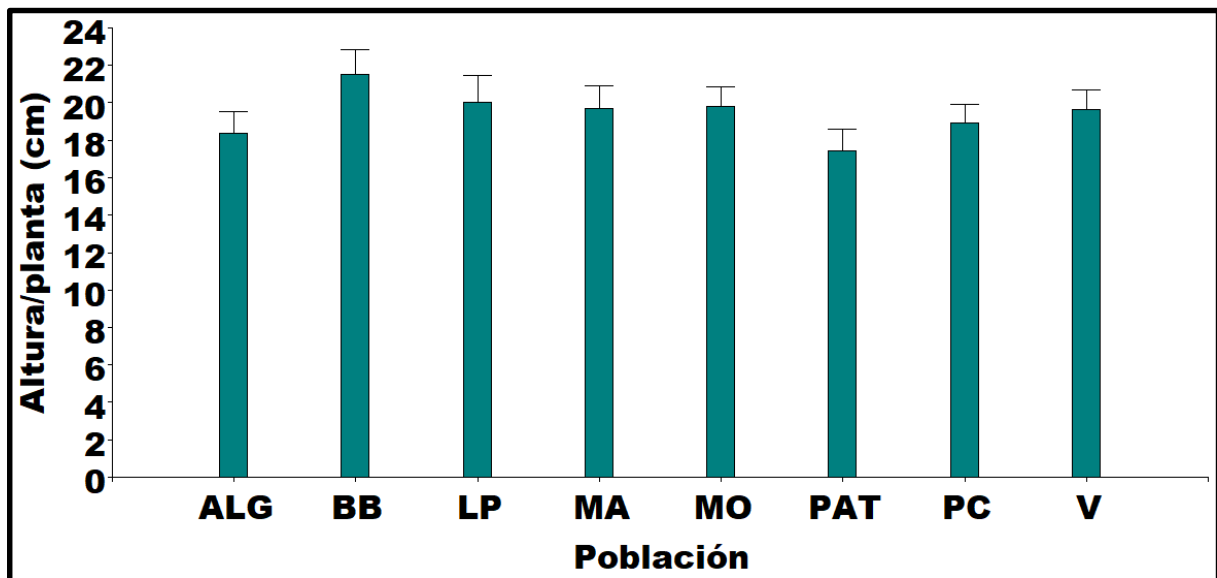


Figura 32. Comparación de la altura/planta (promedio + E.E., $n=3$) de poblaciones de *Piptochaetium napostaense* en la primera fecha de medición. ALG: Algarrobo, BB: Bahía Blanca, LP: La Pampa, MA: Médanos-Algarrobo, MO: Montes de Oca, PAT: Patagones, PC: Patagones chacra. V: Villarino. La ausencia de letras indica que no existen diferencias significativas entre poblaciones ($p > 0,05$).

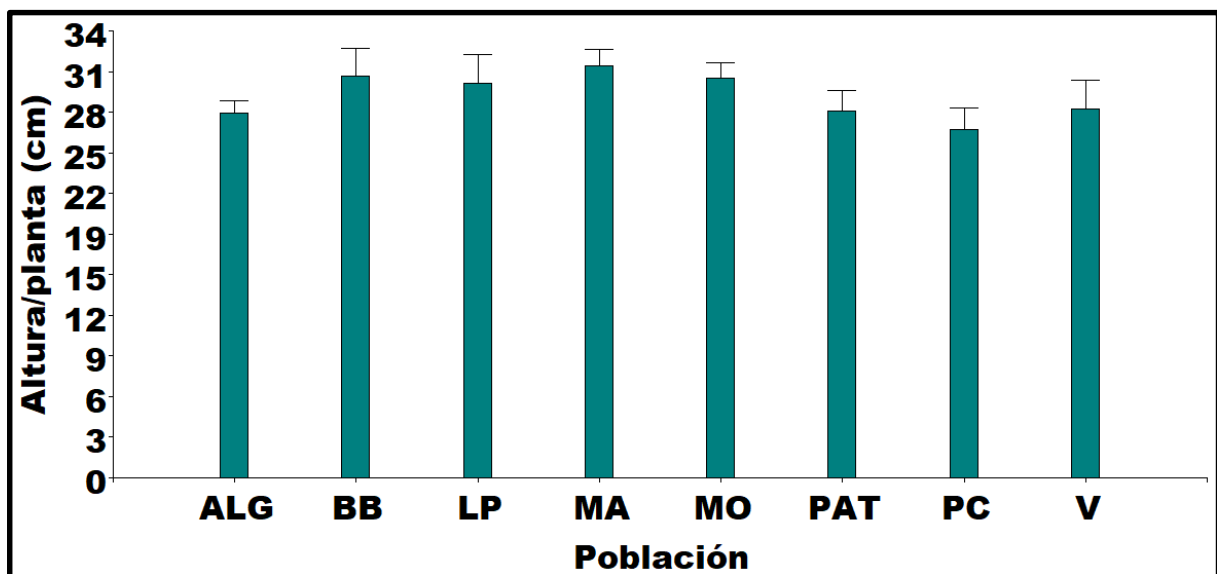


Figura 33. Comparación de la altura/planta (promedio + E.E., $n=3$) de poblaciones de *Piptochaetium napostaense* en la segunda fecha de medición. ALG: Algarrobo, BB: Bahía Blanca, LP: La Pampa, MA: Médanos-Algarrobo, MO: Montes de Oca, PAT: Patagones, PC: Patagones chacra. V: Villarino. La ausencia de letras indica que no existen diferencias significativas entre poblaciones ($p > 0,05$).

Patagones chacra. V: Villarino. La ausencia de letras indica que no existen diferencias significativas entre poblaciones $p > 0,05$).

N° de macollos/planta

El análisis reveló diferencias significativas entre las poblaciones evaluadas ($p < 0,05$), identificando a PAT como la población con el mayor desempeño, alcanzando un promedio superior a 60 macollos. Este valor fue significativamente superior a los registrados por las poblaciones PC y V, las cuales tuvieron el menor valor para esta variable. Por su parte, la población ALG compartió el grupo de mayor promedio con PAT, aunque sin diferenciarse estadísticamente del resto de las poblaciones, salvo PC y V. Las poblaciones MA, MO, BB y LP no se diferenciaron significativamente ni del grupo superior ni del inferior (Fig. 34).

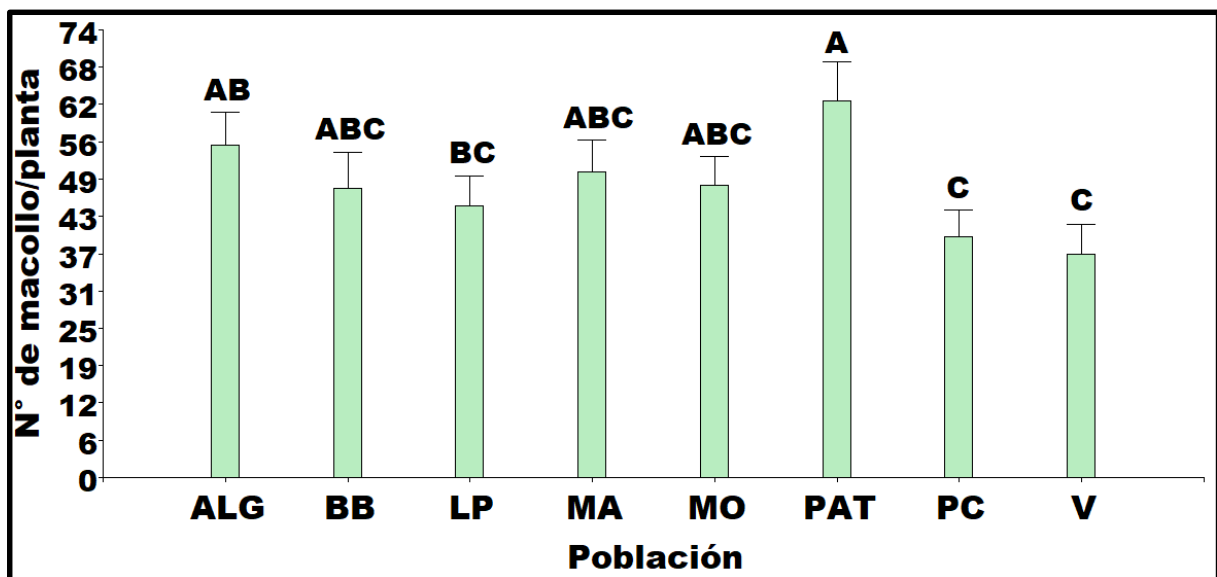


Figura 34. Comparación del N° de macollas/planta (promedio + E.E., $n=3$) de poblaciones de *Piptochaetium napostaense*. ALG: Algarrobo, BB: Bahía Blanca, LP: La Pampa, MA: Médanos-Algarrobo, MO: Montes de Oca, PAT: Patagones, PC: Patagones chacra. V: Villarino. Letras distintas indican diferencias significativas entre poblaciones ($p < 0,05$).

Circunferencia/planta

La comparación entre poblaciones arrojó resultados significativos ($p < 0,05$). Las poblaciones PAT y MA registraron los mayores promedios, liderando el grupo con mayor desarrollo basal, sin embargo, solo se diferenciaron estadísticamente de PC y V (Fig. 35). Por su parte, las poblaciones BB, ALG, LP y MO conformaron un grupo de valores intermedios, sin diferencias significativas con el grupo superior, pero tampoco con el resto, salvo V.

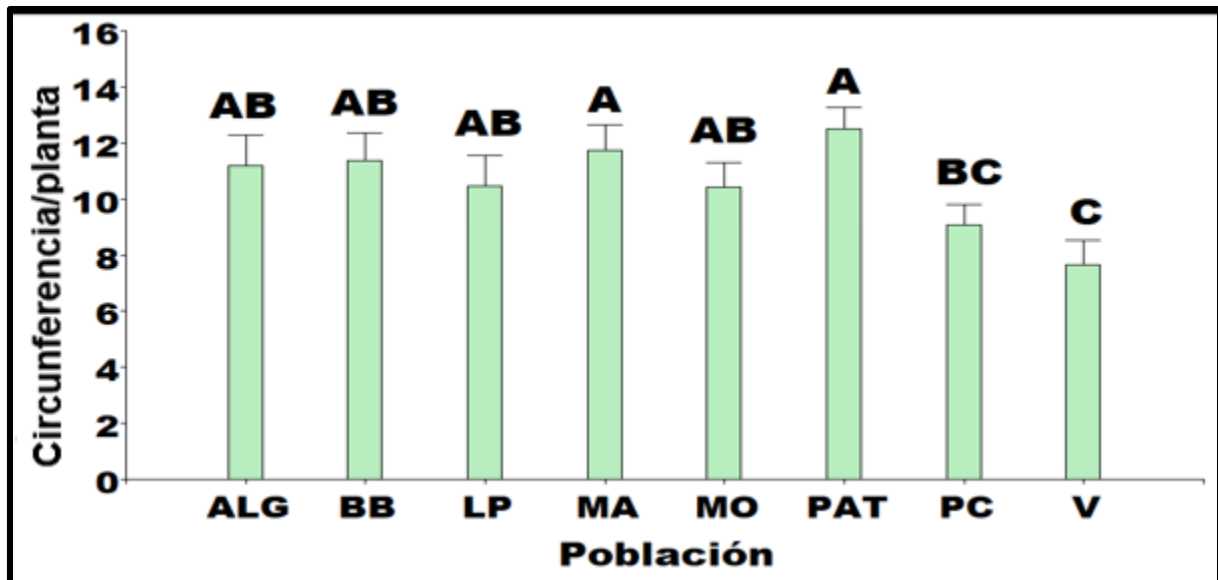


Figura 35. Comparación de la circunferencia/planta (promedio + E.E., n=3) de poblaciones de *Piptochaetium napostaense*. ALG: Algarrobo, BB: Bahía Blanca, LP: La Pampa, MA: Médanos-Algarrobo, MO: Montes de Oca, PAT: Patagones, PC: Patagones chacra. V: Villarino. Letras distintas indican diferencias significativas entre poblaciones ($p < 0,05$).

Biomasa aérea/planta

La comparación entre poblaciones arrojó resultados significativos ($p < 0,05$) únicamente en la primera fecha de muestreo (Fig. 36). Las poblaciones BB y MA registraron los mayores promedios, aunque no se diferenciaron del resto de las poblaciones, salvo de V. En el extremo opuesto, la población V presentó un bajo desarrollo, diferenciándose significativamente solo de las poblaciones BB y MA. Nuevamente, las poblaciones LP, PAT, ALG, MO y PC conformaron un grupo de valores intermedios, no mostrando diferencias significativas con el grupo superior pero tampoco con el inferior, sin embargo, en la segunda fecha de evaluación, aunque se evidencia una tendencia similar, las diferencias entre poblaciones no fueron significativas ($p > 0,05$; Fig. 36).

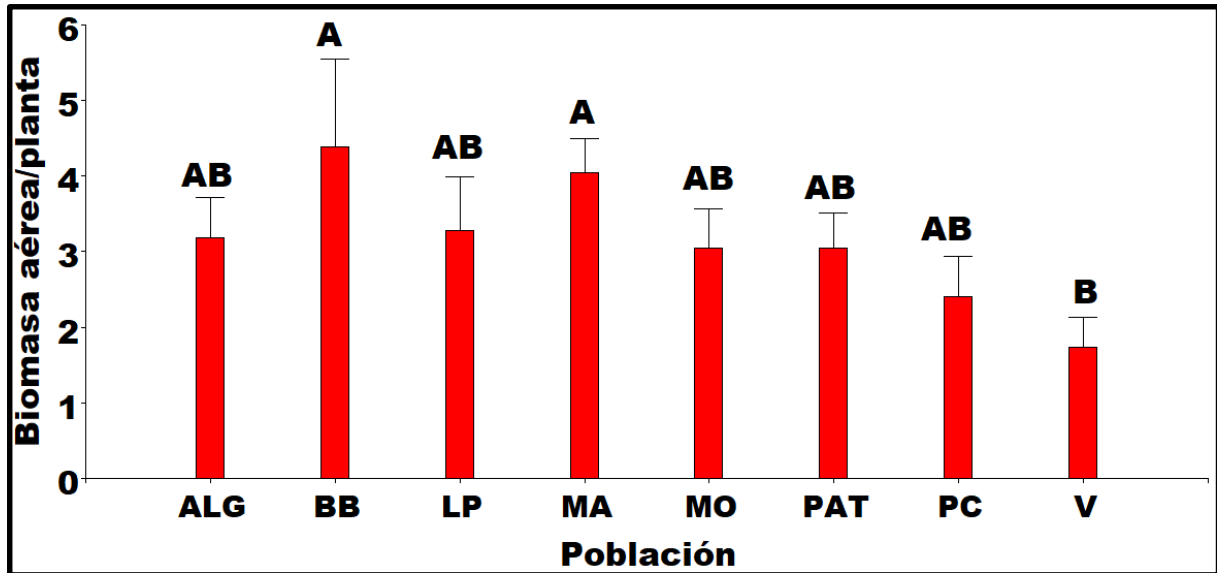


Figura 36. Comparación de la biomasa aérea/planta (promedio + E.E., n=3) de poblaciones de *Piptochaetium napostaense* en la primera fecha de medición. ALG: Algarrobo, BB: Bahía Blanca, LP: La Pampa, MA: Médanos-Algarrobo, MO: Montes de Oca, PAT: Patagones, PC: Patagones chacra. V: Villarino. Letras distintas indican diferencias significativas entre poblaciones ($p < 0,05$).

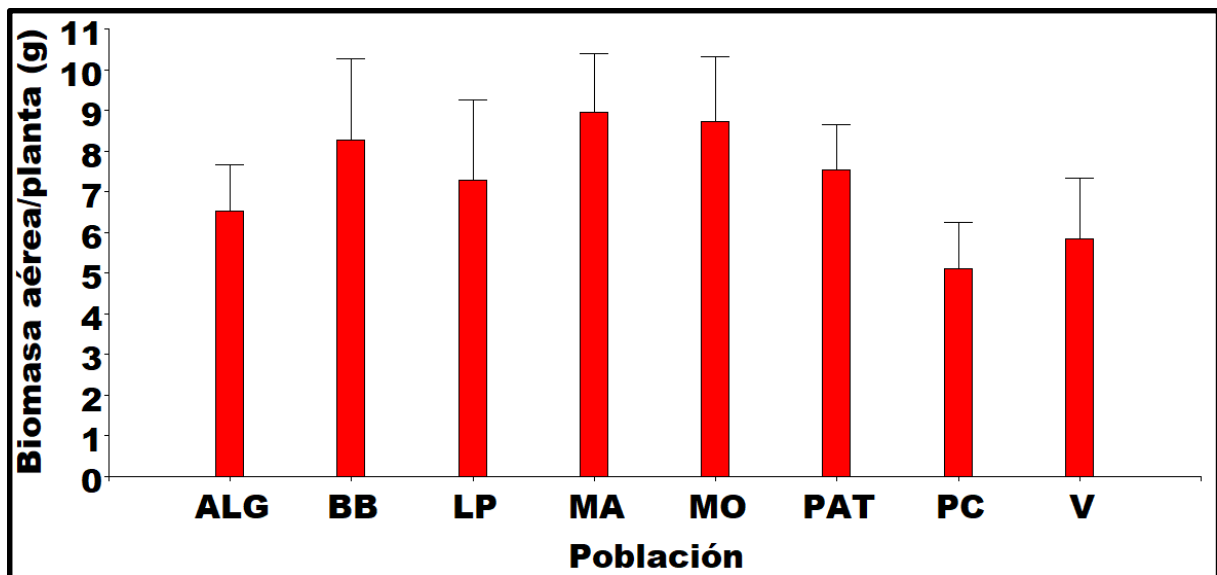


Figura 37. Comparación de la biomasa aérea/planta (promedio + E.E., n=3) de poblaciones de *Piptochaetium napostaense* en la segunda fecha de medición. ALG: Algarrobo, BB: Bahía Blanca, LP: La Pampa, MA: Médanos-Algarrobo, MO: Montes de Oca, PAT: Patagones, PC: Patagones chacra. V: Villarino. La ausencia de letras indica que no existen diferencias significativas entre poblaciones ($p > 0,05$).

Análisis de componentes principales por poblaciones

El análisis de componentes principales explicó el 98,5 % de la variación total, siendo el CP1 responsable del 50,3 % y el CP2 del 48,2 %, lo que indica una adecuada representación de la variabilidad. El CP1 se asoció positivamente con la biomasa aérea y la altura de planta, mientras que el N° de macollos presentó una contribución menor sobre este

eje. En consecuencia, las poblaciones ubicadas hacia valores positivos del CP1 se caracterizaron por mayores valores de biomasa y altura. El CP2, por su parte, mostró una asociación positiva con el número de macollos y negativa con la altura de planta, diferenciando poblaciones con mayor macollaje de aquellas con mayor crecimiento en altura.

En el biplot se observó que la población BB se ubicó en el cuadrante positivo del CP1, asociada principalmente a mayores valores de biomasa aérea y altura. Por su parte, la población MA también se posicionó en valores positivos del CP1, aunque más cercana al origen, indicando valores intermedios de biomasa y altura.

La población PAT se distinguió por presentar valores positivos en el CP2, en asociación con un mayor número de macollos. En contraste, las poblaciones V y PC se ubicaron en el cuadrante negativo del CP2, vinculadas a menores valores de macollaje y altura.

Las poblaciones MO y LP se posicionaron próximas al origen del gráfico, lo que indica valores intermedios para las tres variables evaluadas y una menor diferenciación multivariada respecto del resto. El análisis multivariado confirmó las tendencias observadas en el ANOVA, mostrando una estructura de variación coherente entre ambos enfoques.

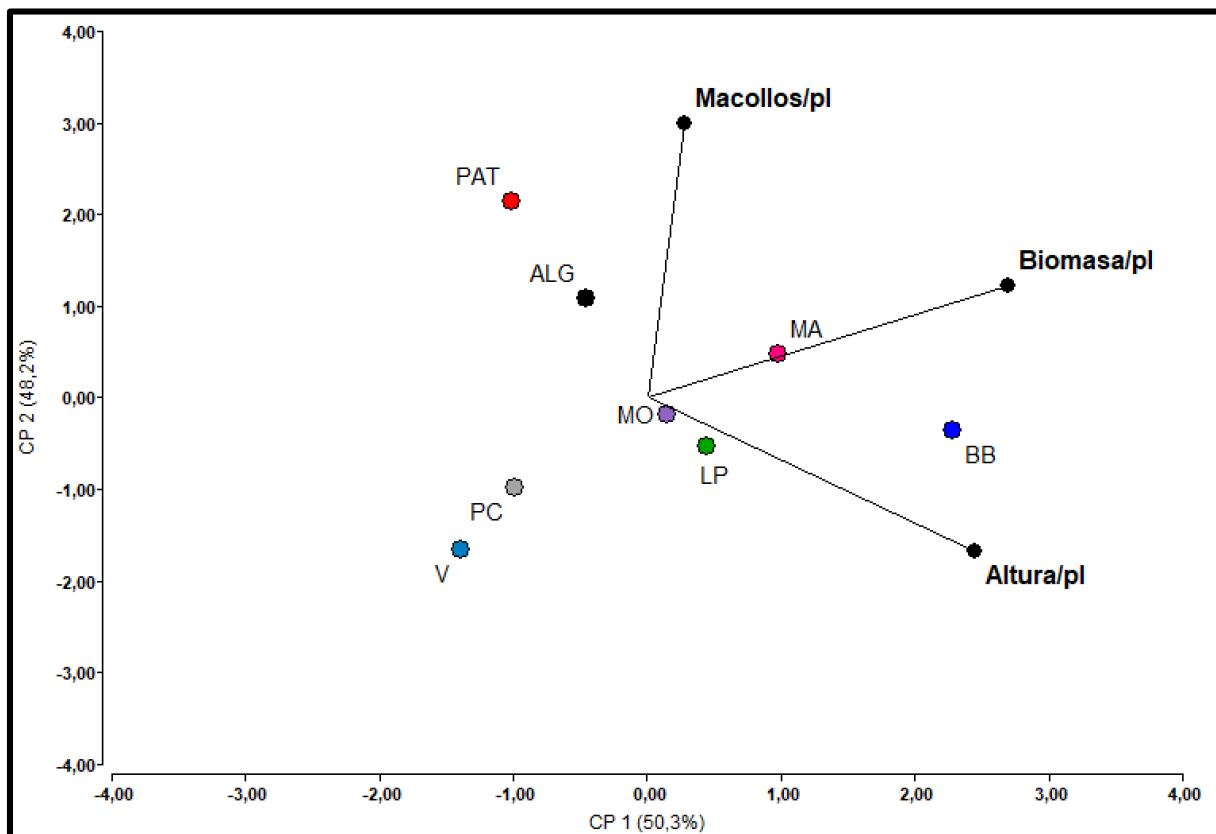


Figura 38. Biplot del análisis de componentes principales (ACP) realizado a partir de los valores medios por población para las variables altura de planta, N° de macollos y biomasa aérea en *Piptochaetium napostaense*. Los vectores representan la contribución de las variables a los componentes principales y los puntos corresponden a las poblaciones

evaluadas. ALG: Algarrobo, BB: Bahía Blanca, LP: La Pampa, MA: Médanos-Algarrobo, MO: Montes de Oca, PAT: Patagones, PC: Patagones chacra. V: Villarino.

Si bien el análisis a nivel de poblaciones permitió identificar tendencias generales en la asociación entre biomasa, altura y número de macollos, el grado de proximidad de varias poblaciones al origen del biplot sugiere la existencia de una variabilidad considerable dentro de ellas. En este contexto, el análisis de componentes principales a nivel individual resulta necesario para explorar la amplitud de dicha variación y detectar posibles patrones intrapoblacionales que no se evidencian al trabajar con valores promedio. Este enfoque permite evaluar la dispersión de los individuos en el espacio multivariado y reconocer genotipos con combinaciones particulares de caracteres de interés.

Análisis de componentes principales por individuos

Los dos primeros componentes principales explicaron en conjunto el 87,7 % de la variación total de los datos, siendo el CP1 responsable del 62,7 % y el CP2 del 25,0 %, lo que indica que el plano bidimensional representa adecuadamente la estructura multivariada (Fig. 39).

El CP1 se asoció positivamente con las tres variables, con una mayor contribución de la biomasa aérea/planta. Por su parte, el CP2 mostró una asociación positiva con el número de macollos/pl, negativa con la altura/pl y baja contribución de la biomasa/pl. Este eje refleja principalmente un gradiente que diferencia individuos con mayor capacidad de macollaje de aquellos con mayor crecimiento en altura.

El biplot de individuos evidenció una amplia dispersión, indicando variabilidad fenotípica en los tres caracteres evaluados. Los individuos ubicados hacia valores positivos del CP1 correspondieron a plantas de mayor biomasa y altura, mientras que aquellos con valores altos en el CP2 presentaron mayor número de macollos.

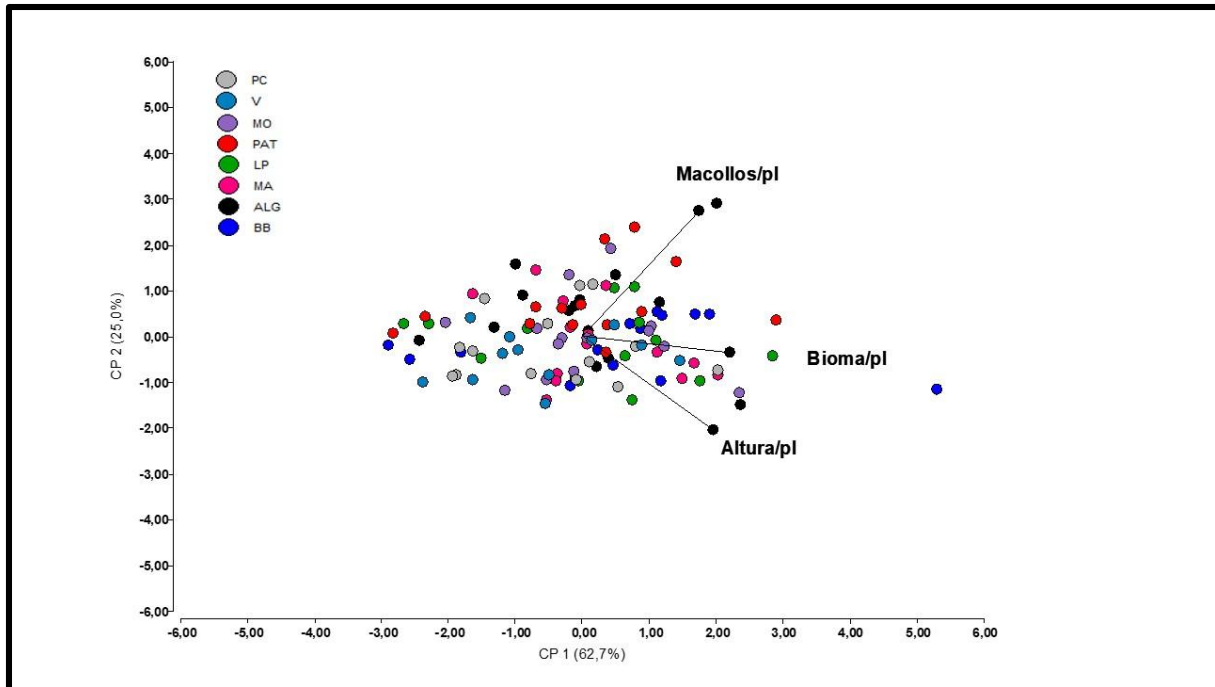


Figura 39. Biplot del análisis de componentes principales (ACP) realizado a nivel individual utilizando las variables altura de planta, número de macollos y biomasa aérea en *Piptochaetium napostaense*. Los vectores indican la contribución de cada variable y los puntos representan los individuos evaluados.

Discusión

El análisis de las variables morfológicas revela una marcada variabilidad intraespecífica en *Piptochaetium napostaense*, lo cual coincide con lo expuesto por Careddu (2025), quien sostiene que las poblaciones de esta especie provenientes de distintos puntos del área pampeana y de transición presentan adaptaciones fenotípicas contrastantes. En este sentido, diversos estudios han demostrado que la especie presenta una importante variabilidad entre poblaciones en atributos clave como semillas, germinación y establecimiento, lo que refuerza la existencia de diferencias funcionales entre genotipos (Porta Siota et al., 2025).

En este estudio, las poblaciones PAT y MA demostraron una capacidad superior de ocupación del espacio, liderando el desarrollo de corona y el número de macollos. El hecho de que PAT haya registrado el mayor promedio de macollos es un indicador clave para la restauración, ya que, como señalan Porta Siota et al. (2021), un mayor macollaje inicial no solo asegura la persistencia del ejemplar ante el estrés ambiental, sino que acelera la cobertura del suelo desnudo, limitando la erosión y la invasión de especies exóticas. Por el contrario, el bajo desempeño de la población V, en todas las variables (diámetro, macollos y biomasa), sugiere que este genotipo podría tener una menor aptitud competitiva o una tasa de crecimiento más lenta en las condiciones de campo evaluadas.

El ACP permitió sintetizar la variación multivariada en dos ejes principales, destacando a la biomasa y la altura como los atributos de mayor peso en la diferenciación general, y al número de macollos como un rasgo clave en la estructura de las plantas. A nivel poblacional, se identificaron tendencias generales en los valores medios de los caracteres, mientras que la dispersión observada en el biplot evidencia la coexistencia de variabilidad tanto inter como intrapoblacional.

A nivel individual, esta variabilidad se expresa en la presencia de individuos ubicados en los extremos de los ejes principales, asociados a combinaciones contrastantes de biomasa, altura y macollaje que no se reflejan completamente en los promedios poblacionales. Este patrón resalta la importancia de la variación intrapoblacional en etapas tempranas de evaluación, constituyendo la base para la selección de materiales con atributos agronómicos diferenciales. Desde una perspectiva aplicada, estos resultados adquieren relevancia en el marco de la selección de germoplasma para la domesticación incipiente de *P. napostaense*. La elección del origen del material vegetal y la variabilidad genética asociada han sido señaladas como factores determinantes del éxito, dado que influyen directamente sobre la supervivencia y el desempeño de las plantas a campo (Hufford & Mazer, 2003), mientras que el uso de germoplasma diverso incrementa la probabilidad de adaptación a condiciones ambientales heterogéneas (Lesica & Allendorf, 1999), lo cual resulta clave desde una perspectiva ecológica, ya que favorece la estabilidad y resiliencia del pastizal frente a disturbios y variabilidad ambiental. Asimismo, el establecimiento inicial, incluyendo la emergencia y el desarrollo temprano, constituye una etapa crítica en la restauración de pastizales, debido a su influencia sobre la competencia interespecífica y la trayectoria sucesional del sistema (Pywell et al., 2003). En este sentido, el éxito en estas etapas tempranas resulta determinante para la persistencia de la especie y condiciona su desempeño posterior en ambientes degradados (Porta Siota et al., 2021).

En este contexto, la superposición entre poblaciones y la amplia variabilidad a nivel individual representan una ventaja para la selección intrapoblacional de materiales adaptados a condiciones locales. La disponibilidad de genotipos con diferentes estrategias de crecimiento, desde aquellos con mayor producción de biomasa hasta los que presentan elevado macollaje, permite plantear enfoques de restauración basados en la complementariedad funcional, favoreciendo tanto la productividad como la estabilidad del sistema.

En conjunto, los resultados obtenidos aportan una caracterización integral de la estructura multivariada del material evaluado y constituyen una base sólida para la definición de criterios de selección en futuros ensayos, orientados al desarrollo de germoplasma nativo

con potencial de uso en sistemas ganaderos sustentables y en programas de restauración ecológica.

Conclusiones

El presente trabajo permitió avanzar en el conocimiento de los atributos de crecimiento y desarrollo de *Piptochaetium napostaense*, confirmando su elevado potencial como recurso forrajero para la restauración de pastizales en regiones áridas y semiáridas.

Los principales hallazgos de esta investigación son:

Variabilidad Fenotípica: se confirmó la existencia de una marcada variación intraespecífica, especialmente a nivel intrapoblacional. Esta amplitud fenotípica, característica de especies nativas con nulo proceso de domesticación, representa un recurso valioso para la selección de genotipos superiores sin necesidad de recurrir inicialmente a cruzamientos interpoblacionales.

Criterios de Selección: El análisis multivariado (ACP) permitió identificar un claro gradiente de vigor asociado a la biomasa aérea, la altura y el número de macollos. En este contexto, el número de macollos se destacó como un criterio eficiente para la identificación de plantas con mayor vigor, capacidad de cobertura y persistencia bajo condiciones de pastoreo.

Aplicación en proyectos de restauración: los resultados confirman la factibilidad de utilizar estas poblaciones naturales como base para el desarrollo de materiales destinados a la rehabilitación de pastizales degradados, contribuyendo tanto a la mejora de la oferta forrajera como a la estabilidad del suelo frente a procesos erosivos.

Si bien este estudio constituye una etapa incipiente y a pequeña escala, los datos obtenidos aportan una base sólida de conocimiento para el Banco de Germoplasma de Especies Nativas y para futuros programas de domesticación. Se destaca la necesidad de escalar estos ensayos a diferentes ambientes a fin de consolidar protocolos de implantación y manejo, y avanzar en la producción comercial de semillas nativas, superando así la actual limitante de disponibilidad en el mercado. Actualmente, *Piptochaetium napostaense* no cuenta con cultivares registrados ni materiales comerciales disponibles, encontrándose aún en una fase inicial de domesticación basada principalmente en la evaluación de poblaciones naturales y su variabilidad intraespecífica. Los resultados obtenidos en este trabajo adquieren especial relevancia, al contribuir al conocimiento y la selección de germoplasma con potencial para su futura incorporación en programas de restauración y sistemas productivos sustentables.

Referencias

- Bóo, R. M., Peláez, D. V., Bunting, S. C., Elía, O. R., & Mayor, M. D. (1996). Efecto del fuego sobre los pastos en la Argentina semiárida central. *Revista de Ambientes Áridos*, 32(3), 259–269.
- Busso, C. A., & Fernández, O. A. (2018). Arid and semiarid rangelands of Argentina. En *Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands* (pp. 261–291).
- Cabrera, A. L. (1971). Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 14(1–2), 1–42.
- Cano, E. (1988). *Pastizales naturales de la Pampa. Descripción de especies más importantes* (Vol. 1), 425 pp.
- Careddu, M. B. (2025). *Caracterización fenotípica de poblaciones de Piptochaetium napostaense (Speg.) Hack, provenientes de pastizales naturales del Sudoeste Bonaerense*. Trabajo final de carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Sur, 65 pp.
- Ceccon, E. (2014). *Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 288 pp.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2019). *InfoStat versión 2019*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Díaz, M., Echenique, V., Schrauf, G., Cardone, S., Polci, P., Lutz, E., & Spangenberg, G. (2004). Biotecnología y mejoramiento genético de especies forrajeras. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 33(3), 77–104.
- Díaz, R. O. (2007). *Utilización de pastizales naturales*.
- Distel, R. A., & Bóo, R. M. (1996). Vegetation states and transitions in temperate semiarid rangelands of Argentina. En *Proceedings of the Fifth International Rangeland Congress* (pp. 117–118).
- Entio, L. J., Mujica, M. D. L. M., Busso, C. A., Torres, Y. A., Montenegro, O. A., Ithurrart, L. S., ... & Tucac, G. (2014). Variabilidad y correlación de caracteres vinculados con el vigor de plántula en dos poblaciones naturales de *Pappophorum vaginatum* Buckley. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Cuyo)*, 46(2), 223–230.
- Entio, L., Mujica, M. M., Busso, C. A., & Torres, Y. A. (2021). Reproductive traits in four spontaneous *Pappophorum vaginatum* populations in arid Argentina. *Acta Oecologica*, 110, 103675.
- Fernández, O. A., Brevedan, R. E., Laborde, H., Klich, M. G., & Busso, C. A. (2017). Los territorios áridos y semiáridos de la Argentina. Universidad Nacional de Río Negro, 1–21.
- Gallego, F. (2013). *Servicios ecosistémicos del pastizal: el seguimiento de un área protegida como sistema de referencia*. Tesis de maestría, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 120 pp.
- Giulietti, J. D. (2005). Flechilla negra. *Informativo Rural, EEA INTA San Luis*, 2(7).
- Gustafson, D. J. (2016). *Manual de producción de semillas nativas para el noroeste del Pacífico* [Reseña del libro de A. Bartow]. *Native Plants Journal*, 17(2), 134–134.
- Harlan, J. R. (1992). *Crops and man* (2nd ed.). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, 284 pp.

- Hufford, K. M., & Mazer, S. J. (2003). Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(3), 147–155.
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: Ecophysiology and stress physiology of functional groups* (4th ed.). Springer, 513 pp.
- León, R. J. C., Bran, D., Collantes, M., Paruelo, J. M., & Soriano, A. (1998). Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral*, 8, 125–144.
- Lesica, P., & Allendorf, F. W. (1999). Ecological genetics and the restoration of plant communities. *Restoration Ecology*, 7(1), 42–50.
- Martin, M., Morici, E. F. A., & Petruzzi, H. (2018). Efecto del tiempo de pastoreo sobre el banco de semillas y parámetros estructurales de *Piptochaetium napostaense*. *Semiárida*, 28(2), 9–15.
- Milano, C. (2018). *Leguminosas herbáceas nativas: una alternativa para la restauración de pastizales y suelos degradados en el Sudoeste Bonaerense*. Tesis de Maestría, 96 pp.
- O'Mara, F. P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany*, 110(6), 1263–1270.
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., ... & León, R. J. C. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral*, 28(1), 40–63.
- Padilla, C. (2009). Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 351–354.
- Paruelo, J. M., Beltrán, A., Jobbágy, E., Sala, O. E., & Golluscio, R. A. (1998). The climate of Patagonia. *Ecología Austral*, 8, 85–101.
- Peláez, D. V. (2011). Dinámica de la vegetación en los pastizales del SO Bonaerense. *Anales de la ANAV*, 65.
- Pérez, D., Meli, P., Renison, D., Barri, F., Beider, A., Burgueño, G., & Torres, R. C. (2018). The Argentine Network of Ecological Restoration (REA). *Ecología Austral*, 28(2).
- Porta Siota, F. (2021). *Aportes a la domesticación de una gramínea perenne nativa: Piptochaetium napostaense*. Tesis de Magíster, Universidad Nacional del Sur, 120 pp.
- Porta Siota, F., Morici, E. F. A., & Petruzzi, H. J. (2021). Emergencia de plántulas en siembras para rehabilitación ecológica. *Semiárida*, 31(2), 57–62.
- Porta Siota, F., Petruzzi, H. J., & Morici, E. F. A. (2025). Variabilidad en semillas y plántulas de *Piptochaetium napostaense*. *Semiárida*, 35(1), 35–44.
- Porto, N. (2022). *Variabilidad en caracteres vinculados a la implantación en poblaciones espontáneas de Staphochloa berroi*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, 180 pp.
- Pywell, R. F., Bullock, J. M., Hopkins, A., Walker, K. J., Sparks, T. H., Burke, M. J. W., & Peel, S. (2003). Restoration of species-rich grassland. *Journal of Applied Ecology*, 40(1), 65–77.
- Sabattini, J. A., Sabattini, R. A., Urteaga, F., Bacigalupo, M., Cian, J. C., Sabattini, I. A., & Dopazo, V. M. (2019). Recuperación del pastizal natural en el Espinal argentino. *Investigación Agraria*, 21(2), 93–107.
- Silva, S. C. D., & Nascimento Júnior, D. D. (2007). Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 122-138.
- Soriano, A. (1960). Germination of dominant plants in Patagonia. En *Proceedings of the Eighth International Grassland Congress* (pp. 154–158).
- Tomás, M. A., Carrera, A. D., & Poverene, M. (2000). Genetic differentiation in *Piptochaetium napostaense*. *Plant Ecology*, 147(2), 227–235.

- Torres, Y. A. & Ambrosino, M. L. (2024). El componente leñoso en los pastizales naturales del SOB. En M. Menghini & V. Piñeiro (Eds.), *Manual de Prácticas Agronómicas para el Sudoeste Bonaerense* (pp. 21–31). EdiUNS, 92 pp.
- Villaverde, M. S. (2017). *Efecto del fuego accidental sobre la producción y calidad forrajera de gramíneas perennes nativas en el sur del caldenal*. Trabajo final de grado, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 42 pp.