

Preferencias de hábitat de *Cortaderia selloana* en su área nativa de distribución en Argentina

Adrián Lázaro-Lobo^{1,2,*} , Melisa A. Giorgis^{3,4} , Borja Jiménez-Alfaro^{1,2} 

- (1) Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (IMIB), Universidad de Oviedo-CSIC-Principado de Asturias, Mieres, Asturias, 33600 España.
- (2) Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, Oviedo, Asturias, 33071 España.
- (3) Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (CONICET-Universidad Nacional de Córdoba), Córdoba, Argentina.
- (4) Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

* Autor para correspondencia / Corresponding author: A. Lázaro-Lobo [lazaroadrian@uniovi.es]

> Recibido / Received: 12/09/2024 – Aceptado / Accepted: 29/03/2025

Cómo citar / How to cite: Lázaro-Lobo, A., Giorgis, M.A., Jiménez-Alfaro, B. 2025. Preferencias de hábitat de *Cortaderia selloana* en su área nativa de distribución en Argentina. *Ecosistemas* 34(3): 2855. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2855>

Preferencias de hábitat de *Cortaderia selloana* en su área nativa de distribución en Argentina

Resumen: Comprender la distribución actual y potencial de especies invasoras requiere conocer sus preferencias ecológicas en sus lugares de origen. En este trabajo estudiamos el nicho climático y las preferencias de hábitat de una de las plantas invasoras con mayor impacto global, *Cortaderia selloana* (hierba de la Pampa), en su rango natural de distribución en Argentina. Para ello evaluamos el óptimo climático de *C. selloana* mediante modelos de distribución de especies y su variación climática en el área de estudio. A través de un transecto de 2800 km muestreamos áreas idóneas para la especie desde la Pampa hasta la cordillera de los Andes, con el fin de describir los principales hábitats en que vive. Encontramos poblaciones de *C. selloana* desde el nivel del mar hasta los 3200 m de altitud, ocupando una alta variabilidad climática. En los climas más secos, *C. selloana* ocupa hábitats de ribera sometidos a perturbaciones durante las crecidas estacionales, dejando espacios abiertos que también colonizan otras especies oportunistas nativas como *Nicotiana glauca*. En regiones con mayor humedad ambiental, *C. selloana* es capaz de colonizar hábitats antrópicos perturbados, los cuales constituyen el único hábitat disponible para la especie en selvas subtropicales. Nuestros resultados sugieren que el hábitat principal de *C. selloana* en su área de origen lo constituyen las ramblas de ribera de los ríos andinos y sus afluentes. La adaptación biológica de la especie a estos ambientes ha facilitado su establecimiento en áreas recientemente alteradas por los humanos, tanto en su área nativa como en las introducidas. El estrés hídrico del suelo parece ser el principal factor limitante para *C. selloana* en su área de distribución nativa, determinando el hábitat ocupado por la especie en diferentes provincias fitogeográficas.

Palabras clave: distribución; especies invasoras; hábitats; nicho ecológico; distribución nativa

Habitat preferences of *Cortaderia selloana* in its native distributional range in Argentina

Abstract: Understanding the current and potential distribution of invasive species requires knowing their ecological preferences in their native ranges. Here, we study the climatic niche and habitat preferences of one of the invasive plants with stronger impacts globally, *Cortaderia selloana* (Pampas grass), in its native distributional range in Argentina. For this purpose, we evaluated the climatic optimum of *C. selloana* using species distribution models and its climatic variation in the study area. Through a 2800 km transect we sampled suitable areas for the species, from the Pampas to the Andes Mountain range, in order to describe the main habitats where it lives. We found populations of *C. selloana* from the sea level to 3200 m a.s.l., occupying a wide range of climatic variability. In drier climates, *C. selloana* mainly occupies riparian habitats subjected to seasonal flood disturbances, leaving open spaces colonized by other native opportunistic species such as *Nicotiana glauca*. In those regions with higher environmental humidity, *C. selloana* colonizes human-disturbed habitats. These habitats become the only habitat available for the species in subtropical rainforests. Our results suggest that the primary habitats of *C. selloana* in its native range are highly disturbed riparian areas of the Andes Mountain range. The adaptation of *C. selloana* to these environments have facilitated its establishment in areas recently disturbed by humans, both in its native and introduced ranges. Soil water stress seems the main limiting ecological factor for *C. selloana* in its native distributional range, determining the habitat occupied by the species in different phylogeographic provinces.

Keywords: distribution; invasive species; habitats; ecological niche; native distribution

Introducción

El área de distribución actual de especies es el resultado de millones de años de evolución condicionados por filtros ambientales, dispersión y barreras biogeográficas (p. ej., cadenas montañosas y océanos; Robinson et al. 2017). Así, las preferencias ecológicas de las especies están estrechamente ligadas a las condiciones ambientales en las que han evolucionado

(Emlen y Zimmer 2019). Sin embargo, durante los últimos siglos los humanos han modificado bruscamente la distribución de los organismos. Las actividades antropogénicas causan perturbaciones ambientales (p. ej., cambio climático, cambio en los usos del suelo, eutrofización, contaminación, etc.) que modifican el ambiente de las especies nativas (Pereira et al. 2010; Pecl et al. 2017; Essl et al. 2019). Estos cambios provocan la reducción del área de distribución de muchas especies, llevando a algunas a la extinción (Wessely et al. 2017), mientras que otras especies se han beneficiado de los cambios y han aumentado su abundancia y distribución (Chen et al. 2011; Essl et al. 2019). Los humanos también transportan especies más allá de sus áreas de distribución natural, de forma intencionada o accidental (Vitousek et al. 1997; Pyšek et al. 2004). Algunas de estas especies se convierten en invasoras, una vez que se establecen y dispersan en el área introducida, causando impactos ambientales, sociales y económicos. El proceso de invasión puede ir ligado a la adaptación ecológica a nuevas condiciones, pudiendo causar cambios fenotípicos (Maron et al. 2004; Brandenburger et al. 2019; Lázaro-Lobo et al. 2021). Sin embargo, en muchos casos las especies conservan su nicho ecológico y tienden a ocupar ambientes similares en las áreas originales e introducidas (Pearman et al. 2008; Petitpierre et al. 2012; Liu et al. 2020). Estudiar las preferencias ecológicas de las especies invasoras en sus lugares de origen es un paso necesario para entender los mecanismos de invasión y diseñar posibles medidas para prevenir una mayor expansión.

Cortaderia selloana (plumero o hierba de la Pampa) es una gramínea de alto porte y hoja perenne nativa de regiones templadas y subtropicales de Argentina, Brasil, Chile y Uruguay (Astegiano et al. 1995). La especie se ha introducido como planta ornamental y estabilizadora de suelos en todos los continentes excepto en la Antártida, favoreciendo su posterior invasión (Lázaro-Lobo et al. 2024a). La invasión de *C. selloana* se ha constatado en la mayor parte de las regiones donde ha sido introducida, especialmente en hábitats con alta disponibilidad de luz, provocando reducción de biodiversidad y cambios en el funcionamiento de los ecosistemas (p. ej., alteración de la sucesión y la dinámica de nutrientes) (Herrera y Campos 2006; Bacchetta et al. 2010; Company et al. 2019). *Cortaderia selloana* también causa impactos socioeconómicos al reducir la productividad de las plantaciones de árboles, provocar alergias respiratorias y disminuir el valor recreativo de las áreas invadidas (Nkuna et al. 2018; Rodríguez et al. 2021). Una vez establecida, *C. selloana* requiere grandes esfuerzos económicos y humanos para controlar sus poblaciones debido al extenso sistema radicular que desarrolla y a la alta capacidad de rebrote (Lázaro-Lobo et al. 2024a). Por ejemplo, proyectos como “Stop Cortaderia” en el norte de la Península Ibérica han invertido dos millones de euros para erradicar la especie en 405 ha hasta la fecha (<http://stopcortaderia.org/>).

Estudios anteriores indican que los principales factores limitantes para la expansión de *C. selloana* en las áreas introducidas son las bajas temperaturas y la escasez de agua, las cuales limitan la germinación de las semillas y el establecimiento de las plántulas (Stanton y DiTomaso 2004; Domènech y Vilà 2008; Tarabon et al. 2018; Lázaro-Lobo et al. 2024b). En climas oceánicos, caracterizados por temperaturas moderadas y un elevado nivel de humedad y precipitación, *C. selloana* invade hábitats antrópicos perturbados donde encuentra poca competencia con otras plantas y alta disponibilidad de recursos (Domènech y Vilà 2007; Charpentier et al. 2020). En climas mediterráneos con déficit hídrico estival, *C. selloana* ocupa principalmente suelos con mayor humedad (Lázaro-Lobo et al. 2024a). A pesar de la extensa bibliografía disponible sobre la especie, existe muy poca información sobre las preferencias ecológicas en su lugar de origen. Esta información es importante para identificar el posible límite ecológico de la especie a escala global, lo que podría mejorar su gestión en ambientes naturales y seminaturales. En este estudio evaluamos las preferencias ecológicas de *C. selloana* en su área de distribución nativa de Argentina, uno de los principales centros de distribución de la especie en América del Sur (Lázaro-Lobo et al. 2024a). Nuestros principales objetivos son (1) definir el nicho climático de *C. selloana* y la variación climática en las principales provincias fitogeográficas de Argentina; (2) describir las preferencias de hábitat de la especie y su variación a lo largo de gradientes de altitud y las diferentes provincias fitogeográficas.

Material y métodos

Evaluación del nicho climático

Obtuvimos datos globales de presencia de *C. selloana* a partir de la base de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <https://www.gbif.org/>; datos descargados el 1 de junio del 2023; Fig. 1a). Filtramos los puntos de ocurrencia obtenidos de GBIF para usar (1) registros con una resolución de 1 km o mayor, (2) registros relativamente recientes (es decir, aquellos registrados después de 1950), (3) registros de fuentes de datos adecuadas (eliminamos fuentes de datos desconocidas y especímenes fósiles y vivos, como plantas cultivadas en jardines botánicos) y (4) registros separados por al menos 1 km, para reducir el efecto de autocorrelación espacial. A partir de los puntos de presencia, generamos puntos de pseudoausencia en un área máxima de 100 km de radio, con el fin de generar modelos predictivos con alta capacidad de identificar condiciones que limitan la distribución de la especie a escala fina (VanDerWal et al. 2009). Estudios anteriores sugieren que distancias en torno a 100 km proporcionan resultados precisos y biológicamente significativos (VanDerWal et al. 2009; Martinuzzi et al. 2018).

Para evaluar el nicho climático global de *C. selloana*, obtuvimos 19 variables bioclimáticas de la base de datos Climatologías de Alta Resolución para las Áreas de Superficie Terrestre de la Tierra (CHELSA), la cual incluye el promedio de los años 1981 a 2010 a una resolución de ~1 km (Karger et al. 2017). Realizamos pruebas de correlación para reducir la colinealidad de variables (r de Pearson $< 0,7$; sensu Dormann et al. 2013). Mantuvimos los siguientes predictores climáticos: precipitación anual (mm), temperatura media anual (°C), estacionalidad de la precipitación (desviación estándar de las precipitaciones medias mensuales; mm) y estacionalidad de la temperatura (desviación estándar de las temperaturas medias mensuales; °C/100).

Generamos predicciones de idoneidad climática usando tres algoritmos de aprendizaje automático (“machine learning”): máxima entropía (MaxEnt; Phillips et al. 2006), *random forest* (RF; Breiman 2001) y árboles de regresión (“*Gradient Boosting model*” [GBM]; Friedman 2001). Estos algoritmos son capaces de ajustar funciones complejas y cuentan con estrategias para

evitar el sobreajuste, lo que aumenta su rendimiento al modelar distribuciones de especies (Valavi et al. 2022). Los modelos se generaron utilizando el paquete Biomod2 de R (4.2-4; Thuiller et al. 2009; Thuiller et al. 2023). También utilizamos un procedimiento de 5 validaciones cruzadas para evaluar el poder predictivo de cada modelo, manteniendo el 80 % del conjunto de datos para la calibración y el 20 % para la estimación de la precisión predictiva en cada ejecución. El rendimiento del modelo (bondad de ajuste) se evaluó mediante el área bajo la curva ("Area Under the Curve" [AUC]) de la Característica Operativa del Receptor ("Receiver Operating Characteristic" [ROC]) (Franklin 2010) y la estadística de Habilidad Real ("True Skill Statistic" [TSS]; Allouche et al. 2006). Los valores de AUC varían de 0 a 1 (los valores más altos representan un mejor rendimiento del modelo, es decir, mayor poder predictivo), mientras que TSS varía de -1 a 1 (los valores ≤ 0 indican que el modelo no es diferente al aleatorio y un valor de 1 representa un 100 % de concordancia del modelo con los datos (Allouche et al. 2006; Franklin 2010). Realizamos tres permutaciones para cada variable ambiental para estimar su importancia relativa. Los modelos se proyectaron sobre el área de distribución nativa de *C. selloana* en Argentina para generar cuadrículas de predicción de idoneidad climática con una resolución de 1 km, con valores de píxeles que varían de 0 (baja idoneidad) a 1 (alta idoneidad; Fig. 1b).

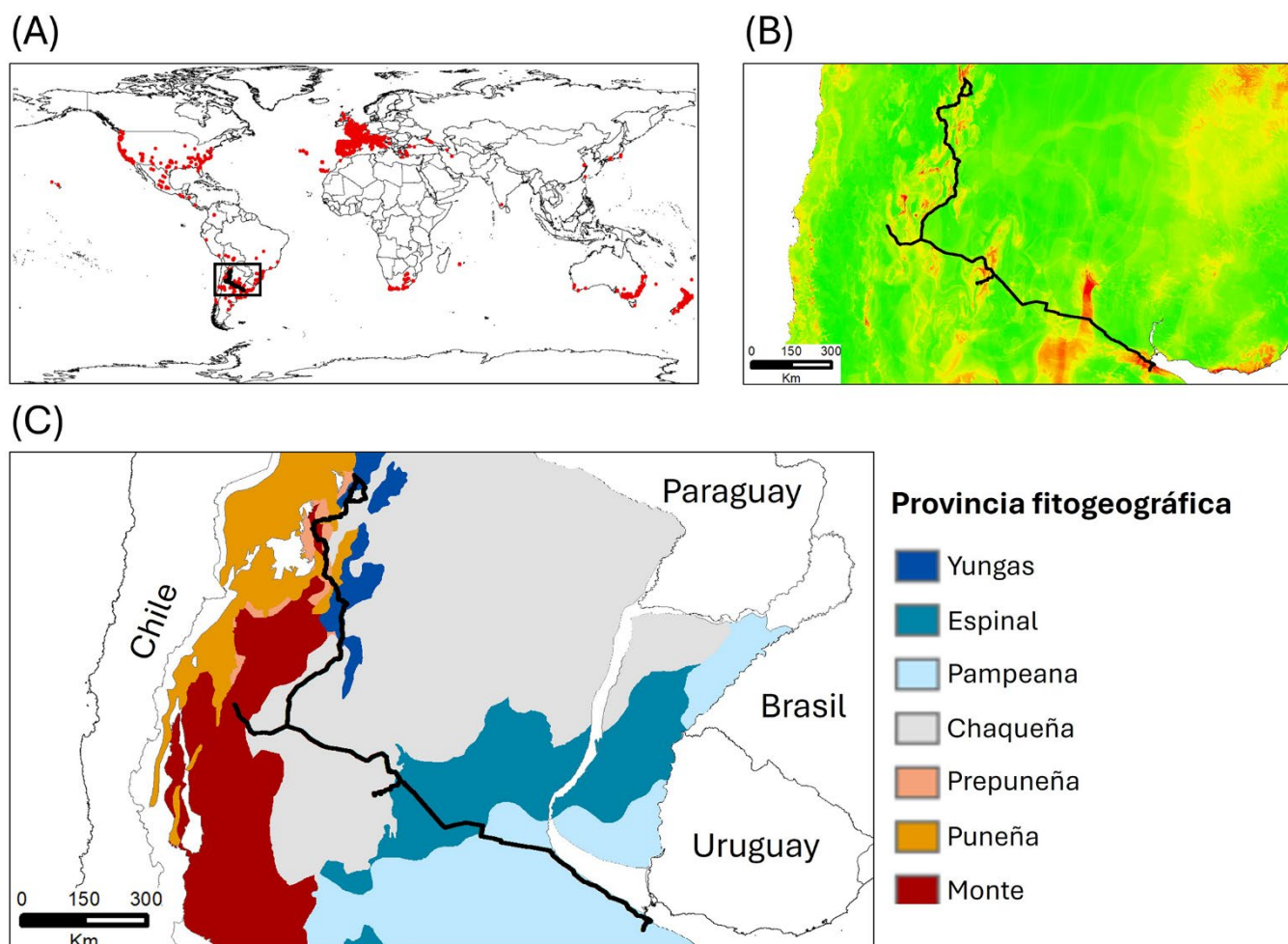


Figura 1. (A) Distribución global de *Cortaderia selloana* (puntos rojos). El cuadro negro indica el área de muestreo y la línea negra representa el transecto de muestreo realizado para evaluar la preferencia de hábitat de la especie en Argentina. (B) Mapa de idoneidad climática para *C. selloana* en el área de muestreo. Los colores rojos indican alta idoneidad climática, mientras que los colores verdes indican lo opuesto. La línea negra representa el transecto de muestreo. (C) Provincias fitogeográficas del centro y norte de Argentina, obtenidas de Oyarzabal et al. (2018). La línea negra representa la ruta de muestreo.

Figure 1. (A) Global distribution of *Cortaderia selloana* (red dots). The black square includes the surveyed areas, and the black line represents the transect designed to evaluate the species' habitat preferences in Argentina. (B) Habitat suitability map for *C. selloana* in the surveyed area. Red colors indicate higher suitability, while green colors illustrate the opposite. The black line represents the surveyed route. (C) Phytogeographic provinces of central and northern Argentina, obtained from Oyarzabal et al. (2018). The black line represents the surveyed route.

Muestreo de campo

A partir de las predicciones de idoneidad climática para *C. selloana*, diseñamos un transecto a lo largo de ~2800 km en su área de distribución nativa, maximizando la visita de las regiones con alta idoneidad climática, desde la zona oriental de la pampa argentina hasta la cordillera de los Andes. En mayo de 2024, realizamos un muestro a lo largo del transecto, enfocado principalmente en cubrir el gradiente de altitud por zonas accesibles en carretera, desde el nivel del mar hasta 3457 m de altitud. En esta época del año *C. selloana* está terminando la fase de dispersión de semillas, por lo que la planta mantiene sus

características inflorescencias (plumas), aumentando su detectabilidad desde relativamente largas distancias. El muestreo se realizó por siete provincias fitogeográficas: Yungas, Espinal, Pampeana, Chaqueña, Prepuneña, Puneña y Monte (Oyarzabal et al. 2018). El tipo de vegetación dominante es altamente variable entre las provincias fitogeográficas, desde las estepas de arbustos xerófitos del Monte hasta las selvas subtropicales de las Yungas (resumido en [Tabla 1](#)). Para evaluar las características climáticas de cada provincia fitogeográfica muestreada, creamos 500 puntos aleatorios separados por al menos 1 km para cada provincia y extraímos las siguientes variables de la base de datos CHELSA: precipitación anual (mm), temperatura media anual (°C), estacionalidad de la precipitación (desviación estándar de las precipitaciones medias mensuales; mm) y estacionalidad de la temperatura (desviación estándar de las temperaturas medias mensuales; °C/100).

Dado que el objetivo del transecto era cubrir la mayor distancia y el mayor número de regiones geográficas posibles, el muestreo se redujo a una interpretación cualitativa del hábitat de *C. selloana*. En cada región fitogeográfica se hicieron un mínimo de cinco paradas en aquellos hábitats donde se observó la presencia de poblaciones naturales de la especie (excluyendo zonas ajardinadas o áreas próximas a zonas urbanas para evitar posibles zonas de dispersión a partir de plantaciones ornamentales). Durante cada parada se registró la preferencia de hábitat y las principales especies acompañantes de *C. selloana*. Las paradas se realizaban con una distancia mínima de 10 km, excepto en el caso de observar cambios importantes en el hábitat o cualquier otro requerimiento ecológico. En cada parada, la preferencia de hábitat se realizó en base a tres categorías principales: 1) hábitats de ribera; 2) hábitats antrópicos perturbados y 3) otros hábitats. Las primeras dos categorías incluyen el hábitat principal descrito en la literatura sobre *C. selloana*. La tercera categoría se mantuvo como opción para describir otras situaciones no conocidas, en cuyo caso se recogía información adicional sobre el hábitat y su relación con el tipo de vegetación dominante en cada provincia fitogeográfica.

Tabla 1. Provincias fitogeográficas muestreadas y sus tipos de vegetación dominante. Información obtenida de Oyarzabal et al. (2018).

Table 1. Surveyed phytogeographic provinces and their dominant vegetation types. Information obtained from Oyarzabal et al. (2018).

Provincia fitogeográfica	Tipo de vegetación dominante
Yungas	Selva subtropical de neblina con árboles de follaje perenne o semicaducifolio, con dos o tres estratos y abundantes lianas y epífitas.
Espinal	Bosque de xerófitas (dominado por leguminosas mimosoideas; estrato herbáceo con gramíneas cespitosas) y sabana (desde muy abierta hasta tipo parque).
Pampeana	Estepa o pseudoestepa, combinada con pradera y matorral. La vegetación es mayormente de gramíneas (géneros <i>Nassella</i> , <i>Piptochaetium</i> y <i>Andropogon</i> , entre otros).
Chaqueña	Bosque de xerófitas (dominado por <i>Schinopsis</i> spp.) y sabana tipo parque con xerófitas y estrato herbáceo dominado por gramíneas cespitosas megatérmicas.
Prepuneña	(=Prepuna). Estepa arbustiva, a veces con pequeños árboles, y presencia característica de Cactáceas columnares de gran tamaño (<i>Trichocereus</i> spp.).
Puneña	(=Puna) Estepa arbustiva con especies de porte bajo y escasa cobertura de hierbas. Existe, además, una estepa gramínea en las zonas más elevadas.
Monte	Estepa de arbustos xerófitos de follaje perenne (a veces caedizo en sequías extremas) y resinoso, pertenecientes en su mayoría a la familia Zigoñiláceas.

Resultados

Modelos de nicho climático

Los modelos globales de distribución de especies mostraron un alto poder predictivo de ocurrencias de *C. selloana* (AUC > 0.86; TSS > 0.55). El algoritmo con mayor capacidad para discriminar entre presencias y pseudoausencias de *C. selloana* fue *random forests* (AUC: 0.99; TSS: 0.96). Por lo tanto, usamos los resultados de este modelo para generar predicciones de idoneidad climática. Esto nos permitió identificar áreas idóneas para muestrear *C. selloana* en su área de distribución nativa ([Fig. 1b](#)).

Todas las variables climáticas tuvieron una alta contribución en los modelos globales. La temperatura media anual tuvo mayor importancia (contribuyendo con un 30 %), seguida de la estacionalidad de la temperatura (28 %), la estacionalidad de la precipitación (21 %) y la precipitación anual (20 %). Las condiciones más adecuadas para *C. selloana* fueron temperaturas medias entre 10 y 20 °C y precipitación anual de al menos 500 mm, alcanzando valores óptimos de idoneidad con precipitación anual >1000 mm ([Fig. 2](#)). Finalmente, las áreas con una alta estacionalidad de temperatura y precipitación fueron las menos adecuadas para *C. selloana* ([Fig. 2](#)).

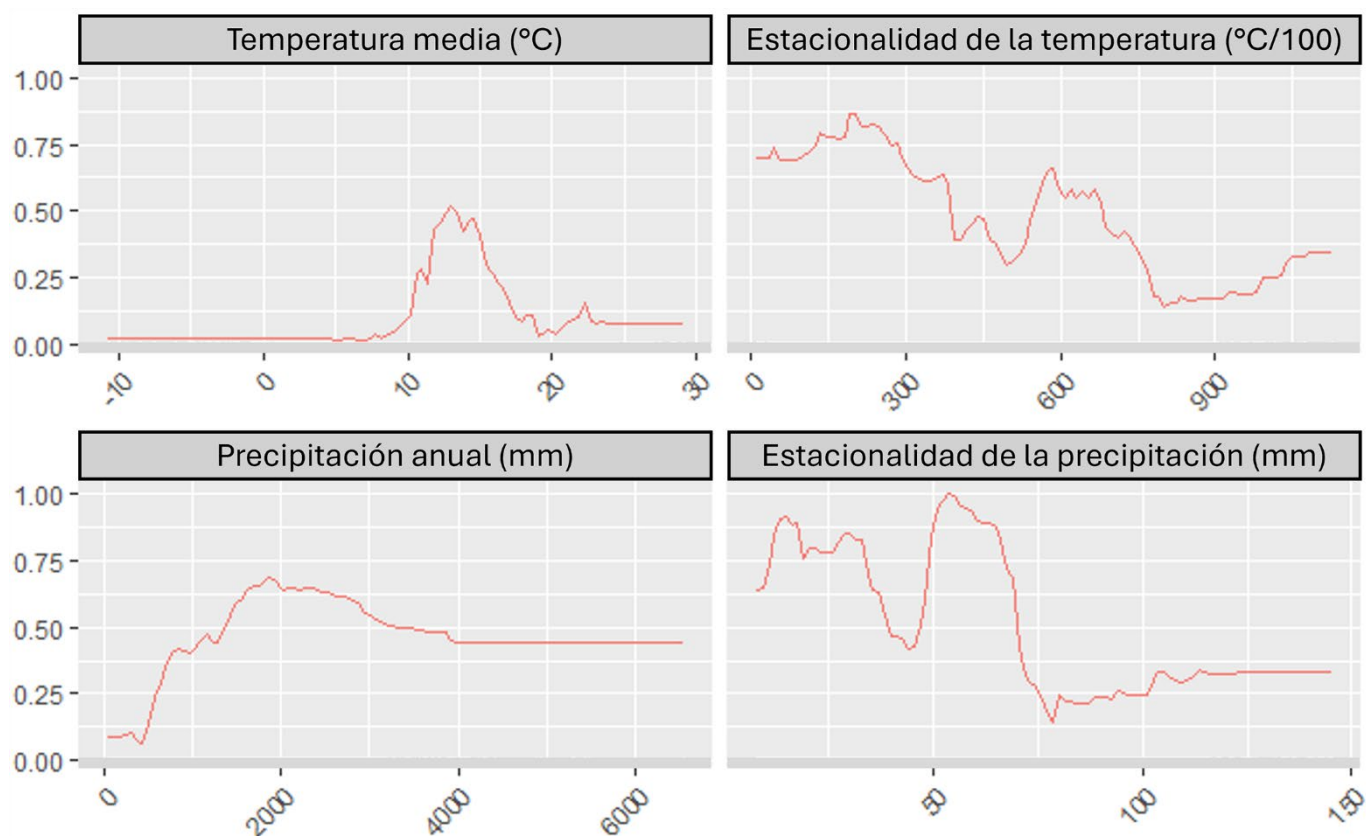


Figura 2. Curvas de respuesta generadas por el algoritmo *Random Forest* (RF) para cada variable climática usada en el modelo: temperatura media anual (°C), precipitación anual (mm), estacionalidad de la temperatura (desviación estándar de las temperaturas medias mensuales; °C/100) y estacionalidad de la precipitación (desviación estándar de las precipitaciones medias mensuales; mm). El eje "x" indica la variación de las variables climáticas y el eje "y" indica la probabilidad de hallar *Cortaderia selloana*, con valores que varían de 0 (baja probabilidad) a 1 (alta probabilidad). De esta forma, se puede evaluar la idoneidad climática para *C. selloana*.

Figure 2. Response curves generated by the *Random Forest* (RF) algorithm for each climatic variable used to fit the model: annual mean temperature (°C), annual precipitation (mm), temperature seasonality (standard deviation of the monthly mean temperatures; °C/100) and precipitation seasonality (standard deviation of the monthly mean precipitation; mm). The "x" axis indicates the variation in climatic variables, and the "y" axis indicates the probability of finding *Cortaderia selloana*, with values ranging from 0 (low probability) to 1 (high probability). Thus, the climate suitability for *C. selloana* can be assessed.

Preferencias de hábitat

Encontramos poblaciones de *C. selloana* en todas las provincias fitogeográficas muestreadas en su rango de distribución nativo. Las preferencias de hábitat de la especie fueron muy homogéneas dentro de cada provincia fitogeográfica, con diferencias constatables únicamente en los hábitats más extremos, como se indica a continuación (Figs. 3 y 4). Las poblaciones más abundantes de la especie se localizaron en los cauces aluviales de los ríos que descienden de los Andes, incluyendo las provincias fitogeográficas del Monte y Prepuna, a lo largo de la Ruta Nacional 40. Como ejemplo destacan los valles Calchaquíes, un sistema de más de 500 km de longitud que discurre bajo la cordillera Andina, donde *C. selloana* domina los hábitats de ribera representados por cauces fluviales con suelos arenosos sujetos a crecidas estacionales a modo de "rambla". En todos los sistemas ribereños visitados en estas provincias fitogeográficas la especie dominante fue siempre *C. selloana*, participando en más del 80 % de la biomasa total de la vegetación riparia. Algunas de las especies acompañantes más comunes incluían *Nicotiana glauca*, *Tessaria integrifolia* y *Baccharis salicifolia*. En las zonas de alta montaña caracterizadas por una precipitación más escasa (provincia Puneña), la especie ocupa hábitats de ribera similares, si bien son más escasos, apareciendo de forma ocasional en cauces temporalmente secos y en otros hábitats representados por taludes rezumantes húmedos. La población a mayor altitud la encontramos a 3200 m s.n.m., en una pared rezumante próxima a un collado de montaña. En las zonas de menor altitud y mayor humedad ambiental (provincias Chaqueña, Pampeana y Espinal), *C. selloana* ocupa principalmente hábitats ribereños (bordes de ríos y arroyos) donde participa de comunidades más diversas, incluyendo especies arbóreas como *Fraxinus americana* y otras acompañantes como *N. glauca*. En estas regiones también es común encontrar *C. selloana* en hábitats antrópicos perturbados (terrenos removidos y baldíos, taludes, cultivos abandonados, escombreras y márgenes de carreteras, senderos o vías férreas). *Cortaderia selloana* es relativamente escasa en la provincia Pampeana, donde ocupa principalmente zonas perturbadas con cierta humedad edáfica, además de hábitats antrópicos periurbanos y comunidades halófilas en la desembocadura del río de la Plata. En la provincia de las Yungas, caracterizada por abundante precipitación y bosques subtropicales estratificados, *C. selloana* se encontró puntualmente en hábitats antrópicos perturbados, a lo largo de taludes de carretera, con poblaciones dispersas y muy localizadas. Los ríos de esta provincia son especialmente torrenciales y su vegetación ribereña es de carácter arbóreo, con ausencia de las comunidades de ambientes perturbados típicas de las otras provincias visitadas.

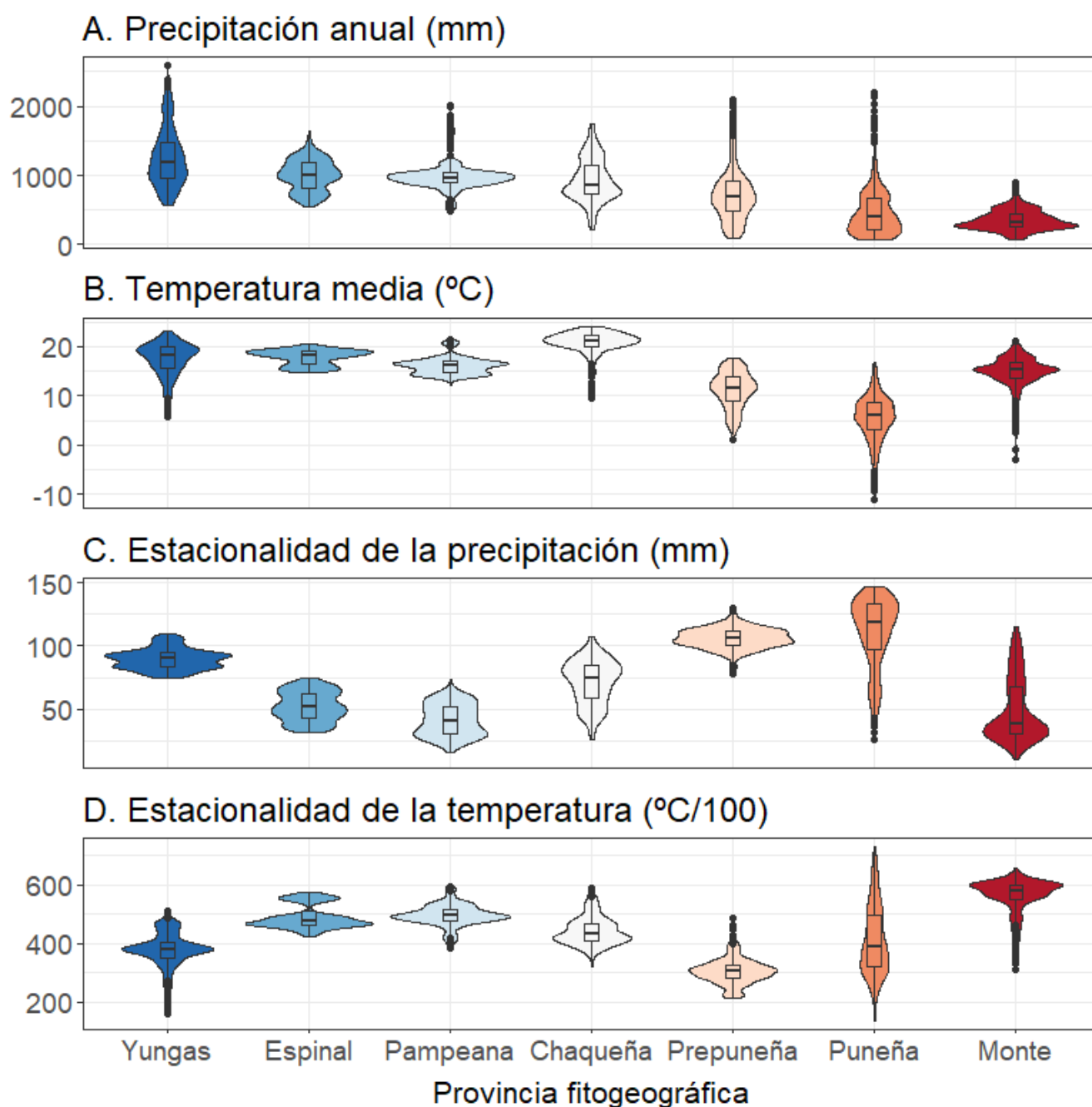


Figura 3. Datos climáticos para cada provincia fitogeográfica del norte de Argentina. Generamos 500 puntos aleatorios para cada provincia y extrajimos las siguientes variables: **(A)** precipitación anual (mm), **(B)** temperatura media anual (°C), **(C)** estacionalidad de la precipitación (mm) y **(D)** estacionalidad de la temperatura (°C/100).

Figure 3. Climatic data for each phytoecographic province of Northern Argentina. We generated 500 random points for each province and extracted the following variables: **(A)** annual precipitation amount (mm), **(B)** mean annual temperature (°C), **(C)** precipitation seasonality (mm), and **(D)** temperature seasonality (°C/100).

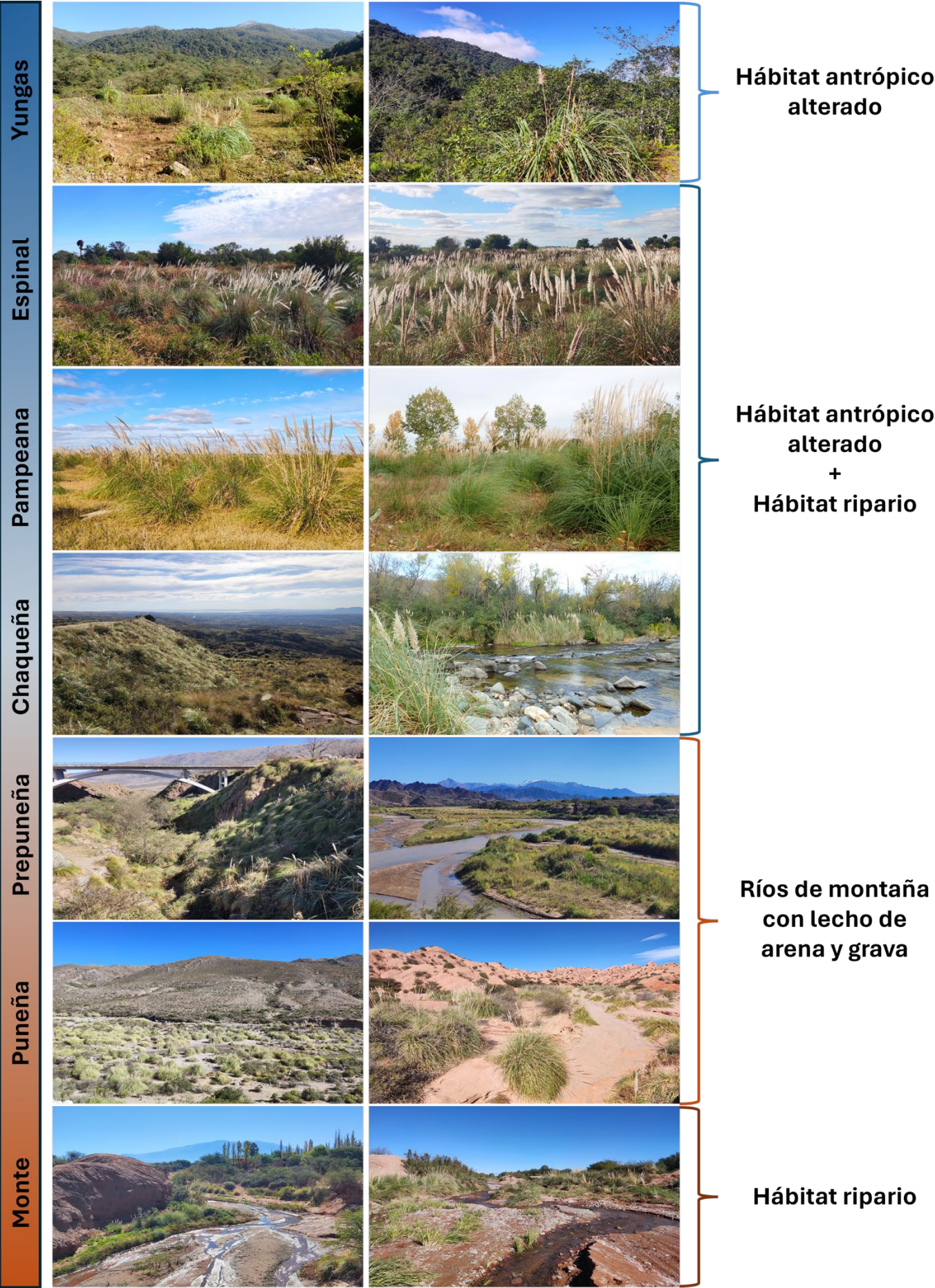


Figura 4. Hábitas donde vive *Cortaderia selloana* en las provincias fitogeográficas del norte de Argentina.

Figure 4. Habitats of *Cortaderia selloana* in the phytogeographic provinces of Northern Argentina.

Discusión

Variación climática en el área nativa de *Cortaderia selloana*

Nuestros resultados indican que *C. selloana* ocupa una alta variabilidad climática en su área de distribución nativa, desde regiones con climas muy secos hasta regiones subtropicales húmedas. De acuerdo con estudios previos, encontramos que los niveles de precipitación en el área nativa de *C. selloana* oscilan entre ~250 y 1750 mm anuales (Tarabon et al. 2018). Fuera de su área nativa, *C. selloana* se naturaliza en regiones con clima similar a su ambiente original, principalmente en climas oceánicos y mediterráneos de áreas templadas (Lázaro-Lobo et al. 2024a). Nuestros resultados también indican que las zonas climáticas idóneas para *C. selloana* presentan temperaturas medias anuales suaves (entre ~10 y 20 °C), con abundante precipitación (>1000 mm) y baja estacionalidad climática, lo que concuerda con otros estudios (Tarabon et al. 2018).

Cortaderia selloana también ocupa un gradiente altitudinal muy amplio en su área de distribución nativa, encontrándose desde el nivel del mar, en la provincia fitogeográfica Pampeana, hasta los 3200 m s.n.m. en la provincia Puneña. A pesar de la extensa información sobre la especie en su área nativa, existen pocas referencias señalando el amplio gradiente altitudinal de la especie, así como una escasa presencia de citas próximas a los 3600 m s.n.m. en las bases de datos consultadas. Los esfuerzos futuros deberían centrarse en estudiar poblaciones de *C. selloana* en la provincia Puneña para evaluar las preferencias de hábitat y la fenología de la especie en los Andes, y su relación con las poblaciones más abundantes de las cabeceras de los ríos de montaña (provincia Prepuneña). Este conocimiento ayudaría a predecir la capacidad de establecimiento o avance de *C. selloana* en ecosistemas montañosos de las regiones donde ha sido introducida, donde por el momento no se tiene constancia de invasión. No obstante, algunos estudios sugieren que las plántulas de *C. selloana* son muy sensibles a las heladas, reduciendo su capacidad de colonización a medida que disminuyen las temperaturas mínimas invernales (Knowles y Ecroyd 1985; Herrera y Campos 2006). Dado que algunos de los climas en que hemos encontrado *C. selloana* son relativamente fríos (temperatura media de ~7 °C), es posible que su establecimiento esté favorecido principalmente en el periodo cálido, que en el cono sur coincide con el periodo de mayor precipitación. No obstante, existen otros factores que pueden influir en la distribución o expansión de *C. selloana* en su área de distribución nativa, tanto abióticos (luminosidad, propiedades químicas del suelo, salinidad, etc.) como bióticos (competencia, depredación, etc.; Lázaro-Lobo et al. 2024a).

Preferencias de hábitat en el área nativa de *Cortaderia selloana*

En los climas de invierno seco que dominan el área de distribución nativa de *C. selloana*, hemos observado cómo la especie forma densas poblaciones a lo largo de cauces fluviales con suelos arenosos, a modo de rambla, para luego desaparecer a pocos metros del margen del río, donde la humedad edáfica disminuye. Estos hábitats de ribera sufren perturbaciones periódicas durante las fuertes crecidas de los ríos en la estación húmeda, dejando espacios abiertos que ocupan comunidades de especies oportunistas como *C. selloana* y *N. glauca*, ambas especies invasoras a nivel mundial. En zonas de alta montaña, *C. selloana* ocupa cauces arenosos y márgenes de barras de grava, los cuales son muy dinámicos y sufren una gran erosión estacional (Kálníková et al. 2021). Es en estos hábitats de ribera donde hemos observado las poblaciones más abundantes de la especie, en muchos casos formando poblaciones continuas de decenas de kilómetros de extensión a lo largo de los grandes ríos que descienden de los Andes hacia el océano Atlántico. De hecho, informantes locales de las regiones del Monte y Prepuneña aseguran que estos hábitats proporcionaban abundante cantidad de *C. selloana* para su uso en actividades tradicionales, principalmente como forraje para animales y para la elaboración de moldes para la producción de queso, trenzando con guantes especiales las hojas cortantes de la especie. También son frecuentes los topónimos referidos a "cortadera" a lo largo de los ríos próximos a la Ruta nacional 40, indicando la importancia de la especie como indicadora de humedad y planta representativa del paisaje en los grandes valles preandinos de Argentina.

La presencia constata de *C. selloana* en hábitats riparios y bien conservados de las regiones más secas del noroeste de Argentina sugiere que este podría ser uno de los hábitats primarios de la especie en estas regiones. La fenología de dispersión de semillas de *C. selloana*, concentrada tras las lluvias del verano, favorece la colonización de espacios abiertos generados después de las grandes crecidas de los ríos. A esto se suma la gran cantidad de semillas producidas por cada individuo (~1 millón en adultos; Lambrinos 2002), permitiendo a *C. selloana* dispersarse por grandes extensiones de terreno húmedo removido por el agua, ocupando nichos recién creados. Sin embargo, sólo podrán establecerse aquellas semillas que lleguen a sitios suficientemente húmedos y fuera del alcance de los torrentes de agua que transcurren durante el periodo de lluvias intensas. En las zonas bajas de la pampa (de donde la planta recibe su nombre vulgar), *C. selloana* ocupa principalmente hábitats ruderales y perturbados, en acequias y suelos encharcados periódicamente, mostrando una preferencia de hábitat similar, si bien en estos casos las poblaciones son menos abundantes y su ocupación espacial es esporádica en el paisaje. En ausencia de datos más precisos, nuestras observaciones sugieren que los hábitats ocupados por la especie en la región pampeana son principalmente hábitats secundarios y de reciente colonización, al menos aquellos ligados a las grandes extensiones de cultivos pampeanos. Ello apunta a que la distribución natural de la especie estaría ligada a los hábitats de las cuencas de los grandes ríos que desembocan en el océano Atlántico, pudiendo ocurrir lo mismo en los cauces fluviales que descienden de los Andes al océano Pacífico, donde la especie también está presente.

Entre los sistemas muestreados, la provincia de las Yungas constituye un caso especial por tratarse de un bioma subtropical sin estación seca, formando el límite meridional de los bosques tropicales pluriestratificados del sur de América (Oyarzabal et al. 2018). En esta provincia, *C. selloana* aparece esporádicamente en hábitats antrópicos perturbados, pero está ausente en los cauces fluviales, cuyos márgenes están ocupados por la selva subtropical de neblina con árboles de follaje denso, perenne o semicaducifolio, con varios estratos y abundantes lianas y epífitas (Oyarzabal et al. 2018). Estas características, junto a la falta de una estacionalidad clara de precipitaciones, impiden la presencia de espacios abiertos en los márgenes fluviales, y por tanto la ocupación de especies oportunistas como *C. selloana*. Además, estos ríos presentan un lecho de grava con alta movilidad del

material a causa de las fuertes pendientes y la frecuencia de fuertes lluvias (López-Silva et al. 2024), lo cual limita el establecimiento de vegetación. Según informantes locales, durante la estación húmeda “*las crecidas de los ríos arrastran vacas y caballos*”, lo que impediría el establecimiento de plantas oportunistas que frecuentemente ocupan los lechos de los ríos en las provincias fitogeográficas próximas. Todo esto sugiere que *C. selloana* no forma parte de la flora nativa de las Yungas, estando su presencia ligada a introducciones recientes localizadas en bordes de carreteras, donde la perturbación del suelo y la humedad ambiental favorecen la regeneración de la especie.

Implicaciones ecológicas en áreas introducidas

Nuestros resultados sugieren que el hábitat principal de *C. selloana* en su área de distribución nativa está ligada a lechos de ríos con crecidas estacionales y sometidos a una perturbación natural periódica. Las adaptaciones biológicas de la especie en estos hábitats facilitarían también su establecimiento en áreas perturbadas por los humanos, siempre que exista una humedad edáfica o ambiental suficiente. Hemos observado cómo la colonización de zonas perturbadas ya sea de forma natural o inducida por actividades humanas, es común en el área nativa de la especie, explicando así la preferencia de estos hábitats en las áreas introducidas. Siguiendo el mismo patrón que observamos en los climas más secos de su área de distribución nativa, *C. selloana* se distribuye por suelos húmedos en los márgenes de ríos y humedales en las zonas con escasa precipitación donde se ha naturalizado, como en las regiones de clima mediterráneo. La dificultad de *C. selloana* para establecerse en sistemas húmedos subtropicales de su área de distribución nativa también podría explicar la ausencia de la especie en selvas subtropicales y tropicales del resto del mundo, si bien no debería excluirse una colonización puntual, posiblemente no seguida de procesos de invasión, en el caso de una combinación de factores (dispersión de semillas por vía humana y establecimiento en zonas perturbadas con reducida competencia de la flora local).

A nivel global, la capacidad de invasión de *C. selloana* en las regiones introducidas se ve favorecida mayormente en climas templados con suaves temperaturas invernales (Lázaro-Lobo et al. 2024a). En zonas donde las condiciones climáticas permiten el crecimiento de *C. selloana*, la humedad del suelo parece ser el factor limitante para su establecimiento, con valores bajos de germinación y crecimiento en condiciones de estrés hídrico (Stanton y DiTomaso 2004; Mircea et al. 2023; Lázaro-Lobo et al. 2024b). Esta necesidad hídrica explicaría la preferencia de la especie por hábitats acuáticos o ribereños en la región mediterránea, emulando la preferencia de hábitat de *C. selloana* en su área de distribución nativa. En las regiones introducidas de clima templado y con mayor humedad ambiental (p. ej., norte de España o sur de Francia), *C. selloana* se distribuye ampliamente en suelos alterados por los humanos, sin necesidad de ocupar hábitats acuáticos o ribereños (Domenech y Vilà 2007; Charpentier et al. 2020). De hecho, los hábitats templados ruderales y no acuáticos constituyen el principal hábitat de la especie en su área naturalizada a nivel global (Lázaro-Lobo et al. 2024a). Las características biológicas que permiten el establecimiento de plántulas de *C. selloana* en estos hábitats derivan de adaptaciones de la especie a sus hábitats primarios en América del Sur, incluyendo: 1) producción de numerosas semillas con gran capacidad de dispersión por el viento, aumentando la probabilidad de llegar a sitios recientemente alterados (Connor 1973; Lambrinos 2002), 2) rápido desarrollo del sistema radicular que la permite fijarse al sustrato, especialmente en suelos inestables propios de zonas altamente perturbadas (Bossard et al. 2000; Domènech et al. 2006) y 3) hojas cortantes que la defienden de los herbívoros, los cuales son abundantes en sus ecosistemas nativos y también en los sistemas antrópicos de sucesión temprana (DiTomaso et al. 1999; Global Invasive Species Database 2023).

Conclusiones

Nuestros resultados indican que los hábitats ocupados por *C. selloana* en su rango de distribución nativo son consistentes con los hábitats ocupados en el rango naturalizado, dentro de la alta variabilidad altitudinal y climática en que vive la especie. En los climas secos del centro y oriente de Argentina, *C. selloana* se distribuye por cauces fluviales con suelos arenosos y márgenes de barras de grava en lechos de rambla, mientras que en los climas más húmedos también es capaz de colonizar hábitats alterados por los humanos (p. ej., taludes, cultivos abandonados, baldíos, etc.), donde no existen restricciones edáficas para la germinación. Sin embargo, en selvas subtropicales, la densa vegetación impide que *C. selloana* se establezca en los márgenes de los ríos, ocupando esporádicamente hábitats antrópicos perturbados. Curiosamente, *C. selloana* parece ocupar principalmente hábitats secundarios en la Pampa, región que le da su nombre, si bien se hace más abundante en los humedales costeros de dicha región. Nuestros resultados también indican que la especie puede ocupar regiones frías de montaña, siempre que exista una estación cálida y húmeda necesaria para la regeneración por semillas, lo que indicaría potencial para extenderse en zonas de montaña de las regiones introducidas. En conclusión, este estudio demuestra que la descripción del nicho climático y las preferencias de hábitat de especies invasoras en su lugar de origen permite comprender algunos aspectos de su biología de invasión. Esta información es clave para optimizar los planes de manejo de especies invasoras en las áreas donde causan impactos ecológicos, sociales y económicos, así como establecer medidas de prevención en los hábitats que aún no han sido colonizados.

Disponibilidad de los datos

Este artículo no utiliza conjuntos de datos.

Contribución de los autores

Adrián Lázaro-Lobo: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición, Visualización. Melisa A. Giorgis: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción - revisión y edición. Borja Jiménez-Alfaro: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción - Revisión y edición, Visualización.

Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (MCI) y por la Unión Europea [ayuda Juan de la Cierva-Formación (FJC2021-046657-I)], por el Jardín Botánico Atlántico de Gijón/Xixón (SV-20-GIJON-JBA) y por National Geographic Society (EC-106640R-23).

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Allouche, O., Tsao, A., Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43: 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Astegiano, M.E., Anton, A.M., Connor, H.E. 1995. Sinopsis del género *Cortaderia* (Poaceae) en Argentina. *Darwiniana* 43: 51.
- Bacchetta, G., Dettori, C.A., Mascia, F., Meloni, F., Podda, L. 2010. Assessing the potential invasiveness of *Cortaderia selloana* in Sardinian wetlands through seed germination study. *Plant Biosystems* 144: 518-527. <https://doi.org/10.1080/11263500903403465>
- Bossard, C.C., Randall, J.M., Hoshovsky, M.C. 2000. *Invasive plants of California's wildlands*. University of California Press.
- Brandenburger, C.R., Sherwin, W.B., Creer, S.M., Buitenwerf, R., Poore, A.G., Frankham, R., Finnerty, P.B., Moles, A.T. 2019. Rapid reshaping: the evolution of morphological changes in an introduced beach daisy. *Proceedings of the Royal Society B* 286: 20181713. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1713>
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine learning* 45: 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Charpentier, A., Kreder, M., Besnard, A., Gauthier, P., Bouffet, C. 2020. How *Cortaderia selloana*, an ornamental plant considered highly invasive, fails to spread from urban to natural habitats in Southern France. *Urban Ecosystems* 23: 1181-1190. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01003-4>
- Chen, I.-C., Hill, J.K., Ohlemüller, R., Roy, D.B., Thomas, C.D. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333: 1024-1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432>
- Company, T., Soriano, P., Estrelles, E., Mayoral, O. 2019. Seed bank longevity and germination ecology of invasive and native grass species from Mediterranean wetlands. *Folia Geobotanica* 54: 151-161. <https://doi.org/10.1007/s12224-019-09350-7>
- Connor, H. 1973. Breeding systems in *Cortaderia* (Gramineae). *Evolution* 27: 663-678. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1973.tb00714.x>
- DiTomaso, J., Healy, E., Bell, C., Drewitz, J., Tshohl, A. 1999. Pampasgrass and jubata grass threaten California coastal habitats. UC WeedRIC Cooperative Extension Leaflet# 99-1.
- Domenech, R., Vilà, M. 2007. *Cortaderia selloana* invasion across a Mediterranean coastal strip. *Acta Oecologica* 32: 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.05.006>
- Domènech, R., Vilà, M. 2008. *Cortaderia selloana* seed germination under different ecological conditions. *Acta Oecologica* 33: 93-96. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.09.004>
- Domènech, R., Vilà, M., Gestí, J., Serrasolses, I. 2006. Neighbourhood association of *Cortaderia selloana* invasion, soil properties and plant community structure in Mediterranean coastal grasslands. *Acta Oecologica* 29: 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.09.004>
- Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J.R.G., et al. 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36: 27-46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Emlen, D.J., Zimmer, C. 2019. *Evolution: making sense of life, 3rd edition*. W. H. Freeman and Company, New York, USA.
- Essl, F., Dullinger, S., Genovesi, P., Hulme, P.E., Jeschke, J.M., Katsanevakis, S., Kühn, I., et al. 2019. A conceptual framework for range-expanding species that track human-induced environmental change. *BioScience* 69: 908-919. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz101>
- Franklin, J. 2010. Mapping Species Distribution: Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press. *Cambridge, United Kingdom*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511810602>
- Friedman, J.H. 2001. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of Statistics* 29: 1189-1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>
- Global Invasive Species Database 2023. Species profile: *Cortaderia selloana*. Downloaded from <https://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Cortaderia+selloana> [Accessed on 06-10-2023].
- Herrera, M., Campos, J.A. 2006. *El Carrizo de la Pampa (Cortaderia selloana) en Bizkaia: guía práctica para su control*. Instituto de Estudios Territoriales de Bizkaia, Diputación Foral de Bizkaia.
- Kalníková, V., Chytrý, K., Biřa-Nicolae, C., Bracco, F., Font, X., Iakushenko, D., Kačák, Z., et al. 2021. Vegetation of the European mountain river gravel bars: A formalized classification. *Applied Vegetation Science* 24: e12542. <https://doi.org/10.1111/avsc.12542>
- Karger, D.N., Conrad, O., Böhrer, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W., Zimmermann, N.E., et al. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4: 1-20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Knowles, F.B., Ecroyd, C.E. 1985. *Species of Cortaderia (pampas grasses and toetoe) in New Zealand*. Forest Research Institute, New Zealand Forest Service.
- Lambrinos, J.G. 2002. The variable invasive success of *Cortaderia* species in a complex landscape. *Ecology* 83: 518-529. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[0518:TVISOC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[0518:TVISOC]2.0.CO;2)
- Lázaro-Lobo, A., Moles, A.T., Fried, G., Verloove, F., Antonio Campos, J., Herrera, M., Goñi, E., et al. 2021. Phenotypic differentiation among native, expansive and introduced populations influences invasion success. *Journal of Biogeography* 48: 2907-2918. <https://doi.org/10.1111/jbi.14252>

- Lázaro-Lobo, A., Andrade, B.O., Canavan, K., Ervin, G.N., Essl, F., Fernández-Pascual, E., Follak, S., et al. 2024a. Monographs on invasive plants in Europe N° 8: *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn. *Botany Letters* 1-25.
- Lázaro-Lobo, A., Alonso-Zaldívar, H., Sagrera, S.J.M., del Alba, C.E., Fernández-Pascual, E., González-García, V., Jiménez-Alfaro, B. 2024b. Regeneration niche of *Cortaderia selloana* in an invaded region: Flower predation, environmental stress, and transgenerational effects. *Plant Stress* 12: 100483. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100483>
- Liu, C., Wolter, C., Xian, W., Jeschke, J.M. 2020. Most invasive species largely conserve their climatic niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117: 23643-23651. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004289117>
- López-Silva, M., Carmenates-Hernández, D., Poma-Puente, R., Calderón-Rufasto, J., Sanchez-Verastegui, W. 2024. Modelos de resistencia al flujo en río de montaña: semiempíricos, HEC-RAS y GEP. *Ingeniería del agua* 28: 123-140. <https://doi.org/10.4995/ia.2024.20629>
- Maron, J.L., Vilà, M., Bommarco, R., Elmendorf, S., Beardsley, P. 2004. Rapid evolution of an invasive plant. *Ecological Monographs* 74: 261-280. <https://doi.org/10.1890/03-4027>
- Martinuzzi, S., Rivera, L., Politi, N., Bateman, B.L., De los Llanos, E.R., Lizarraga, L., De Bustos, M.S., et al. 2018. Enhancing biodiversity conservation in existing land-use plans with widely available datasets and spatial analysis techniques. *Environmental Conservation* 45: 252-260. <https://doi.org/10.1017/S0376892917000455>
- Mircea, D.M., Estrelles, E., Al Hassan, M., Soriano, P., Sestras, R.E., Boscaiu, M., Sestras, A.F., et al. 2023. Effect of water deficit on germination, growth and biochemical responses of four potentially invasive ornamental grass species. *Plants* 12: 1260. <https://doi.org/10.3390/plants12061260>
- Nkuna, K.V., Visser, V., Wilson, J.R., Kumschick, S. 2018. Global environmental and socio-economic impacts of selected alien grasses as a basis for ranking threats to South Africa. *NeoBiota* 41: 19-65. <https://doi.org/10.3897/neobiota.41.26599>
- Oyarzabal, M., Clavijo, J., Oakley, L., Biganzoli, F., Tognetti, P., Barberis, I., Maturo, H.M., et al. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28: 40-63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>
- Pearman, P.B., Guisan, A., Broennimann, O., Randin, C.F. 2008. Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 23: 149-158. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.11.005>
- Pecl, G.T., Araújo, M.B., Bell, J.D., Blanchard, J., Bonebrake, T.C., Chen, I.-C., Clark, T.D., et al. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 355: eaai9214. <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Pereira, H.M., Leadley, P.W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J.P., Fernandez-Manjarrés, J.F., Araújo, M.B., et al. 2010. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science* 330: 1496-1501. <https://doi.org/10.1126/science.1196624>
- Petitpierre, B., Kueffer, C., Broennimann, O., Randin, C., Daehler, C., Guisan, A. 2012. Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders. *Science* 335: 1344-1348. <https://doi.org/10.1126/science.1215933>
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190: 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pyšek, P., Richardson, D.M., Rejmánek, M., Webster, G.L., Williamson, M., Kirschner, J. 2004. Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon* 53: 131-143. <https://doi.org/10.2307/4135498>
- Robinson, A.P., Walshe, T., Burgman, M.A., Nunn, M. 2017. *Invasive species: Risk assessment and management*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. <https://doi.org/10.1017/9781139019606>
- Rodríguez, F., Lombardero-Vega, M., San Juan, L., De las Vecillas, L., Alonso, S., Morchón, E., Liendo, D., et al. 2021. Allergenicity to worldwide invasive grass *Cortaderia selloana* as environmental risk to public health. *Scientific Reports* 11: 24426. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03581-5>
- Stanton, A.E., DiTomaso, J.M. 2004. Growth response of *Cortaderia selloana* and *Cortaderia jubata* (Poaceae) seedlings to temperature, light, and water. *Madroño* 51: 312-321.
- Tarabon, S., Bertrand, R., Lavoie, C., Vigouroux, T., Isselin-Nondedeu, F. 2018. The effects of climate warming and urbanised areas on the future distribution of *Cortaderia selloana*, pampas grass, in France. *Weed Research* 58: 413-423. <https://doi.org/10.1111/wre.12330>
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., Araújo, M.B. 2009. BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32: 369-373. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x>
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., Breiner, F. 2023. biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. R package version 4.2-4. <https://cran.r-project.org/package=biomod2>
- Valavi, R., Guillera-Aroita, G., Lahoz-Monfort, J.J., Elith, J. 2022. Predictive performance of presence-only species distribution models: a benchmark study with reproducible code. *Ecological Monographs* 92: e01486. <https://doi.org/10.1002/ecm.1486>
- VanDerWal, J., Shoo, L.P., Graham, C., Williams, S.E. 2009. Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution modeling: how far should you stray from what you know? *Ecological Modelling* 220: 589-594. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.010>
- Vitousek, P.M., D'antonio, C.M., Loope, L.L., Rejmanek, M., Westbrooks, R. 1997. Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology* 21: 1-16.
- Wessely, J., Hülber, K., Gattringer, A., Kuttner, M., Moser, D., Rabitsch, W., Schindler, S., et al. 2017. Habitat-based conservation strategies cannot compensate for climate-change-induced range loss. *Nature Climate Change* 7: 823-827. <https://doi.org/10.1038/nclimate3414>