



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



<https://doi.org/10.14483/2256201X.24788>

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA


ISSN 0120-0739 • e-ISSN 2256-201X


## Siembra directa para la restauración de bosques semiáridos degradados en la Región Chaqueña Argentina

Direct seeding for the restoration of degraded semi-arid forests in the Chaco region of Argentina

Claudia Camila Barraza <sup>a</sup>, Sandra Josefina del Valle Bravo <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Santiago del Estero, Argentina. 

<sup>b</sup> Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. 

 Autor para correspondencia

**Recibido:** 9 de febrero de 2026

**Aceptado:** 9 de abril de 2026

**Citación:** Barraza, C. C., & Bravo, S. J. (2026). Siembra directa para restauración de bosques semiáridos degradados. *Colombia Forestal*, 29(2), e24788.

<https://doi.org/10.14483/2256201X.24788>

### Highlights

- Las especies responden diferencialmente según el régimen de disturbios del bosque.
- La capacidad de emergencia de las plántulas difiere sustancialmente entre las especies estudiadas.
- La viabilidad y los tratamientos pregerminativos influyen en la emergencia post siembra directa.
- La disponibilidad de semillas y micrositios es esencial para el reclutamiento.
- *N. nigra* tuvo mayor emergencia de plántulas en semillas que fueron tratadas en bosques disturbados.

### Resumen

Se evaluó el efecto de la calidad del sitio, micrositios y de tratamientos pregerminativos en la emergencia de plántulas mediante siembra directa, de 4 especies del Chaco semiárido: *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinopsis lorentzii*, *Neltuma nigra* y *Sarcomphalus mistol*. Las evaluaciones se realizaron en bosques control y disturbado, y los micrositios incluyeron condiciones con y sin cobertura arbórea. Se realizó la prueba de tetrazolio para evaluar la viabilidad de las semillas. La viabilidad promedio varió entre un 53 % y 63% entre las especies. *A. quebracho-blanco* mostró mayor germinación en el bosque control, sin efecto significativo del tratamiento pregerminativo ni del micrositio. *N. nigra* tuvo mayor porcentaje de germinación en bosque disturbado y con semillas tratadas. No se registró germinación en *S. lorentzii* y *S. mistol*.

Los resultados indican que las especies tienen diferentes requerimientos para la germinación y que el pretratamiento de las semillas podría mejorar el reclutamiento mediante siembra directa.

**Palabras clave:** Chaco Semiárido, micrositos, restauración ecológica, tratamientos pregerminativos.

### Abstract

The effects of site quality, microsites, and pre-germination treatments on seedling emergence via direct seeding were evaluated for four species from the semi-arid Chaco: *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinopsis lorentzii*, *Neltuma nigra*, and *Sarcomphalus mistol*. The evaluations were conducted in control and disturbed forests, and the microsites included conditions with and without tree cover. The tetrazolium test was performed to assess seed viability. Average viability ranged from 53% to 63% among the species. *A. quebracho-blanco* showed higher germination in the control forest, with no significant effect of pre-germination treatment or microsite. *N. nigra* had a higher germination rate in the disturbed forest and with treated seeds. No germination was recorded for *S. lorentzii* and *S. mistol*. The results indicate that species have different germination requirements and that seed pretreatment could improve recruitment through direct seeding.

**Keywords:** Semi-arid Chaco, microsites, ecological restoration, pregerminative treatments.

## INTRODUCCIÓN

La Región Chaqueña corresponde a uno de los biomas de mayor superficie del continente americano y el segundo con mayor superficie forestal de Sudamérica. Abarca gran parte del norte de Argentina, suroeste de Paraguay y sur de Bolivia (Cotroneo *et al.*, 2021). Se caracteriza por una vegetación xerófila dominada por especies leñosas adaptadas a condiciones de alta temperatura y limitación hídrica (Díaz *et al.*, 1999; Araujo *et al.*, 2008; Loto & Bravo, 2020). Esta región presenta una marcada estacionalidad, con precipitaciones concentradas en verano y un período seco prolongado durante los meses del invierno, que condiciona la dinámica fenológica de la vegetación (Tiedeman *et al.*, 2011) y la germinación y el establecimiento de plántulas (Tálamo *et al.*, 2013). Por su parte, los disturbios antrópicos y naturales condicionan la disponibilidad de micrositos favorables para el reclutamiento de especies leñosas.

La región chaqueña ha experimentado procesos de deforestación y desertificación debido al avance de la frontera agrícola-ganadera (Vidal Riveros *et al.*, 2023; San Martín *et al.*, 2023). El uso no planificado del bosque chaqueño, con criterio netamente extractivo de especies de mayor valor ecológico, la ganadería extensiva y los cambios en el uso de la tierra han alterado progresivamente las características físicas y la disponibilidad de micrositos donde se produce el reclutamiento de las especies leñosas nativas, condicionando su regeneración a estrategias vegetativas (Bravo *et al.*, 2018). Estos disturbios pueden modificar negativamente la estructura del bosque, la dinámica de incorporación de materia orgánica y las condiciones microclimáticas del suelo (temperatura, humedad y disponibilidad de luz), influyendo directamente en la germinación y el establecimiento de plántulas (Kunst *et al.*, 2016; Loto & Bravo, 2020), y afectando la dinámica y recuperación del bosque (Grau *et al.*, 2025). Una de las prácticas de manejo más generalizadas en estos bosques es el rolado, que consiste en el pasaje de un cilindro de metal pesado para tumbar la vegetación leñosa, reduciendo principalmente el volumen del arbustal, previo a la siembra de pasturas en sistemas silvopastoriles (Kunst *et al.*, 2016; Ledesma *et al.*, 2018). En la actualidad existen evidencias sobre los cambios que generan los disturbios,

sean estos naturales o antropogénicos, en la estructura, composición de los bosques chaqueños y la provisión de servicios ecosistémicos (Loto & Bravo, 2020; Del Corro, 2023; Ibáñez Moro *et al.*, 2024). Por ello, áreas extensas de bosques chaqueños requieren la optimización de las prácticas de manejo forestal y restauración ecológica para cumplir con los criterios de sustentabilidad que exigen las leyes vigentes de ordenamiento territorial (García Collazo *et al.*, 2013).

Para los gestores de recursos forestales resulta esencial entender los patrones de disturbios y los factores ecológicos que impactan en la resiliencia de la vegetación. Tálamo *et al.* (2013) describen que la disponibilidad de semillas y los micrositios para germinar son factores ecológicos esenciales en el reclutamiento de especies leñosas nativas. Abdala (2016) e Ibáñez Moro *et al.* (2024) indican que los bancos de semillas del suelo (BSS) de los bosques semiáridos de Argentina juegan un papel fundamental en su resiliencia, ya que albergan semillas viables que contribuyen al reclutamiento de la vegetación. Las características morfofisiológicas de las semillas (dormición, tamaño, forma, el contenido de humedad, entre otras) influyen en la capacidad de reclutamiento de las especies, ya que afectan la viabilidad y la capacidad de germinar (Bertuzzi *et al.*, 2023; Ibáñez Moro *et al.*, 2021).

Las prácticas de restauración deben contemplar no sólo la existencia de BSS, sino también la germinación de las especies y las demandas de tratamientos pregerminativos de sus semillas, para lograr el éxito de establecimiento de plántulas (Tálamo & Caziani, 2003; Ibáñez Moro *et al.*, 2021). Tálamo *et al.* (2021) señalan que, en presencia de cambios en la estructura y funcionamiento de las coberturas vegetales, algunas estrategias de restauración ayudan a mejorar las propiedades y las condiciones microclimáticas limitantes.

En la actualidad los proyectos de restauración de áreas degradadas recomiendan la implantación de especies nativas. Sin embargo, algunos estudios demuestran que estas medidas no siempre son exitosas, por la elevada mortalidad y por los altos costos de producción de plantines en vivero, el traslado de plantas a terreno y por las tareas de implantación (Pérez *et al.*, 2019). Una alternativa a esta práctica de restauración es la siembra directa, acoplada a tratamientos pregerminativos (Giamminola *et al.*, 2012; Hernández & Pérez, 2021; Rodríguez Araujo, 2021; Utello *et al.*, 2023) que promuevan la germinación. Para ello, se siembran semillas pretratadas directamente en el suelo evitando los daños al momento del trasplante y disminuyendo los costos de producción (Martínez-Garza *et al.*, 2022). Esto permite obtener plántulas con un sistema radical bien desarrollado, con una menor complejidad operativa, disminuyendo costos, sobre todo en ambientes áridos y semiáridos donde la reposición de pérdidas puede llegar a ser elevada (Rodríguez Araujo, 2021).

La siembra directa presenta algunas limitaciones, principalmente asociadas a la falta de información sobre los requerimientos germinativos de las especies, aspecto clave para lograr buenos resultados (Rodríguez Araujo & Pérez, 2023). Además, esta técnica requiere tareas posteriores, como el monitoreo y la evaluación de las pérdidas durante el proceso de establecimiento de plántulas (González *et al.*, 2023). Asimismo, el conocimiento sobre la viabilidad de las semillas de especies nativas, la presencia de dormición y los tratamientos pregerminativos para estimular la germinación representan una información necesaria para incrementar la probabilidad de éxito (Bravo *et al.*, 2011; Ibáñez Moro *et al.*, 2021).

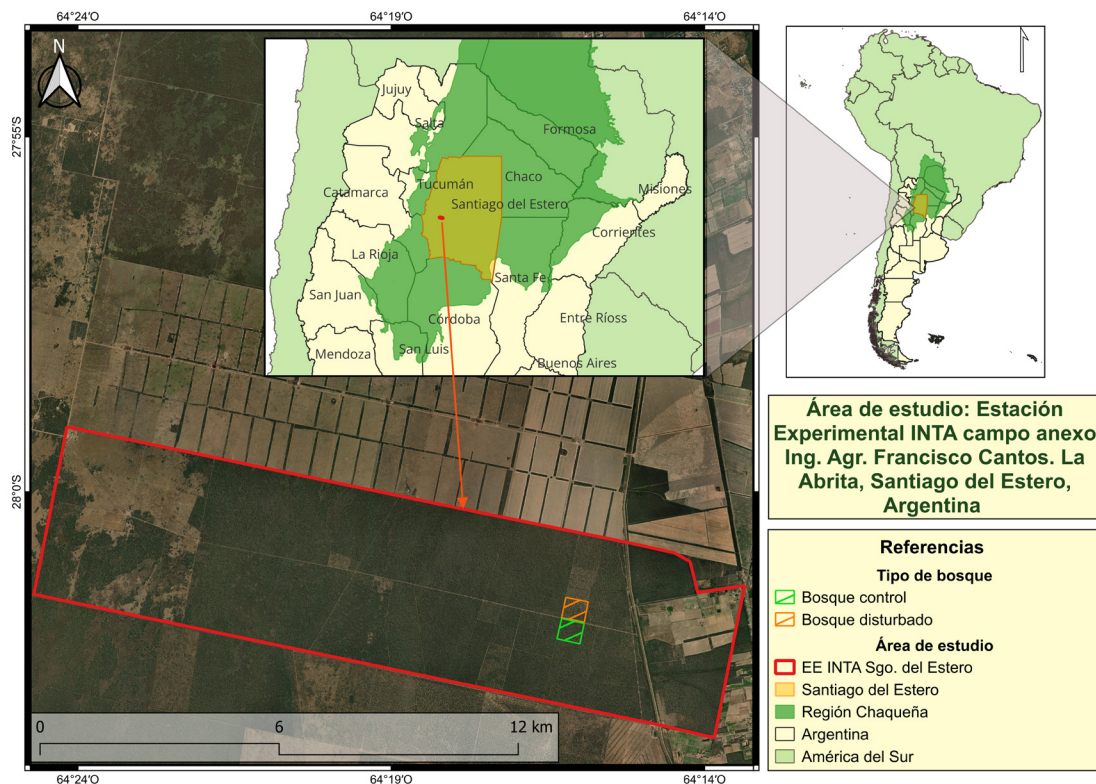
El presente trabajo tiene por objetivo evaluar la emergencia de plántulas *in situ* a partir de la siembra directa de cuatro especies leñosas nativas de bosques chaqueños: *Aspidosperma quebracho-blanco*, *Schinopsis*

*lorentzii*, *Neltuma nigra* y *Sarcomphalus mistol*, en bosques con diferente régimen de disturbios, en diferentes micrositios y con tratamientos pregerminativos, según requerimiento de cada especie. Los resultados permitirán esclarecer si el régimen de disturbios afecta la emergencia de plántulas y si los tratamientos pregerminativos son necesarios para una germinación exitosa en ambiente natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la región chaqueña de Argentina (Figura 1), presenta un clima semiárido, con una temperatura promedio del mes más cálido (enero) de 34 °C y la temperatura promedio del mes más frío (julio) de 5 °C. La precipitación promedio anual es de 560 mm y el balance hídrico es negativo durante gran parte del año (Boletta *et al.*, 2006). El paisaje de esta región es un mosaico, donde se alternan bosques semicaducifolios esclerófilos de madera dura, pastizales pirogénicos y edáficos, sabanas y arbustales densos (Fernández *et al.*, 2019; Loto & Bravo, 2020). Los suelos son salino-sódicos, de textura franco-arcillosa a franco-arcillo-arenosa, con buen drenaje bajo cobertura arbórea (Ledezma *et al.*, 2018; Urinovsky *et al.*, 2021).



**Figura 1.** Área de estudio “Estación Experimental Ing. Agr. Francisco Cantos” INTA Santiago del Estero. Referencias: Región Chaqueña en verde, bosque disturbado (BD) con rolado y aprovechamiento forestal en líneas naranjas y bosque control (BC) en líneas verdes.

El sitio de estudio está ubicado en la Estación Experimental Francisco Cantos perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (27°46'46" S; 64°15'22" O), provincia de Santiago del Estero. En este campo experimental existen bosques en condición de referencia y bosques chaqueños sometidos a prácticas de manejo forestal, como el rolado y fuego prescrito para controlar la vegetación arbustiva (Coria *et al.*, 2016). Se seleccionaron dos sitios experimentales de aproximadamente 30 ha cada uno, con diferente manejo: un bosque de referencia, el cual actúa como control (BC) ya que no se realizan actividades antrópicas desde hace cuatro décadas, y un bosque disturbado (BD) donde se realizaron actividades de rolado de bajo impacto y aprovechamiento forestal para leña y carbón dieciséis años antes del estudio.

## Selección de especies y recolección de frutos

Las especies seleccionadas para realizar el experimento fueron las siguientes:

- *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltl., de nombre vulgar quebracho blanco, es una especie arbórea nativa de hasta 20 metros de altura, representativa del dosel superior de los bosques chaqueños. Su fruto es una cápsula leñosa aovada, de 7 a 11 cm de longitud por 4 a 6 cm de ancho y 1 a 2 cm de espesor (Alzugaray *et al.*, 2006, Tálamo *et al.*, 2012). Sus semillas tienen un diámetro entre 5 y 7 cm, fuertemente comprimidas en el fruto. La madurez de los frutos y la cosecha óptima ocurre entre los meses de julio y noviembre (Abraham de Noir *et al.*, 2002).
- *Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl., quebracho colorado santiagueño, es una especie arbórea nativa y dominante del dosel superior de los bosques chaqueños. Su fruto es una sámara castaño-rojiza cuando está inmadura y parda al madurar, de consistencia semileñosa (Giménez & Moglia, 2003).
- La fecha óptima de cosecha de frutos es entre los meses de julio y noviembre (Abraham de Noir *et al.*, 2002). Dada la consistencia semileñosa de los frutos, la cual dificulta la liberación de su semilla, se trabajó con la parte seminal de la sámara en la siembra a campo.
- *Neltuma nigra* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis, conocida como algarrobo negro, es una especie arbórea nativa de hasta 16 metros de altura, representativa del estrato medio de los bosques chaqueños. Es resistente a sequías y a la salinidad y por su capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, es prometedora para restaurar ambientes degradados. Los frutos son vainas carnosas, coriáceas e indehiscentes (Giamminola *et al.*, 2012). Las semillas son elípticas (3.5 – 7.5 mm de longitud y 2.7 – 4.2 mm de ancho); sus frutos alcanzan la madurez óptima de cosecha (MOC) en enero y febrero (Abraham de Noir & Bravo, 2014).
- *Sarcomphalus mistol* (Griseb.) Hauenschild es una especie arbórea del estrato medio de los bosques chaqueños, de hasta 10 metros de altura. El fruto es una drupa de 1.5 cm de diámetro y contiene en el interior de su endocarpo, de una a tres semillas (Aráoz *et al.*, 2004). Dado que es sumamente difícil la liberación de las semillas, se trabajó con los endocarpos en este experimento. Su MOC es en enero-febrero (Abraham de Noir & Bravo 2014).

Durante el año 2021, siguiendo el calendario fenológico de las especies seleccionadas (Abraham de Noir & Bravo, 2014), se recolectaron frutos maduros de 5 ejemplares adultos de las cuatro especies estudiadas en el

sitio de estudio (Estación Experimental Francisco Cantos, 27°46'46" S; 64°15'22" O), provincia de Santiago del Estero. La recolección de frutos fue manual, utilizando una tijera de altura de 3 metros de extensión.

Para el experimento se trabajó con semillas de *A. quebracho-blanco* y *N. nigra*, las sámaras de *S. lorentzii* y los endocarpos de *S. mistol*. La limpieza, acondicionamiento y selección de frutos se realizaron siguiendo criterios de sanidad habituales en estudios de calidad y rasgos de semillas en especies del bosque chaqueño (Bertuzzi *et al.*, 2023). Se seleccionaron semillas sin señales de daños por insectos, hongos o presencia de semillas vanas (Abdala *et al.*, 2020). Las mismas se almacenaron en frascos herméticos etiquetados en frío (7 °C) hasta la fecha del ensayo de viabilidad y la siembra a campo. Las actividades detalladas anteriormente se realizaron en el laboratorio de semillas de la cátedra de Botánica General, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

## Evaluación de viabilidad

Previo a la siembra directa, a los 15 días de la cosecha de frutos, se realizó el análisis de viabilidad mediante la prueba topográfica por tetrazolio (TZ), siguiendo la metodología de Franca-Neto & Krzyzanowski (2019) para las cuatro especies estudiadas. Debido a que esta prueba requiere el uso de semillas individuales, previamente se realizó la liberación de las semillas en *S. lorentzii* y *S. mistol*. Las semillas se sumergieron durante 24 h en agua destilada para lograr la imbibición de 4 réplicas de 25 semillas para cada especie. Luego se colocaron en una solución de tetrazolio al 0.1%, en vasos de precipitado envueltos con papel aluminio para lograr oscuridad, en una cámara de germinación a 28°C. Para la evaluación, se consideraron como semillas viables a las que se tiñeron de un color rosado oscuro, prestando especial atención en la zona de la radícula y de los cotiledones, mientras que aquellos embriones que tenían ausencia de coloración o una coloración rosa claro no homogéneo en zona radicular y/o cotiledonar, se consideraron no viables (Ibáñez Moro, 2022).

## Diseño experimental

El diseño experimental aplicado fue un multifactorial con cuatro factores: sitio (bosque control, BC; y bosque disturbado, BD), micrositio (bajo cobertura de copa y sin cobertura), especie (*S. lorentzii*, *A. quebracho-blanco*, *N. nigra* y *S. mistol*) y tratamiento pregerminativo, los cuales se describen con mayor detalle más adelante.

El modelo estadístico incluyó como efectos fijos al sitio (S), micrositio (M), especie (E) y tratamiento pregerminativo (T), así como todas sus interacciones. El árbol fue incorporado como efecto aleatorio para considerar la no independencia entre observaciones dentro de cada unidad experimental.

La estructura del modelo fue la siguiente:

$$Y_{ijklm} \sim NB(\mu_{ijklm}, \theta)$$

$$Y_{ijklm} = \mu + S_i + M_j + E_k + T_l + (S \times M)_{ij} + (S \times E)_{ik} + (S \times T)_{il} + (M \times E)_{jk} + (M \times T)_{jl} + (E \times T)_{kl} + (S \times M \times E)_{ijk} + (S \times M \times T)_{ijl} + (S \times E \times T)_{ikl} + (M \times E \times T)_{jkl} + (S \times M \times E \times T)_{ijkl} + b_m + \epsilon_{ijklm}$$

Donde:

$Y_{ijklm}$  representa el número de plántulas emergidas;

$\mu_{ijklm}$  la media esperada;

$b_m$  el efecto aleatorio asociado al árbol, asumiendo  $b_m \sim N(0, \sigma^2)$

Para evitar la depredación, la siembra directa se realizó siguiendo la metodología propuesta por [Commander et al. \(2013\)](#) que consiste en utilizar celdas delimitadas por mallas plásticas de 0.5 m x 0.5 m (0.25 m<sup>2</sup>). En cada celda (unidad experimental) se colocaron 100 semillas de una misma especie, enterradas a 3 cm de profundidad, reuniendo un total de 1200 semillas por especie en ambos sitios ([Figura 2](#)).

Se utilizaron 3 réplicas por cada combinación de factores, representadas por tres árboles maduros de cada especie en ambos sitios. Los árboles se seleccionaron al azar como individuos focales y se ubicaron a una distancia aproximada de 50 m entre sí. Para evaluar el efecto del micrositio, en cada réplica se instalaron celdas con semillas de la misma especie del árbol focal, en dos condiciones: a) bajo cobertura de copa del árbol focal y b) fuera de la cobertura de copa, en espacios abiertos dentro del bosque. Esta disposición de las celdas se aplicó tanto en el bosque control (BC) como en el bosque disturbado (BD) ([Figura 1](#); [Figura 2](#)).

En resumen, la combinación de los factores sitio (2 niveles), especie (4 niveles), micrositio (2 niveles) y tratamiento pregerminativo (2 niveles) dio lugar a 32 tratamientos. Cada combinación fue replicada tres veces (tres árboles focales por especie en cada sitio), resultando en 96 unidades experimentales (celdas) en total.

Previo a la siembra a campo, se realizaron diferentes tratamientos pregerminativos a las semillas o parte de los frutos, según la especie, para favorecer la germinación, y se sembraron semillas o frutos sin tratar, que actuaron como control. Los tratamientos pregerminativos aplicados fueron:

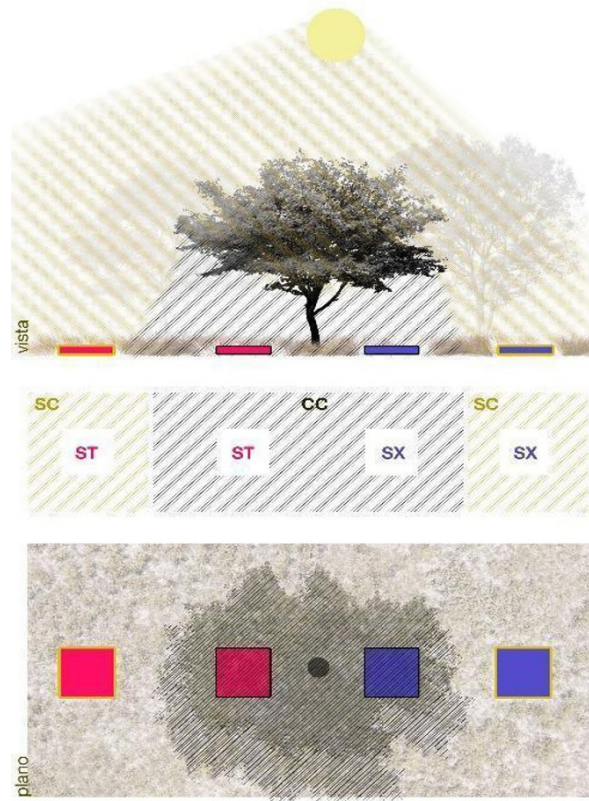
*A. quebracho-blanco* imbibición entre papeles en agua destilada a 25 °C durante 24 h previas a la siembra ([Barchuk et al., 2005](#));

*N. nigra* escarificación mecánica de la cubierta seminal con lija de granulometría 100 ([Utello et al., 2023](#));

*S. lorentzii* y *S. mistol* ruptura mecánica del pericarpio con morsa ([Giamminola et al., 2012](#)).

## Evaluación de emergencia de plántulas

El ensayo de siembra directa se realizó durante los años 2021-2022. Los frutos de *A. quebracho-blanco* y *S. lorentzii* se cosecharon entre agosto y septiembre del año 2021, y en el caso de *N. nigra* y *S. mistol*, los frutos se recolectaron entre diciembre de 2021 y enero de 2022, siguiendo el calendario fenológico de las especies nativas de la región chaqueña ([Abraham de Noir & Bravo, 2014](#)). La siembra se realizó entre diciembre de 2021 y marzo de 2022. La elección de estas fechas respondió a la fenología reproductiva de las especies, la disponibilidad de frutos y semillas para su cosecha y la logística necesaria para la limpieza y acondicionamiento del material.



**Figura 2.** Esquema del diseño de estudio. Superior: Vista lateral del individuo arbóreo. Inferior: Vista del individuo en plano. ST: Semillas tratadas; SX: Semillas Control; SC: Sin Cobertura de copa; CC: Con Cobertura de copa.

Asimismo, se definió que la siembra se realice en el período estacional de lluvias, considerando que la región chaqueña presenta un régimen climático marcadamente estacional en relación con las precipitaciones.

A los 20 días posteriores a la siembra se realizó el conteo de plántulas emergidas por celda para las especies estudiadas. Esta evaluación consideró plántulas emergidas a aquellas cuyos cotiledones emergieron de la cubierta seminal, ya que las cuatro especies estudiadas presentan germinación fanerocotiledonar (Giménez & Moglia, 2003; Aráoz *et al.*, 2004). El monitoreo se efectuó una única vez, por lo que no fue posible evaluar la supervivencia de las plántulas a lo largo del tiempo. En consecuencia, los valores obtenidos corresponden exclusivamente a la emergencia de plántulas por celda.

### Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva para los datos de viabilidad de las semillas de las cuatro especies estudiadas.

Para la evaluación de la siembra directa, se sometió la variable respuesta “número de plántulas emergidas por celda” a un análisis exploratorio que determina qué distribución teórica describe apropiadamente su

comportamiento. Dado que son datos provenientes de conteos, los cuales no se ajustan a una distribución normal, sin cumplimiento de supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas, se empleó un modelo lineal generalizado (GML). Los GML son modelos con una estructura más flexible, que permite modelar una variable respuesta que sigue distribuciones del tipo exponencial como la distribución Poisson o la Binomial negativa (Vázquez *et al.*, 2025).

Para ello, se evaluó el efecto de los factores sitio (según historia de uso, BC y BD), micrositio (bajo cobertura de copa y sin cobertura), tratamiento pregerminativo (con y sin tratamiento) y especie (*A. quebracho-blanco* y *N. nigra*) sobre la variable respuesta. Se compararon las distribuciones Poisson, binomial y binomial negativa mediante los criterios de información de Akaike (AIC), Bayesiano (BIC) y la deviance. Si bien el total de semillas sembradas por celda era conocido ( $n = 100$ ), lo que en principio sugería una distribución binomial, se verificó la presencia de sobredispersión mediante la ratio deviance/grados de libertad, criterio bajo el cual se seleccionó la distribución binomial negativa como la más adecuada para el modelado.

Los factores sitio, micrositio, especie y tratamiento pregerminativo se incluyeron como efectos fijos, mientras que el árbol individual se incorporó como efecto aleatorio para controlar la correlación entre cajas provenientes del mismo individuo. Las comparaciones entre grupos se realizaron mediante contrastes post-hoc con corrección de Tukey para comparaciones múltiples (emmeans, Lenth, 2023). La bondad de ajuste global del modelo se evaluó mediante el  $R^2$  marginal y condicional. El procesamiento de los datos se realizó empleando el software R con la interfaz de usuario RStudio v4.3 (R Core Team, 2024) con los paquetes *lme4* (Bates *et al.*, 2015), *emmeans* (Lenth, 2023) y *MuMIn* (Bartoń, 2023).

## RESULTADOS

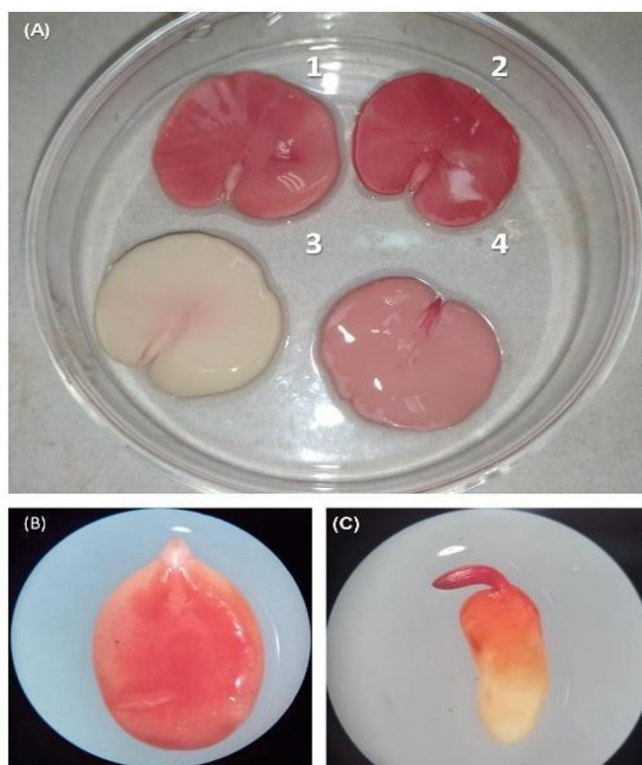
### Evaluación de viabilidad

Los valores promedio de viabilidad de los lotes de semillas ensayados por especies fueron los siguientes: *S. lorentzii* 65% (DE= 0.95), *S. mistol* 65% (DE= 2.75), *A. quebracho-blanco* 63% (DE=2.64) y *N. nigra* 53% (DE=2.16) (Figura 3).

### Evaluación de plántulas emergidas

El número de plántulas emergidas por especie en función del tratamiento pregerminativo aplicado, el micrositio (con y sin cobertura arbórea), en bosques con distinto régimen de disturbios (BC y BD), se muestra en la Figura 4.

Solo se observó reclutamiento de *A. quebracho-blanco* y *N. nigra* en ambos tipos de bosques (Tabla 1, Figura 4 y 5). En contraste, no se registró emergencia de plántulas de *S. lorentzii* ni de *S. mistol* durante el período de evaluación, a pesar de que las semillas presentaron valores de viabilidad aceptables. Debido a esta ausencia de reclutamiento, los análisis estadísticos se realizaron únicamente para las dos especies que presentaron emergencia.



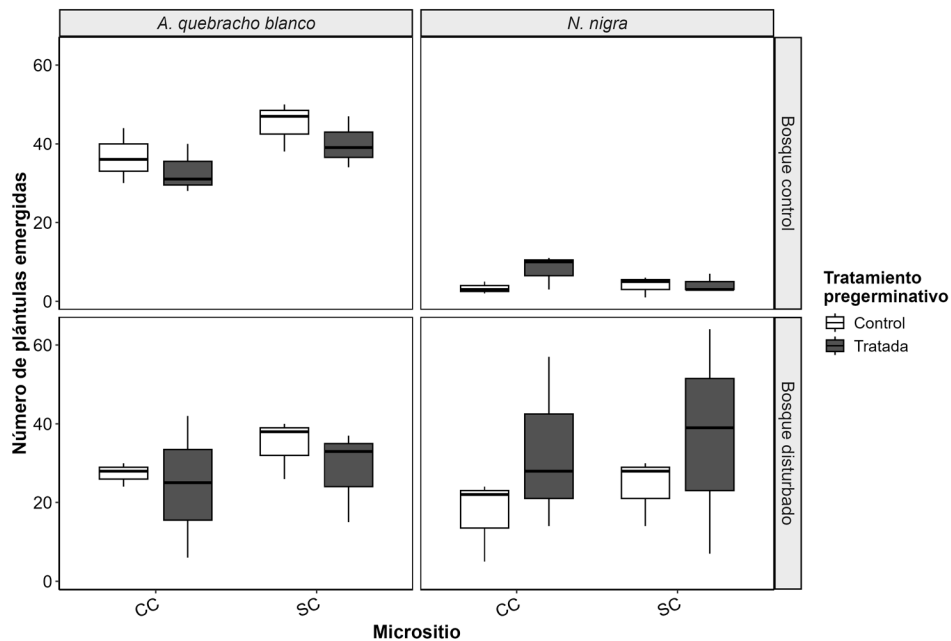
**Figura 3.** Macroscopía de semillas en prueba de tetrazolio en *A. quebracho-blanco* (A). Diferencias entre embriones viables (A1, A2 y A4) y embriones no viables (A3). (B) Detalle de embrión viable de *N. nigra*. (C) Detalle de embrión viable de *S. lorentzii*.

La selección de la distribución más adecuada para la variable respuesta se realizó comparando el ajuste de los datos a las distribuciones binomial, Poisson y binomial negativa mediante los criterios AIC, BIC y deviance. Dado que se detectó sobredispersión de los datos, la distribución binomial negativa resultó la más adecuada (AIC = 350.7 vs. 376.6 y 822.2 para la binomial y Poisson, respectivamente). Además, la sobredispersión residual del modelo fue adecuada (ratio deviance/gl = 1.35), confirmando que la distribución binomial negativa capturó correctamente la estructura de la varianza de los datos. Asimismo, la bondad de ajuste global del modelo resultó en un  $R^2_m = 0.79$ . Es decir que el 79% de la varianza en la emergencia de plántulas está explicada por los efectos hijos.

El análisis estadístico reveló un efecto significativo de la especie sobre la emergencia de plántulas ( $\chi^2 = 27.41$ ,  $gl = 1$ ,  $p < 0.001$ ), indicando que *N. nigra* y *A. quebracho-blanco* difieren sustancialmente en su capacidad de reclutar. Así mismo, se determinó que la interacción sitio x especie es significativa ( $\chi^2 = 19.55$ ,  $gl = 1$ ,  $p < 0.001$ ), lo que indica que las especies responden de manera diferente según el régimen de disturbios de los sitios. Siguiendo la línea de análisis, la interacción especie x tratamiento pregerminativo dio significativa ( $\chi^2 = 4.57$ ,  $gl = 1$ ,  $p = 0.033$ ), lo que se evidencia en la mayor germinación de semillas escarificadas de *N. nigra* en BD. El resto de los efectos principales como microsítio y sus interacciones evaluadas no resultaron estadísticamente significativos ( $p > 0.05$ ).

El análisis post hoc mediante comparaciones múltiples con corrección de Tukey indicó diferencias significativas en la emergencia de plántulas entre sitios para cada especie. *A. quebracho-blanco* presentó mayor emergencia en el bosque control (BC) que en el bosque disturbado (BD) ( $38.5 \pm 8.93$  vs.  $28.1 \pm 6.57$  plántulas;  $p = 0.0025$ ). En contraste, *N. nigra* mostró mayor emergencia en BD ( $23.2 \pm 5.48$  plántulas) que en BC ( $4.1 \pm 1.10$ ;  $p < 0.0001$ ).

Al considerar además el efecto del tratamiento pregerminativo sobre la interacción especie  $\times$  sitio, *N. nigra* presentó mayor emergencia en semillas escarificadas en BD ( $29.70 \pm 7.30$  plántulas;  $p = 0.0020$ ; [Tabla 1](#)) en comparación con BC ( $18.11 \pm 4.58$  plántulas).

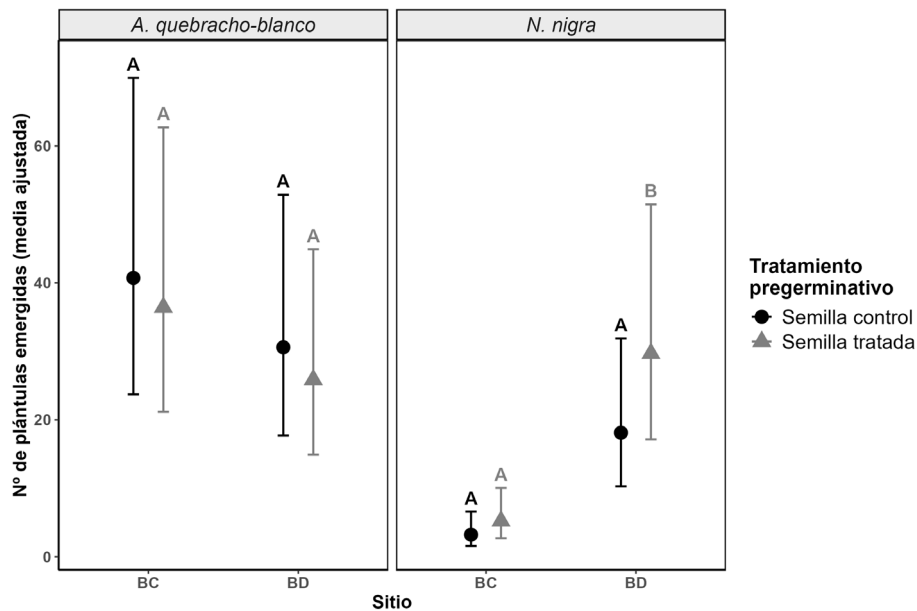


**Figura 4.** Número de plántulas emergidas *in situ* de *A. quebracho-blanco* y *N. nigra* discriminado por sitio, micrositio, especie y tratamiento pregerminativo. Condición de micrositios, CC: con cobertura, SC: sin cobertura.

**Tabla 1.** Medias ajustadas ( $\pm$ EE) del número de plántulas emergidas por caja ( $n=100$ ) según especie, sitio y tratamiento pregerminativo. Valores estimados mediante un GLM con distribución binomial negativa ( $R^2_m = 0.79$ ).

Especie	Bosque disturbado (BD)		Bosque control (BC)	
	Semillas tratadas	Semillas no tratadas	Semillas tratadas	Semillas no tratadas
<i>A. quebracho-blanco</i>	25.87 (EE:6.38)	30.60 (EE:7.48)	36.44 (EE:8.85)	40.73 (EE:9.85)
<i>N. nigra</i>	29.70 (EE:7.30)	18.11(EE:4.58)	5.22 (EE:1.53)	3.22 (EE:1.03)

EE: error estándar de la media ajustada. Valores promedios sobre los niveles de micrositio (factor no significativo).



**Figura 5.** Medias ajustadas ( $\pm$  IC 95%) del número de plántulas emergidas por especie (*A. quebracho-blanco*, *N. nigra*) según sitio (BC: bosque control y BD: bosque disturbado) y tratamiento pregerminativo. Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada combinación especie x sitio ( $p < 0.05$ ). Los valores fueron estimados a partir de un GML con distribución binomial negativa.

## DISCUSIÓN

En este trabajo se evaluó la emergencia de plántulas a campo de *A. quebracho-blanco*, *S. lorentzii*, *N. nigra* y *S. mistol*, en bosques con diferentes disturbios, en distintos micrositios (bajo cobertura de copa y fuera de ella), empleando siembra directa y utilizando mallas plásticas para evitar riesgos de depredación de semillas durante el desarrollo del ensayo (Commander *et al.*, 2013). La siembra directa es considerada una metodología apropiada para aplicar en áreas extensas bajo restauración, dada la practicidad y la disminución de los costos respecto a la producción de plantas en contenedor (Pérez *et al.*, 2019; Hernández & Pérez, 2021; Rodríguez Araujo, 2021). Actualmente, esta técnica se encuentra dentro de un campo dinámico y en constante evolución, buscando dar soluciones ambientales alternativas para recuperar los ecosistemas degradados, principalmente en ambientes semiáridos.

Los porcentajes de viabilidad de los lotes de semillas de las especies estudiadas (entre 53 y 65 %) difieren de los valores informados por Ibáñez Moro *et al.* (2024) para las especies estudiadas, dentro de la misma área biogeográfica. Estos autores refieren porcentajes de viabilidad más bajos en *A. quebracho-blanco*, *S. lorentzii* y *S. mistol*, y mayores a lo observado en nuestro trabajo en *N. nigra*, lo que reafirma la variabilidad interanual en la calidad de semillas de especies chaqueñas (Fontana, 2019; Bertuzzi *et al.*, 2023).

La ausencia de emergencia de plántulas de *S. lorentzii* y *S. mistol* en este estudio sugiere que la disponibilidad de semillas viables no es el único factor que determina el éxito del reclutamiento de estas especies

(Bravo *et al.*, 2022; Ibáñez Moro *et al.*, 2024). La disponibilidad de agua para la imbibición en especies que dispersan frutos completos como *S. lorentzii* y *S. mistol* podría ser un cuello de botella que limita la germinación y el establecimiento de plántulas en condiciones naturales. El año de siembra (2021-2022) presentó un 11 % de precipitaciones superiores al promedio histórico (671.3 mm), pero la distribución de lluvias durante el año del ensayo fue irregular (Boletín Meteorológico del Campo Experimental Francisco Cantos, 2021), concentrándose en los meses de enero, febrero y noviembre. Este patrón genera ventanas estrechas e impredecibles para la germinación y establecimiento de plántulas en ambientes con déficit hídrico, altas temperaturas y una creciente incidencia de olas de calor (Tiedemann *et al.*, 2011; Abdala *et al.*, 2020).

El efecto del sitio (BC, BD) sobre la emergencia de plántulas de *A. quebracho-blanco* y *N. nigra* sugiere requerimientos particulares de las especies para germinar y/o establecer plántulas a campo. Sin embargo, la ausencia de un efecto de micrositios (bajo y sin cobertura) parece indicar la adaptación de estas especies para reclutar dentro de las condiciones ambientales presentes en estos bosques semiáridos donde la disponibilidad de luz no es limitante aún en bosques conservados.

Si bien las especies de *Aspidosperma* son consideradas heliófilas (Tálamo & Caziani, 2003; Kunst *et al.*, 2016), la mayor emergencia de plántulas de *A. quebracho-blanco* en BC y la ausencia de un efecto significativo de micrositios podría indicar una mayor demanda de calidad de sitio para reclutar en esta especie, y que el mejor balance hídrico en ambientes de mayor estructura favorece su reclutamiento (Figura 5). Tálamo *et al.* (2013) determinaron una asociación positiva entre la cobertura de otras leñosas y la densidad de plántulas de las especies dominantes de los bosques chaqueños, a diferencia de lo que aquí observamos.

La mayor emergencia de plántulas de *N. nigra* en BD reafirma el rasgo de especie pionera, característica de las Fabaceae (Fagundes *et al.*, 2020). Además, la mayor emergencia de plántulas observada en semillas escarificadas de *N. nigra*, indica la importancia del pretratamiento para romper la dormición (Ibáñez Moro *et al.*, 2024) y obtener mejores resultados mediante siembra directa en esta especie. Una de las características del género *Neltuma* es la adaptación a condiciones extremas (altas temperaturas, sequías, salinidad, entre otros), y el valor ecológico y económico de sus especies en ambientes áridos y semiáridos (Álvarez & Villagra, 2010; Rodríguez Araujo, 2021; Renzi *et al.*, 2024). Algunas especies del género son consideradas promisorias para programas de restauración ecológica, siendo *N. alba* una de las especies más difundidas. Nuestros resultados indican que la siembra directa es una alternativa viable para *N. nigra*, lo que contribuiría a alcanzar metas de restauración a menor costo.

*A. quebracho-blanco*, una de las especies del dosel de bosques chaqueños, posee una gran aptitud para germinar y establecer plántulas mediante siembra directa, lo que podría incrementar la eficiencia de la restauración ecológica, contribuyendo a la recuperación de la estructura de bosques degradados. La selección de *A. quebracho-blanco* y *N. nigra* en tareas de restauración de bosques chaqueños degradados se presenta como promisorias para ambientes chaqueños, y el pretratamiento de las semillas de esta última especie permitiría aún obtener mejores resultados.

Si bien la siembra directa se plantea como una alternativa menos costosa y apta para ecosistemas áridos y semiáridos, el manejo post restauración de las áreas intervenidas, sobre todo en las etapas iniciales, es un desafío para los gestores ambientales, ya que requiere el control del pastoreo de ganado silvestre y doméstico, y del monitoreo para la reposición de pérdidas durante el proceso de establecimiento de plántulas (González *et al.*, 2023).

## CONCLUSIONES

La restauración activa de bosques chaqueños degradados podría contribuir a mitigar los efectos de los diversos disturbios sobre los cambios en su estructura y composición de especies, así como la provisión de servicios ecosistémicos. Los resultados de este trabajo posicionan a *A. quebracho-blanco* y *N. nigra* como especies valiosas para restauración ecológica mediante siembra directa en ambientes semiáridos de la Región Chaqueña. La primera especie requiere aparentemente mejor calidad de sitio, ya que se recluta más eficientemente en el bosque control. *N. nigra* se presenta como una alternativa viable aún para bosques disturbados, siendo requisito el tratamiento pregerminativo para un reclutamiento exitoso. Nuestros resultados pueden contribuir al éxito de las acciones de restauración en bosques semiáridos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Ing. Roxana Abdala, directora del Banco de Germoplasma de la Facultad de Ciencias Forestales, por su valiosa colaboración en las actividades de laboratorio y de campo. Este trabajo fue financiado mediante una beca EVC-CIN, en el marco del proyecto “*Reclutamiento de especies leñosas y disponibilidad de micrositios para su establecimiento en bosques disturbados del Chaco Occidental*”, dirigido por la Dra. Sandra Bravo. Asimismo, se agradece al INTA por facilitar sus instalaciones para el desarrollo de las actividades de campo.

## CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

B. C. C. y B. S. J. idearon la investigación; B. C.C. llevó a cabo la investigación en terreno y analizó los datos; B. C. C., B. S. J. redactaron el manuscrito. Todos los autores contribuyeron a la discusión y comentaron los borradores.

## DECLARACIÓN DE USO DE IA

**Herramienta utilizada:** Se utilizaron las siguientes herramientas de inteligencia artificial: ChatGPT, Claude, DeepL y Grammarly.

**Propósito del uso:** Se utilizaron para revisión gramatical, traducción y reformulación de párrafos del manuscrito.

**Prompts o instrucciones proporcionadas:** Se utilizaron instrucciones orientadas a mejorar la claridad y calidad del texto.

**Uso del contenido generado:** El contenido generado por la herramienta fue utilizado como base para la reformulación de algunos fragmentos del manuscrito, siendo posteriormente modificado y adaptado por los autores.

**Revisión y edición:** Todo el contenido generado fue revisado, corregido y validado por los autores antes de su incorporación en la versión final del manuscrito.

**Limitaciones y consideraciones éticas:** Se reconoce que las herramientas de inteligencia artificial pueden generar errores o imprecisiones, por lo que su uso se limitó exclusivamente al apoyo en la redacción. Los autores asumen la responsabilidad total por el contenido final del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Abdala, N. R., Bravo, S., & Acosta, M.** (2020). Germinación y efectos de almacenamiento de frutos de *Prosopis ruscifolia* (Fabaceae). *Bosque*, 41(2), 103-111.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000200103>
- Abdala, N. R.** (2016). *Banco de semillas en el suelo de especies leñosas de un bosque nativo del Chaco semiárido* [Tesis de maestría. Universidad Nacional de Santiago del Estero].
- Abraham de Noir, F., & Bravo, S.** (2014). *Frutos de leñosas nativas de Argentina: Parte I. Chaco Occidental y Serrano*. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Abraham de Noir, F., Juárez, M. L., Boletta, P., & Saavedra de Ávila, S.** (2002). Ripeness and seed dispersal in a semiarid region of Argentina and their relation with some climatic factors. *Foresta Veracruzana*, 4(1), 7-13.
- Álvarez, J. A., & Villagra, P. E.** (2010). *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae). *Kurtziana*, 35(1), 47-61.
- Alzugaray, C., Carnevale, N. J., & Salinas, A. R.** (2006). Crecimiento en plantas jóvenes de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht. *Lilloa*, 43(1-2), 3-12.
- Aráoz, S., Del Longo, O., & Karlin, O.** (2004). Germinación de semillas de *Ziziphus mistol* Grisebach I: Viabilidad durante el almacenaje en frío y a temperatura ambiente. *Multequina*, 13, 39-43.
- Araujo, P., Iturre, M. C., Acosta, V. H., & Renolfi, R. F.** (2008). Estructura del bosque de La María EEA INTA Santiago del Estero. *Quebracho: Revista de Ciencias Forestales*, 16, 5-19.
- Barchuk, A. H., Campos, E., Oviedo, C., & Díaz, M. del P.** (2005). Germinación de semillas de especies leñosas del Chaco seco de Córdoba, Argentina. *AgriScientia*, 22(1), 33-41.
- Bartoñ, K.** (2023). *MuMIn: Multi-model inference* (Version 1.47.5) [Paquete de R].  
<https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>

- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S.** (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48.  
<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bertuzzi, T., López-Spahr, D., Gómez, C. A., Sühling, S., Malagrina, G., Baskin, C. C., & Galíndez, G.** (2023). Variation in seed dormancy of Chaco seasonally dry forest species: Effects of seed traits and population environmental conditions. *Plants*, 12(9), 1790.  
<https://doi.org/10.3390/plants12091790>
- Boletta, P. E., Ravelo, A. C., Planchuelo, A. M., & Grilli, M.** (2006). Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, 228(1-3), 108-114.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.045>
- Bravo, S., Abdala, N. R., Santacruz García, A. C., Loto, D. E., Ibáñez Moro, V., del Corro, F. I., & Ojeda, F.** (2022). La vegetación chaqueña y su relación con los disturbios, desde una perspectiva funcional. En M. Martínez, M. L. Juliá, A. M. del P. Domínguez, M. Riso Patrón, M. Gullota, M. J. Benac, & A. E. Ledesma (Eds.), *La investigación científica en la Universidad Nacional de Santiago del Estero y sus aportes a la sociedad* (1ª ed., pp. 856-881). Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Bravo, S., Abdala, R., del Corro, F. I., Ibáñez Moro, A. V., Santacruz García, A. C., Loto, D. E., & Ojeda Brozovich, F. A.** (2018). Regeneración en especies de leñosas nativas del Chaco de Argentina y su respuesta a los disturbios. En A. M. Giménez & G. I. Bolzón de Muñiz (Eds.), *Los bosques y el futuro: Consolidando un vínculo permanente en educación forestal* (pp. 127-150). Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales.
- Bravo, S., Abdala, R., & Pece, M.** (2011). Treatments to improve germination of *Prosopis kuntzei*. *Seed Technology Journal*, 33(1), 53-62.
- Commander, L. E., Rokich, D. P., Renton, M., Merritt, D. J., & Dixon, K. W.** (2013). Optimising seed broadcasting and greenstock planting for restoration in the Australian arid zone. *Journal of Arid Environments*, 88, 226–235.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.08.012>
- Coria, R. D., Coria, O. R., & Kunst, C. R.** (2016). Diversidad y composición de especies de aves en un gradiente bosque-arbustal-sabana del Chaco Semiárido, Argentina. *Ornitología Neotropical*, 27(1), 1-15.  
<https://doi.org/10.58843/ornneo.v27i0.6>
- Cotroneo, S. M., Jacobo, E. J., & Brassiolo, M. M.** (2021). Procesos de degradación y estrategias adaptativas en bosques comunales del Chaco seco argentino. Integrando el conocimiento y las percepciones de las partes interesadas. *Ecosystems and People*, 17(1), 507-522.  
<https://doi.org/10.1080/26395916.2021.1972042>
- Del Corro, F. I.** (2023). *Comunidades leñosas nativas frente a disturbios antrópicos: Un enfoque funcional en el Chaco semiárido, Argentina* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Santiago del Estero]. Repositorio Institucional UNSE.  
<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/Vol31n2a07-FDC.pdf>

- Díaz, S., Cabido, M., Zak, M., Martínez Carretero, E., & Aranibar, J.** (1999). Rasgos funcionales de las plantas, estructura del ecosistema e historia del uso de la tierra a lo largo de un gradiente climático en el centro-oeste de Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 10,(5), 651–660.  
<https://doi.org/10.2307/3237080>
- Fagundes, M., Cuevas-Reyes, P., Araújo, W. S., Faria, M. L., Valerio, H. M., Pimenta, M. A., Falcão, L. A. D., Reis-Junior, R., Aguilar-Peralta, J. S., & dos Santos, H. T.** (2020). Influence of light availability and seed mass on germinability and initial growth of two congeneric species of Fabaceae. *Acta Botanica Mexicana*, 2020(127), e1638.  
<https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1638>
- Fernández, P., Baumann, M., Baldi, G., Banegas, N. R., Bravo, S., Gasparri, N. I., Lucherini, M., Marinero, S., Fuentes, M. S., Nanni, A. S., Nasca, J. A., Tessi, T., & Grau, H. R.** (2020). Grasslands and open savannas of the Dry Chaco. En M. I. Goldstein & D. A. DellaSala (Eds.), *Encyclopedia of the World's Biomes* (pp. 562–576). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12094-9>
- Fontana, M. L.** (2019). *Evaluación de parámetros de calidad en semillas y plantas de Prosopis alba de distintas procedencias* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Nordeste]. Repositorio Institucional UNNE.  
<http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/3792>
- Franca-Neto, J. D. B., & Krzyzanowski, F. C.** (2019). Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. *Journal of Seed Science*, 41(3), 359-366.  
<https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3223104>
- García Collazo, M. A., Panizza, A., & Paruelo, J. M.** (2013). Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos: Resultados de la zonificación realizada por provincias del Norte argentino. *Ecología Austral*, 23(2), 97–107.  
<https://doi.org/10.25260/ea.13.23.2.0.1165>
- Giamminola, E. M., Morandini, M. N., & de Viana, M. L.** (2012). Respuesta a la desecación y a la temperatura de almacenamiento del germoplasma de *Prosopis nigra* (Grisebach) Hieron. y *Ziziphus mistol* Griseb. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 19–25.
- Jiménez, A. M., & Moglia, J. G.** (2003). *Árboles del Chaco argentino: Guía para el reconocimiento dendrológico*. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- González, L., Muñoz, L., Granda, V., & Aguirre, Z.** (2023). Monitoreo del crecimiento en un ensayo de restauración de matorral andino en la hoya de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 13(1), 68-82.  
<https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1735>
- Grau, H. R., Gasparri, N. I., & Aide, T. M.** (2005). Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environmental Conservation*, 32(2), 140–148.  
<https://doi.org/10.1017/S0376892905002092>

- 
- Hernández, J. A., & Pérez, D. R.** (2021). Tratamientos germinativos para restauración ecológica en gran escala en tierras secas: avances en *Larrea cuneifolia* Cav. *Semiárida*, 31(1), 45-54.  
[https://doi.org/10.19137/semiarida.2021\(01\).45-54](https://doi.org/10.19137/semiarida.2021(01).45-54)
- Ibáñez Moro, V. A., Borghetti, F., Galetto, L., Cellini, J. M., & Bravo, S. J.** (2024). Influencia de los rasgos funcionales de las semillas y las perturbaciones antropogénicas en la persistencia y el tamaño del banco de semillas del suelo de especies de bosques subtropicales secos. *Forest Ecology and Management*, 551, 121524.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121524>
- Ibáñez Moro, A. V.** (2022). *Efecto del fuego en el banco de semillas de especies leñosas nativas del Chaco Occidental de Argentina* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata]. Sedici.  
<https://doi.org/10.35537/10915/148253>
- Ibáñez Moro, A. V., Bravo, S. J., Abdala, N. R., Borghetti, F., Chaib, A. M., & Galetto, L.** (2021). *Heat shock effects on germination and seed survival of five woody species from the Chaco region*. *Flora*, 275, 151751.  
<https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151751>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.** (2021). *Boletín Meteorológico del Año Calendario 2021, Campo Experimental Francisco Cantos* (N.º 152; ISSN 1850-4086).
- Kunst, C., Navall, M., Ledesma, R., Silberman, J., Anríquez, A., Coria, D., ... & Godoy, J.** (2016). Sistemas silvopastoriles en la región del Chaco occidental, Argentina. En P. L. Peri, F. Dube, & A. Varella (Eds.), *Sistemas silvopastoriles en la sur de Sudamérica* (pp. 63-87). INTA.
- Ledesma, R., Elías, A., Kunst, C., Navarrete, V., & Godoy, J.** (2018). Efecto del rolado de baja intensidad (RBI) sobre la distribución radical de pastos y arbustos en un bosque del Chaco occidental. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 44(2), 121-128.
- Lenth, R. V.** (2023). *emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means* (Version 1.8.9) [Paquete de R]. CRAN.  
<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Loto, D., & Bravo, S.** (2020). Species composition, structure, and functional traits in Argentine Chaco forests under two different disturbance histories. *Ecological Indicators*, 113, 106232.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106232>
- Martínez-Garza, C., Campo-Alves, J., Valenzuela-Galván, D., Alba-García, L., & Nicolás-Medina, A.** (2022). Siembra directa de árboles nativos para la restauración de la selva estacionalmente seca. *Acta Botánica Mexicana*, 129, e2126.  
<https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1917>
- Pérez, D. R., González, F., Ceballos, C., Oneto, M. E., & Aronson, J.** (2019). Direct seeding and outplantings in drylands of Argentinean Patagonia: estimated costs, and prospects for large-scale restoration and rehabilitation. *Restoration Ecology*, 27(5), 1105-1116.  
<https://doi.org/10.1111/rec.12961>

- R Core Team.** (2024). *R: A language and environment for statistical computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing.  
<https://www.R-project.org/>
- Renzi, J. P., Quintana, M., Bruna, M., & Reinoso, O.** (2024). Factores ambientales de la persistencia de las semillas y la variación de los rasgos de las plántulas en dos especies de *Neltuma* (Fabaceae). *Seed Science Research*, 34(4), 186-193.  
<https://doi.org/10.1017/S0960258524000205>
- Rodríguez Araujo, M. E.** (2021). *Rehabilitación ecológica de sitios degradados por disturbios severos en el Monte Austral Neuquino: evaluación de la siembra directa con especies nativas* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio Institucional UNLP.
- Rodríguez Araujo, M. E., & Pérez, D. R.** (2023). From seed germination to established seedlings: A comparative evaluation in five shrub species and implications for seed-based restoration in arid lands. *Restoration Ecology*, 31(6), e13862.  
<https://doi.org/10.1111/rec.13862>
- San Martín, R., Ottlé, C., & Sörensson, A.** (2023). Fires in the South American Chaco, from dry forests to wetlands: response to climate depends on land cover. *Fire Ecology*, 19(1), 57.  
<https://doi.org/10.1186/s42408-023-00212-4>
- Tálamo, A., Martínez-Gálvez, M. F., Trigo, C. B., Pérez Viscarra, S., Alauie, A. E., & Núñez-Regueiro, M.** (2021). Ganadería, regeneración y restauración: experiencias desde el bosque chaqueño. *Multequina*, 30(2), 199-209.  
[https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-73292021000200199&lng=es&nrm=iso](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292021000200199&lng=es&nrm=iso)
- Tálamo, A., López de Casenave, J., Núñez-Regueiro, M., & Caziani, S. M.** (2013). Regeneración de plantas leñosas en el Chaco semiárido argentino: relación con factores bióticos y abióticos en micrositios creados por el aprovechamiento forestal. *Bosque*, 34(1), 53-62.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002013000100007>
- Tálamo, A., Cardozo, S., & Mohr, F.** (2012). Producción de semillas de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en un sector del Chaco semiárido y su relación con el tamaño del fruto. *Bosque*, 33(1), 87–91.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000100010>
- Tálamo, A., & Caziani, S. M.** (2003). Variation in woody vegetation among sites with different disturbance histories in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, 184(1–3), 79–92.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00150-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00150-6)
- Tiedemann, J. L.** (2011). Fenología del bosque de las subregiones naturales: Chaco semiárido y Chaco serrano de Santiago del Estero, Argentina. *Ecología Aplicada*, 10(1-2), 51–59.  
<https://doi.org/10.21704/rea.v10i1-2.413>

**Urinovsky Irigoyen, K. M., Toledo, D. M., Arzuaga, S. A., Acosta, M. G. L., & Contreras Leiva, S. M. (2021).** *Indicadores de calidad física en suelos del Chaco semiárido bajo distintos sistemas*. *Agrotecnia*, 31, 5–13.

<https://doi.org/10.30972/agr.0315810>

**Utello, M. J., Tarico, J. C., Demaestri, M. A., & Plevich, J. O. (2023).** Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Prosopis caldenia*. *Bosque*, 44(1), 37–45.

<https://doi.org/10.4067/S0717-92002023000100037>

**Vázquez, M. M., Escamilla, J. B. G., & Rodríguez, A. V. R. (2025).** Estimación de los saberes matemáticos comunitarios y ancestrales sobre longitud en escuelas primarias indígenas y generales de Hidalgo. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(3), 3859 – 3870.

<https://doi.org/10.56712/latam.v6i3.4235>

**Vidal-Riveros, C., Souza-Alonso, P., Bravo, S., Laino, R., & Being, M. A. N. (2023).** Una revisión de los efectos de los incendios forestales en la región del Gran Chaco. *Forest Ecology and Management*, 549, 121432.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121432>

