



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre 2023; 5:1-16. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2023.8>  
Artículo original. Recibido: 21/08/2023. Aceptado: 17/12/2023. Publicado: 23/12/2023. Clave: e2023-23  
<https://www.youtube.com/watch?v=dzdaqph7Qq7E>

## Dispersores de semillas y su influencia en la invasión del pirul (*Schinus molle*) en el centro-norte de México

Seed dispersers and their influence on the invasion of pirul (*Schinus molle*) in north-central Mexico



Alfaro-Reyna Teresa<sup>1</sup> , Arellano-Martín Fernando<sup>2</sup> , Aguirre-Gutiérrez Carlos<sup>1</sup> ,  
Delgado-Balbuena Josué\* 

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar del INIFAP, Ojuelos de Jalisco, Jalisco, México, C. P. 47540. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Chetumal del INIFAP, kilómetro 5 Carretera Federal 307 (Chetumal – Cancún), Xul-Ha, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México, C. P. 77963. \*Autor de correspondencia Delgado-Balbuena Josue. E-mail: alfaro.teresa@inifap.gob.mx, delgado.josue@inifap.gob.mx, arellano.fernando@inifap.gob.mx, aguirre.carlos@inifap.gob.mx

### RESUMEN

La dispersión de semillas desempeña un papel crucial en la colonización de nuevos hábitats, especialmente en entornos áridos con recursos limitados. En el caso del Pirul (*Schinus molle* L.), una especie invasora en México, se realizaron estudios en los Llanos de Ojuelos, Jalisco, para identificar factores y dispersores que contribuyen a su propagación. Se evaluó la regeneración del Pirul en tres localidades con distintos niveles de perturbación, registrando datos fenológicos y monitoreando árboles seleccionados. La modelación de la regeneración natural del Pirul se basó en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México, mientras que la identificación de dispersores se apoyó en datos del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF). Tres especies de aves y dos mamíferos se identificaron como dispersores del Pirul en la región, y la densidad de regeneración de *S. molle* coincidió con la presencia de estos dispersores. El modelo de invasión reveló áreas donde el Pirul no se encuentra actualmente, pero que cuentan con dispersores y condiciones ambientales propicias para su supervivencia y establecimiento.

**Palabras clave:** zoochoria, dispersión de semillas, especies invasoras.

### ABSTRACT

Seed dispersal plays a crucial role in the colonization of new habitats, especially in arid environments with limited resources. In the case of the Pepper Tree (*Schinus molle* L.), an invasive species in Mexico, studies were conducted in the Llanos de Ojuelos, Jalisco, to identify factors and dispersers contributing to its spread. The regeneration of the Pepper Tree was assessed in three locations with varying levels of disturbance, recording phenological data and monitoring selected trees. The modeling of natural Pepper Tree regeneration relied on the National Forest and Soil Inventory of Mexico, and disperser identification was supported by data from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Three bird species and two mammals were identified as Pepper Tree dispersers in the region, and the density of *S. molle* regeneration coincided with the presence of these dispersers. The invasion model revealed areas where the Pepper Tree is currently absent but has dispersers and environmental conditions conducive to its survival and establishment.

**Keywords:** zoochory, seed dispersal, invasive species.



## INTRODUCCIÓN

La dispersión de las semillas es una etapa clave en la historia de vida de las plantas. La persistencia, migración y reclutamiento de plántulas se ven afectados por la distancia de dispersión de las semillas (Thomson *et al.*, 2011), especialmente en zonas con disponibilidad de agua y nutrientes limitados como lo son las zonas áridas. Existen factores abióticos (gravedad, viento, lluvia, etc.) y bióticos (fauna silvestre) que ayudan a superar barreras físicas como son los suelos poco fértiles, la escasez de agua y distancia entre parches de vegetación, transportando las semillas a través de amplias áreas, facilitando la colonización de nuevos hábitats; promoviendo así la formación de comunidades vegetales diversas (Guzmán & Stevenson, 2011; González-Varo *et al.*, 2015). Sin embargo, cuando se trata de especies de plantas invasoras, una mayor dispersión puede tener consecuencias negativas en las zonas de invasión por la expansión de estas plantas, las cuales compiten con las especies nativas por recursos como agua, nutrientes y espacio (Simberloff, 2010). En las zonas áridas, donde los recursos son limitados, esta competencia puede ser aún más intensa. Las especies invasoras a menudo tienen ventajas competitivas, como un crecimiento más rápido o una mayor eficiencia en el uso de los recursos, lo que les permite desplazar a las especies nativas y reducir su abundancia (Mooney & Cleland, 2001).

El pirul (*Schinus molle* L.), es una especie nativa de América del Sur, específicamente de la región subtropical de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay. En su área de origen, el pirul se encuentra en una gran variedad de condiciones ambientales, pero generalmente prefiere ambientes cálidos y secos (Corkidi *et al.*, 1991). Estas condiciones ambientales de origen, han contribuido a la capacidad del pirul para colonizar diferentes regiones, incluidas las zonas áridas del centro-norte de México, donde se ha convertido en una especie invasora (Howard & Minnich 1989; Guo *et al.*, 2000). La adaptabilidad del pirul a las condiciones ambientales desafiantes le ha permitido establecerse y propagarse en áreas con recursos limitados (ej., las zonas áridas), lo que ha generado impactos negativos en estos ecosistemas. Si bien, algunos autores argumentan que el pirul es una especie naturalizada, esto no implica que no esté compitiendo por recursos con las especies nativas, especialmente en zonas degradadas donde se ha expandido en mayor abundancia (Iponga, 2009).

El pirul produce una gran cantidad de semillas, de entre 50,000 y 150,000 por individuo, y con tasa de germinación de hasta 80% (Ramírez, 1990; Brandt *et al.*, 2014). Los mecanismos de dispersión son por anemocoria y zoocoria; sin embargo, la endozoocoria es el principal mecanismo de dispersión, lo que permite que las semillas que fueron ingeridas por animales sean distribuidas en diferentes áreas y puedan establecerse en nuevos hábitats, expandiendo así su rango de distribución geográfica (Howard & Minnich, 1989; Mooney, & Cleland, 2001). Por consiguiente, la presencia de dispersores es crucial



para la colonización de nuevas áreas. Además, la expansión de la agricultura y la ganadería a menudo altera los ecosistemas, creando condiciones que favorecen la invasión de especies no nativas. En el caso del pirul, su capacidad para germinar y establecerse en climas cálidos durante las lluvias ocasionales al final de la primavera y el verano le brinda una ventaja competitiva al evitar la competencia con otras plantas activas en invierno (Howard & Minnich, 1989). La falta de depredadores naturales y competidores biológicos locales también contribuye significativamente al éxito invasor del pirul. La ausencia de control natural puede permitir que la especie invasora se propague sin restricciones, desplazando a las especies nativas y alterando los ecosistemas locales. (Lorenzo & González, 2010).

Se ha reportado que la dispersión de *S. molle* en el centro de México la realiza principalmente el chinito (*Bombycilla cedrorum* BC.), una especie de ave paseriforme que habita desde el norte de México hasta Canadá (Corkidi *et al.*, 1991). *B. cedrorum* es un ave frugívora que se alimenta principalmente de frutos, incluido el pirul. Este ingiere los frutos enteros y posteriormente excreta las semillas en otros lugares, lo que permite la dispersión de la especie (Witmer, 1996). En su lugar de origen, la dispersión del pirul se reporta principalmente por aves frugívoras como la tortolita azul (*Columbina passerina*; L.), la cotorrilla mejilla verde (*Pyrrhura molinae*, Massena y Souance) y la chara verde (*Cyanocorax yncas*; Boddaert), y mamíferos como el puma (*Puma concolor*; L.) y el zorro gris (*Lycalopex griseus*, Gray), que actúan como dispersores al consumir sus frutos y depositar las semillas en sus excrementos en áreas distantes; algunas de estas especies son de amplia distribución que incluye el centro-norte de México (Silva, 2005; Wong-Smer *et al.*, 2022).

La dispersión del pirul por parte de *B. cedrorum* y de otras especies de aves frugívoras y mamíferos puede tener importantes consecuencias para la diversidad biológica de las zonas invadidas al permitir la expansión del pirul en áreas naturales. Se puede limitar la disponibilidad de recursos para otras especies nativas, lo que puede llevar a la reducción de su abundancia o incluso a la extinción local (Mooney & Cleland, 2001). Guerra-Coss y colaboradores (2021), mencionan que la tendencia en el aumento de la temperatura es un factor que limitará la dispersión de esta especie; mientras que los cambios antrópicos favorecerán cada vez más su dispersión (Ramírez-Albores, 2016). Por lo que el objetivo de este trabajo fue identificar las especies de fauna que actúan como dispersores de *Schinus molle*, conocido como pirul, y evaluar los procesos y áreas potenciales de invasión en México para mejorar el conocimiento sobre la ecología y los patrones de dispersión de esta especie invasora. Como resultados, esperamos que la fauna local actúe como dispersora de semillas de pirul y que el paso de las semillas por el tracto digestivo de los dispersores estimule su germinación; esto será un indicativo del papel fundamental de la fauna local en la distribución del pirul en México y de su distribución potencial futura.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área experimental se ubica en los Llanos de Ojuelos Jalisco, al centro de México. En esta zona las comunidades vegetales están representadas por matorrales y pastizales, principalmente. La temperatura media anual varía de 13°C en enero y de 36°C en junio. La precipitación media anual es de 424 mm, con lluvias en los meses de julio a septiembre y con una temperatura media anual de 18° C. La topografía es casi plana con una pendiente menor al 3%. Los suelos son someros de tipo xerosol háplico, de textura media (franco-arenosa) y con una fase dúrica (tepetate) a una profundidad entre 50 a 100 cm. A pesar de las condiciones de aridez, existe una gran diversidad de especies dentro de un mosaico muy variado de asociaciones vegetales y una cantidad considerable de endemismos ([Granados-Sánchez, 2011](#); [Urquiza-Haas et al., 2011](#)).

### Identificación de dispersores y factores

Para identificar los factores que favorecen la dispersión y establecimiento de las semillas del Pirul, se establecieron cuatro parcelas de 50 x 20 m en épocas de secas (junio-julio), distribuidas en cada uno de los cuatro puntos cardinales con una distancia de 50 m entre parcelas; cada parcela cubrió un área de 1000 m<sup>2</sup> (figura 1). En total, se establecieron 16 parcelas distribuidas en tres localidades en los Llanos de Ojuelos, Jalisco. El tipo de vegetación fue el mismo para cada sitio, pero con diferentes grados de degradación (muy perturbado, menos del 20 de cobertura; poco perturbado, más del 60 de cobertura natural y sin perturbación, 100 de cobertura). En cada parcela se registró el diámetro normal (cm), altura total (m), densidad de la regeneración (número de individuos por parcela), y estado fenológico (semillas, floración, etc.).

Para identificar las especies de aves que se alimentaban de Pirul, se seleccionaron 10 árboles con abundantes semillas en cada sitio de muestreo. Se llevó a cabo un monitoreo visual continuo durante tres semanas en el horario de mayor actividad de aves (de 6:00 a.m. a 11 a.m. y de 16:00 a 18:00 p.m.), registrándose la presencia de las diferentes especies de aves que consumía frutos del Pirul. En cuanto a los mamíferos, se realizó un muestreo indirecto dentro y alrededor de las parcelas experimentales. Durante los recorridos en el área de estudio se recolectaron excretas para identificar si contenían semillas de pirul.

Las semillas extraídas de las excretas se germinaron en grupos de 50 semillas con tres repeticiones y se comparó la germinación con semillas colectadas directamente del árbol. Las semillas fueron tratadas con ácido sulfúrico al 10 % por 5 minutos, para simular el paso por el tracto digestivo ([Quispe, 2014](#)).

Para determinar la distancia de dispersión por anemocoria, se recolectaron 10 frutos en racimo directamente de los árboles, posteriormente se dejaron caer desde una altura de 4 m, considerando esta como una altura de copa promedio para árboles adultos de la



zona y se registró la distancia máxima de dispersión en vientos con rachas de hasta 25 km/h. A la par se colocaron frutos sobre un piso de concreto para medir su distancia de dispersión máxima una vez que los frutos están sobre el suelo. La observación se realizó por un periodo de 15 minutos después de dejar los frutos sobre el suelo. En este último experimento no se consideró la rugosidad del suelo generada por los macollos de zacates ni por los arbustos, los cuales impiden el libre movimiento de los frutos sobre el suelo.

### Modelación

Para identificar las áreas de regeneración natural del pirul, se utilizó información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México. Este inventario consta de conglomerados distribuidos sistemáticamente en forma circular, con un radio de 56,42 metros (1 hectárea). Cada conglomerado está compuesto por cuatro subparcelas dispuestas en forma de "Y" invertida, con un área de muestreo de 400 m<sup>2</sup> cada una (1600 m<sup>2</sup> por conglomerado; [CONAFOR, 2011](#)). Se seleccionaron individuos con diámetros menores a 10 cm y alturas menores a 2.5 m, ubicados en áreas consideradas como bosque y vegetación primaria, con el fin de identificar la regeneración natural (árboles jóvenes) del pirul y excluir árboles plantados. Con estos datos se modeló la distribución potencial del pirul ([Ramírez-Albores et al., 2020](#)).

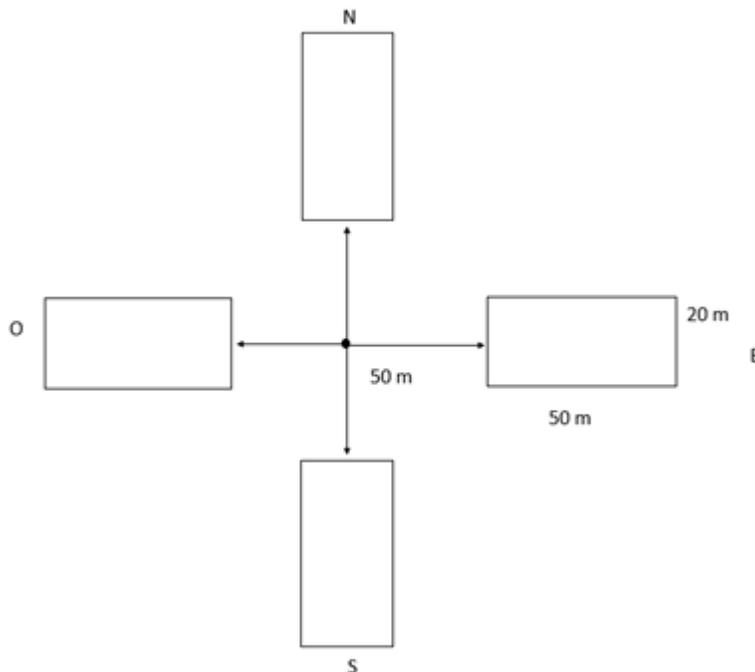


Figura 1. Esquema de parcelas localizadas en los distintos puntos cardinales y área de estudio



Para la modelación de especies de fauna, se utilizaron los registros de la base de datos del Sistema global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés). Para la modelación se empleó el modelo de máxima entropía (MaxEnt; Dudík *et al.*, 2007) con un umbral de predicción mayor a 0.6. Los modelos fueron reclasificados en dos categorías, asignando valores de 0 (<0.6) o 1 ( $\geq 0.6$ ) para indicar la presencia o ausencia de cada especie. Para determinar el área de traslape o coincidencia entre el pirul y sus dispersores, se calculó el área de distribución de especies dispersoras y se superpuso con el área de distribución natural del pirul para obtener una intersección entre las áreas invadidas y las áreas potenciales de invasión del Pirul. Por último, se asignó un valor entre 0 y 1 para identificar las áreas que cumplen con los requerimientos ecológicos del pirul y donde las especies dispersoras están presentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

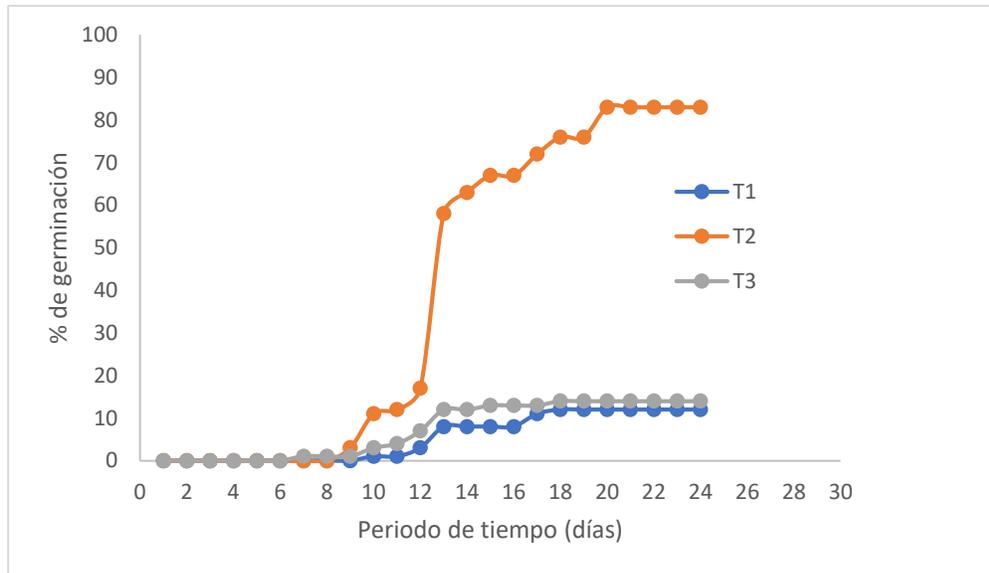
### Dispersores del pirul

Nuestros resultados indican que los dispersores del pirul incluyen a tres especies de aves, el chinito, el zanate, el ceniztonle norteño (*Bombicilla cedrorum*, *Quiscalus mexicanus* y *Mimus polyglotus*, respectivamente) y dos especies de mamíferos, el coyote y la zorra gris (*Canis latrans* y *Urocyon cinereoargenteus*, respectivamente). Aunque se registró actividad de otras especies cercana a los árboles seleccionados, no se pudo confirmar el consumo de los frutos. Estudios previos (Abraham, 2016; Godínez, 2022), reportan más especies de aves y mamíferos como dispersoras del pirul; sin embargo, no se registraron más especies que las mencionadas anteriormente.

De las especies de aves registradas, el chinito (*B. cedrorum*) fue la especie más frecuentemente observada consumiendo los frutos del pirul. Estudios previos han demostrado que los frutos que pasan por el tracto digestivo de las aves germinan más rápidamente y con mayor éxito en comparación con aquellos que no han pasado por este proceso (Corkidi *et al.*, 1991; Sánchez *et al.*, 2023). De las dos especies de mamíferos registrados, se encontró una alta cantidad de heces de coyote que contenían semillas de pirul en el área de estudio, lo que sugiere que esta especie puede desempeñar un papel importante como agente dispersor de semillas. Aunque los frutos del pirul no presentan una drupa jugosa, se ha observado que estos animales consumen los frutos, llegando a representar hasta el 56.6% de su dieta al final de la temporada de sequía. Es interesante notar que, aunque los frutos del pirul no parecen ser consumidos principalmente como alimento, otros estudios indican que estas especies de mamíferos podrían utilizar los frutos más como laxante que como fuente de alimento (Godínez, 2022). Sin embargo, es crucial considerar la limitación temporal de la colecta de excretas, que se realizó en temporada de sequías cuando pocas especies se encontraban en fructificación. Esto podría afectar la representatividad de los datos recopilados y la comprensión completa de la dieta de los coyotes a lo largo del año.



Los resultados de las pruebas de germinación proporcionan información valiosa sobre el impacto positivo del paso por el tracto digestivo de *C. latrans* (coyote) en la capacidad de germinación de las semillas de pirul (figura 2). La observación de una mayor velocidad y porcentaje de germinación en comparación con las semillas obtenidas directamente de la planta indica que la dispersión por animales, en este caso, los coyotes, mejora significativamente las posibilidades de éxito reproductivo para el pirul.



**Figura 2. Porcentaje de germinación de semillas de Pirul bajo tres tratamientos T1 Testigo, T2 excretas de *C. latrans* y T3 con 5% de ácido sulfúrico**

El proceso de escarificación, que ocurre en el tracto digestivo de estas especies de mamíferos, parece desempeñar un papel clave al facilitar la germinación de las semillas. Este fenómeno es consistente con la literatura científica que destaca la importancia de muchos mamíferos en la dispersión de semillas a través de su consumo de frutos y la posterior eliminación de las semillas en sus excretas (González-Varo *et al.*, 2015).

La implicación de que estas especies su participación en la dispersión de semillas del Pirul sugiere que puede desempeñar un papel activo en el proceso de dispersión proporcionando a las semillas del pirul una mayor tasa de éxito en la germinación y establecimiento en áreas propicias alejadas de la planta progenitora (Wong-Smer *et al.*, 2022). Sin embargo, se requieren más estudios para determinar la cantidad de semillas dispersadas por la zorra y el coyote, los alcances de su dispersión y cómo esto contribuye a la regeneración natural del pirul en la región.

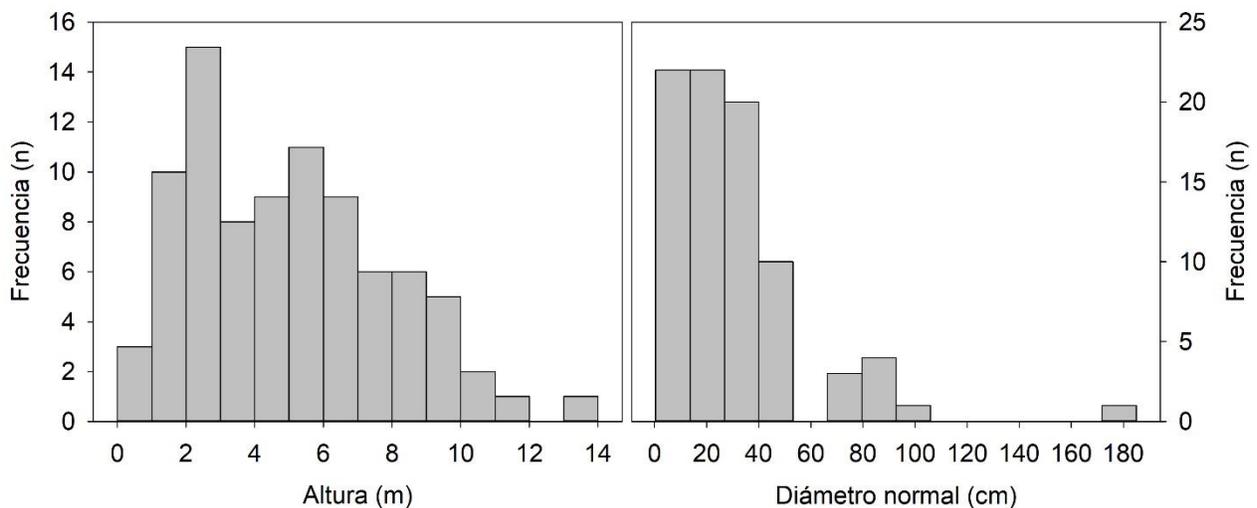
Los frutos del Pirul permanecen en el árbol hasta que alcanzan la madurez y luego caen al suelo, donde permanecen hasta que las condiciones sean favorables para la



germinación; en condiciones de viento moderado las semillas pueden dispersarse hasta una distancia de 50 metros, aunque normalmente se dispersan hasta 10 metros de distancia del árbol parental. Por otra parte, cuando ocurren lluvias torrenciales, los frutos son arrastrados a mayor distancia hacia las partes más bajas del terreno promoviendo su dispersión por el suelo.

### Regeneración natural del Pirul

La regeneración natural del Pirul (*Schinus molle*) ha sido observada en zonas áridas del centro de México y hacia el sur en el estado de Oaxaca. Durante nuestro estudio, se registró un total de 582 individuos de *S. molle* distribuidos en bosques de pino-encino y matorrales áridos. Se observó que la mayor densidad de individuos se concentra en las categorías diamétricas de 5 a 10 cm de diámetro (Fig. 3), lo cual sugiere que son individuos jóvenes que acaban de ingresar a la categoría más baja del arbolado adulto.



**Figura 3. Distribución de la altura y diámetro normal de los árboles de pirul (*Schinus molle* L.) muestreados en los cuatro sitios de Ojuelos de Jalisco, Jalisco**

A nivel local, se identificó una alta densidad de regeneración en las parcelas ubicadas en áreas con una mayor presencia de individuos adultos de Pirul. Esto indica que la capacidad de regeneración significativa del Pirul en su área de distribución natural, específicamente, concentrándose en zonas cercanas a los individuos adultos (Ramírez-Albores *et al.*, 2020). Estos hallazgos están alineados con las observaciones de Moncayo-Riascos (2018), quien resalta la presencia de parches de vegetación conocidos como "islas de fertilidad" en ecosistemas áridos y semiáridos. Estas "islas de fertilidad" se caracterizan por estar compuestas por vegetación arbustiva enclavada en una matriz de suelo circundante. Estos microambientes, según Moncayo-Riascos (2018), ofrecen condiciones propicias para el crecimiento y desarrollo de las plantas, convirtiéndose en



puntos estratégicos para la regeneración y el establecimiento de nuevas plantas. Estos espacios proporcionan un sustrato más enriquecido en nutrientes, lo que favorece el éxito reproductivo y la supervivencia de las plántulas. Además, la vegetación arbustiva actúa como un refugio que brinda protección contra factores adversos como la radiación directa y la herbivoría.

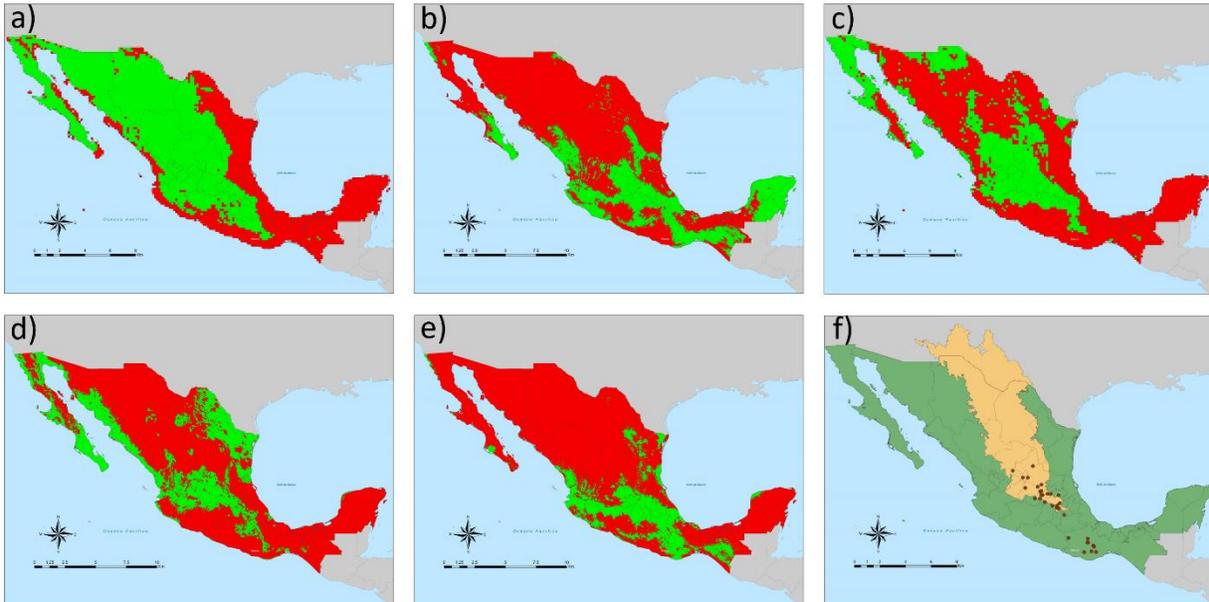
En conjunto, estos hallazgos sugieren que la presencia de individuos adultos de Pirul no solo contribuye a la regeneración de la especie en su entorno inmediato, sino que también se vincula con la existencia de estas "islas de fertilidad". Estos microambientes enriquecidos pueden desempeñar un papel crucial al ofrecer condiciones óptimas para el éxito reproductivo y el establecimiento de nuevas plantas de Pirul en un paisaje más amplio.

De lo anterior podemos hipotetizar que, i) la corta distancia de dispersión de las semillas genera un patrón de regeneración en conglomerados o parches, ii) aunque el paso por el tracto digestivo de los mamíferos le confiere ventajas en la germinación a las semillas del pirul, este proceso de escarificación y medio de dispersión no es significativo para el proceso de regeneración, iii) las semillas necesitan de condiciones específicas de humedad, nutrientes y protección de la radiación que encuentran en las islas de fertilidad para su germinación y establecimiento; tales condiciones las encuentran cercanas a los árboles progenitores, plantas nodriza y canales de riego o arroyos por lo cual se producen los parches de regeneración. En este sentido, [Ding & Eldrige \(2021\)](#), indican que el efecto de isla de fertilidad se intensifica con la aridez del sitio y probablemente con el grado de degradación, por lo que entre más árido o degradado se encuentre el sitio, las semillas requieren más de las condiciones de las islas de fertilidad para poder germinar y establecerse. Por otra parte, se ha observado en el sitio de estudio que las letrinas de los coyotes y zorras donde depositan sus heces son lugares abiertos y sobre rocas, por lo que no existe un sustrato donde las semillas puedan germinar; de esta manera las semillas necesitan de la dispersión adicional por el viento o por la lluvia para que puedan alcanzar los sitios adecuados donde germinar y establecerse ([Thomson et al., 2011](#)). En contraste, en estudios realizados en la zona de origen del Pirul, se ha documentado la dispersión por mamíferos nativos, como los zorros culpeo (*Pseudalopex culpaeus*) que actúa como agente dispersor de semillas de *S. molle*, depositando las semillas en sitios más favorables para la germinación y establecimiento de esta especie, con las ventajas adicionales del incremento en las tasas de germinación después del paso por el tracto digestivo del mamífero ([Castro et al., 1994](#)).

### **Modelación de las áreas potenciales de invasión del pirul**

La modelación de las áreas potenciales de invasión del *S. molle* reveló que las zonas áridas y semiáridas del centro de México y hacia el sur hasta Oaxaca presentan condiciones ambientales adecuadas para la supervivencia y establecimiento del Pirul en sus primeras etapas de vida. Es importante destacar que este modelo posiblemente subestima las áreas potenciales que podrían ser ocupadas por los individuos adultos de la especie. Las áreas con mayor potencial invasivo se localizan principalmente en el

centro de México, pero también se identificaron algunas zonas en Baja California, Nuevo Laredo y la Península de Yucatán que podrían ser propicias para la expansión del Pirul (Figura 4a).



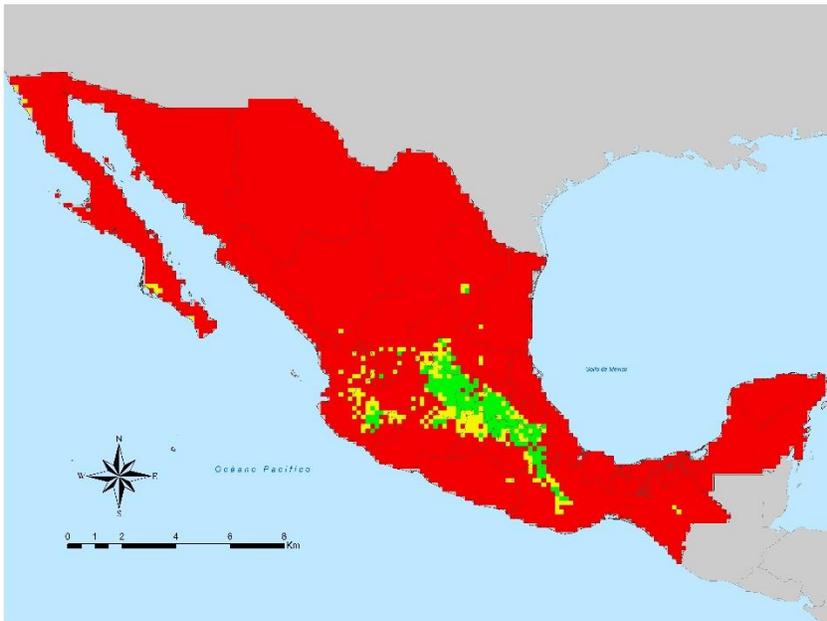
**Figura 4. Distribuciones potenciales de los posibles dispersores del pirul (*Schinus molle* L.) en México: a) *Canis latrans*, b) *Urocyon cinereoargenteus*, c) *Quiscalus mexicanus*, d) *Mymus polyglotus*, e) *Bombicylla cedrorum*; y puntos de presencia del pirul (f)**

Las variables predictoras más importantes fueron cuatro, la estacionalidad de la temperatura fue el factor que mejor se relacionó con la distribución del Pirul, explicando más del 50% de la varianza observada. Le siguieron en importancia la precipitación del mes más húmedo, la temperatura media del trimestre más seco y la precipitación del trimestre más seco, cada una contribuyendo alrededor del 19% a la variabilidad explicada.

Al superponer el área de distribución de las especies dispersoras con el área potencial de invasión del Pirul, se observó un incremento del 10% en el área proyectada inicialmente. Las áreas con potencial invasivo del Pirul son aquellas donde se reúnen tanto las condiciones climáticas favorables para la germinación y establecimiento de la especie, como la presencia de las especies dispersoras identificadas. Estas áreas de invasión potencial se encuentran distantes de las regiones donde tuvo lugar la introducción original del Pirul, la cual fue en el centro de México (Corkidi *et al.*, 1991) y abarcan una pequeña porción de Baja California, el noreste de Nuevo León y el norte de la Península de Yucatán (Figura 4).

La aplicación del modelo de máxima entropía permitió identificar una marcada superposición entre la distribución geográfica de las especies dispersoras del Pirul y su distribución natural. Esto indica que las áreas donde se cumplen los requerimientos ecológicos de la especie y donde se encuentran presentes los dispersores pueden estar promoviendo la invasión del Pirul en áreas fuera de su rango natural.

Es importante destacar que los dispersores del Pirul presentan una distribución natural amplia y diversa. Por ejemplo, *Mimus polyglotus* es una especie de ave que se encuentra presente durante todo el año en el desierto Chihuahuense y las zonas áridas del Golfo de México, lo que sugiere que desempeña un papel crucial en la dispersión de las semillas del Pirul. Por otro lado, *Bombicylla cedrorum* está presente en el área al inicio del otoño y al final de la primavera. En cuanto al *Urocyon cinereoargenteus*, se distribuye ampliamente en México y también podría contribuir a la dispersión de las semillas del pirul (Villalobos *et al.*, 2014).



**Figura 4. Modelo de distribución de las áreas potenciales de invasión del *S. molle* en la república mexicana.** Las áreas en rojo, es donde el Pirul se distribuye o puede distribuirse, y el área verde es donde se localizan al menos tres de sus dispersores.

### LIMITACIONES DEL ESTUDIO/IMPLICACIONES

A pesar de que este estudio utiliza datos a nivel local y regional para comprender cómo una especie invasora utiliza los recursos locales y se dispersa hacia nuevas áreas, es importante tener en cuenta que existen factores adicionales que podrían influir en su distribución. Por ejemplo, los modelos de invasión potencial utilizados en este trabajo ofrecen posibles escenarios de invasión, pero no consideran información detallada sobre las características del suelo, la topografía, la presencia de otras especies vegetales, la



competencia intraespecífica y otros factores que podrían influir en la distribución del Pirul. Además, la interacción entre las condiciones ambientales y los procesos de polinización no se abordan en profundidad en este estudio. Además, es importante considerar que en el área de estudio pueden existir otras especies de fauna que hacen uso de los mismos recursos, pero debido a la temporada de estudio o esfuerzo de muestreo, es posible que estas especies no fueran registradas. Por último, es relevante mencionar que las prácticas de manejo antrópico pueden dispersar especies invasoras a áreas distantes, aunque en este estudio solo se consideró la dispersión natural de la especie (Ramírez-Albores & Badano, 2013). Estos factores podrían tener un impacto significativo en las áreas potenciales de invasión del pirul y deberían ser considerados en futuras investigaciones

## CONCLUSIONES

En este estudio, la dispersión del Pirul (*Schinus molle*) la realizan algunas especies de aves migratorias y mamíferos, como el Chinito (*Bombicylla cedrorum*), el ceniztle norteño (*Mymus polyglotus*), el zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*) y el coyote (*Canis latrans*) los cuales dispersan las semillas por medio de sus excretas durante su desplazamiento. Al pasar por el tracto digestivo de estos animales, experimentan un proceso de escarificación que mejora la capacidad de germinación. Este mecanismo de dispersión contribuye significativamente a la regeneración exitosa del pirul en su área de distribución natural, al permitir que las semillas sean transportadas a nuevas áreas y que su viabilidad sea aumentada. Las áreas potenciales de invasión del *S. molle*, son el norte de la Península de Yucatán y parte de Baja California Sur, donde se encuentran las condiciones climáticas y sus dispersores. Concluimos que el pirul se está regenerando de manera natural en las zonas áridas del centro y norte de México, por lo que la dispersión zocórica desempeña un papel crucial en la persistencia y expansión del Pirul en ecosistemas áridos. La interacción entre el Pirul y sus dispersores naturales es fundamental para mantener la dinámica de regeneración de esta especie exótica, lo que resalta la importancia de comprender y conservar las relaciones entre plantas y animales en los ecosistemas naturales.

## LITERATURA CITADA

ABRAHAM MPN. 2016. Ecología reproductiva de aves en dos tipos de hábitat secundario en la subprovincia fisiográfica de los Llanos de Ojuelos, México. Tesis Maestría. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.  
<http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/6055>



BRANDT R, Lachmuth S, Landschulz C. 2014. Species-specific responses to environmental stress on germination and juvenile growth of two Bolivian Andean agroforestry species. *New Forests*. 45:777–795. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9436-6>

CASTRO Salas J, Jaksic Andrade F. 1994. Frugivoría y dispersión de semillas de pimiento (*Schinus molle*) por el zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*) en el Parque Nacional Fray Jorge (IV Región, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*. 67:169-176. [http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1994/2/Castro\\_et\\_al\\_1994.pdf](http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1994/2/Castro_et_al_1994.pdf)

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2011). Manual y procedimiento para el muestreo de campo. Guadalajara, Jalisco, México. [https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2022/DocumentosMetodologicos/2011/Manual\\_remuestreo\\_2011.pdf](https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2022/DocumentosMetodologicos/2011/Manual_remuestreo_2011.pdf)

CORKIDI L, Cacho S, Burquez A. 1991. Dispersión del pirúl (*Schinus molle* L., Anacardiaceae) por aves en Teotihuacán, México. *Acta Botánica Mexicana*. (15):17-22. <https://doi.org/10.21829/abm15.1991.617>

DING J, Eldridge DJ. 2021. The fertile island effect varies with aridity and plant patch type across an extensive continental gradient. *Plant and Soil*. 459(1-2):173-183. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04731-w>

DUDÍK M, Phillips SJ, Schapire RE. 2007. Maximum entropy density estimation with generalized regularization and an application to species distribution modeling. *Journal of Machine Learning Research*. 8:1217-1260. <https://www.jmlr.org/papers/volume8/dudik07a/dudik07a.pdf>

GBIF (Sistema global de Información sobre Biodiversidad). 2023. <https://doi.org/10.15468/dl.hxdb5c>

GODÍNEZ Figueroa KE. 2022. Hábitos alimenticios de la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en el cerro de San Juan Zitlaltepec, y su efecto como dispersor de semillas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. Pp. 22. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/3053>

GONZÁLEZ-VARO JP, Laffitte JMF, Guitián J, López-Bao J V, Suárez-Esteban A. 2015. Frugivoría y dispersión de semillas por mamíferos carnívoros: rasgos funcionales. *Ecosistemas*. 24(3):43-50. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-3.07>

GRANADOS-SÁNCHEZ D, Sánchez-González A, Granados Victorino RL, Borja de la Rosa A. 2011. Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 17:111-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62921030018>



GUERRA-COSS FA, Badano EI, Cedillo-Rodríguez IE, Ramírez-Albores JE, Flores J, Barragán-Torres F, Flores-Cano JA. 2021. Modelling and validation of the spatial distribution of suitable habitats for the recruitment of invasive plants on climate change scenarios: An approach from the regeneration niche. *Science of the Total Environment*. 777:146007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146007>

GUO Q, Brown JH, Valone TJ, Kachman SD. 2000. Constraints of seed size on plant distribution and abundance. *Ecology*. 81(8):2149-2155. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[2149:COSSOP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[2149:COSSOP]2.0.CO;2)

GUZMÁN A, Stevenson PR. 2011. A new hypothesis for the importance of seed dispersal in time. *Revista de Biología Tropical*. 59(4):1795-1803. eISSN 0034-7744, ISSN 0034-7744. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v59n4/a30v59n4.pdf>

HOWARD LF, Minnich RA. 1989. The introduction and naturalization of *Schinus molle* (pepper tree) in Riverside, California. *Landscape and Urban Planning*. 18(2):77-95. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(89\)90001-7](https://doi.org/10.1016/0169-2046(89)90001-7)

IPONGA MD. 2009. Invasive potential of the Peruvian pepper tree (*Schinus molle*) in South Africa. Tesis de doctorado. Stellenbosch University. Stellenbosch, South Africa. <https://scholar.sun.ac.za/server/api/core/bitstreams/3e25ee52-cfce-448d-a7a2-b9c8f2fef311/content>

LORENZO P, González L. 2010. Alelopatía: una característica ecofisiológica que favorece la capacidad invasora de las especies vegetales. *Ecosistemas*. 19(1). ISSN: 1577-949. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/57>

MONCAYO-RIASCOS MC, Gálvez-Cerón A. 2018. Islas de fertilidad: una revisión sistemática de su estructura y operación. *Idesia (Arica)*. 36(1):115-122. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018000100115>

MOONEY HA, Cleland EE. 2001. The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 98(10):5446-5451. <https://doi.org/10.1073/pnas.091093398>

QUISPE QUISPE J. 2014. Estudio de tres tratamientos pregerminativos y aplicación de cuatro concentraciones auxínicas, para la producción de plántulas de molle (*Schinus molle* L.) en el Distrito de Socabaya, Arequipa. Tesis de Licenciatura. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua, Perú. <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/389>

RAMÍREZ J. 1990. Respuesta de la Emergencia del pirú (*Schinus molle* L.) al Remojo y al Número de Semillas por Envase en Siembra Directa. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/129831>



RAMÍREZ-ALBORES JE, Badano EI. 2013. Perspectiva histórica, sociocultural y ecológica de una invasión biológica: el caso del Pirúl (*Schinus molle* L., Anacardiaceae) en México. *Boletín de la Red Latinoamericana para el Estudio de Especies Invasoras*. 3(1). <http://bioinvasiones.org/resources/pdf/bioinvasiones-v3n1-2013nov.pdf>

RAMÍREZ-ALBORES JE, Bizama G, Bustamante RO, Badano EI. 2020. Niche conservatism in a plant with long invasion history: the case of the Peruvian peppertree (*Schinus molle*, Anacardiaceae) in Mexico. *Plant Ecology and Evolution*. 153(1):3-11. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2020.1562>

RAMÍREZ-ALBORES JE. 2016. Predicción de la distribución geográfica y conservación de nicho de un árbol invasor en México. *Ecosistemas*. 25(3):160-163.

<https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.22>

SÁNCHEZ J, Estrada Castillón E, García Aranda MA, Duarte Hernández MF, García González F, Valenzuela Núñez LM, Muro Pérez G. 2023. Los ambientes áridos y semiáridos: su relación con la dispersión y germinación de especies. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 14(75):35-67. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i75.1288>

SILVA SI, Bozinovic F, Jaksic FM. 2005. Frugivory and seed dispersal by foxes in relation to mammalian prey abundance in a semiarid thornscrub. *Austral Ecology*. 30(7):739-746. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2005.01449.x>

SIMBERLOFF D. 2010. Invasive species. Pp. 131-152. In Conservation biology for all. Sodhi NS, Ehrlich PR. Oxford University Press. USA. ISBN: 9780199554232.

<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199554232.003.0008>

THOMSON FJ, Moles AT, Auld TD, Kingsford RT. 2011. Seed dispersal distance is more strongly correlated with plant height than with seed mass. *Journal of ecology*. 99(6):1299-1307. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01867.x>

URQUIZA-HAAS T, Cantú C, Koleff P, Tobón W. 2011. Caracterización de las ecorregiones terrestres: diversidad biológica, amenazas y conservación. Planeación para la Conservación de la Biodiversidad Terrestre en México: Retos en un País Megadiverso, 21.

[https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones\\_digitales/Planeacion2011.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/Planeacion2011.pdf)

VILLALOBOS A, Buenrostro-Silva A, Sánchez-De La Vega G. 2014. Dieta de la zorra gris *Urocyon cinereoargenteus* y su contribución a la dispersión de semillas en la costa de Oaxaca, México. *Therya*. 5(1):355-363. ISSN 2007-3364. <https://doi.org/10.12933/therya-14-143>



WITMER MC. 1996. Annual diet of Cedar Waxwings based on US Biological Survey records (1885-1950) compared to diet of American Robins: contrasts in dietary patterns and natural history. *The Auk*. 113(2):414-430. <https://doi.org/10.2307/4088908>

WONG-SMER JR, Soria-Díaz L, Horta-Vega JV, Astudillo-Sánchez CC, Gómez-Ortiz Y, Mora-Olivo A. 2022. Dieta y abundancia relativa de la zorra gris *Urocyon cinereoargenteus* (Carnivora: Canidae) en el Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México. *Acta zoológica mexicana*. 38(1):1–16.  
<https://doi.org/10.21829/azm.2022.3812426>

[Errata, Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>