



Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas



Efecto de la antropización en la reproducción de *Eriosyce litoralis* (Cactaceae), según las visitas florales y la limitación por polen.

Seminario de Título presentado a la
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Para optar al título de Bióloga

Andrea Valentina Oróstica Guajardo

Concepción, enero de 2024.



Este Seminario de Título ha sido desarrollado en el Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción.



Prof. Guía

Dr. Pablo Guerrero Martin

Co. Guía

Dra. Anita Cisternas Fuentes

Prof. Evaluadores

Dr. Ricardo Segovia Cortés

Dra. Maureen Murúa Ibarra

Prof. Coordinador Seminario de Título

Dr. Víctor Hernández Santander

Concepción, enero de 2024.

AGRADECIMIENTOS

Existe una lista interminable de personas a quienes agradecer, sin embargo, quienes se llevan gran parte de este logro es, por supuesto mi familia, a mi madre Onésima Guajardo y padre Miguel Oróstica por estar siempre presentes y apoyándome a pesar de la distancia en todo este proceso universitario, a mi abuela Juana por enseñarme el amor por las plantas, a mi hermanas Carolina y Gabriela por poder compartir el disfrute de identificar especies en la naturaleza, a mi pololo Matías por acompañarme y cebarme mates en este proceso de tesis.

Agradecer a mi profesor tutor Pablo Guerrero y a mi investigadora guía Anita Cisternas por facilitarme todo el material que necesite en terreno, en laboratorio y en el escrito de esta tesis a Paola Poch por su ayuda en la metodología. El financiamiento de los proyectos Fondecyt regular n°1211441 a nombre de Pablo Guerrero y Fondecyt postdoctorado n°3220448 de Anita Cisternas Fuentes y al proyecto IEB ANID PIA/BASAL FB210006.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	12
HIPÓTESIS	15
<i>Hipótesis de trabajo:</i>	15
OBJETIVOS	16
<i>Objetivo general:</i>	16
<i>Objetivos específicos:</i>	16
METODOLOGÍA	17
<i>Especie y área de estudio</i>	17
<i>Determinar el grado de antropización en las distintas poblaciones de Eriogyne litoralis</i>	18
<i>Cuantificar la diversidad y frecuencia de visitantes florales.</i>	19
<i>Proporción de producción de frutos (fruit set)</i>	20
<i>Determinar la presencia de limitación por polen</i>	20
<i>Limitación por polen según el número de óvulos por flor</i>	20
<i>Tamaño de las plantas</i>	22
RESULTADOS	23
<i>Grado de antropización de cada zona donde se encuentran las poblaciones en estudio.</i> 23	
<i>Limitación por polen</i>	24
<i>Tamaño de las plantas</i>	26
<i>Visitantes florales</i>	27

<i>Comparación descriptiva entre grado de antropización, limitación por polen y visitas florales</i>	<i>31</i>
DISCUSION y Conclusión.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización poblaciones en estudio.	17
Figura 2: Resumen grado de antropización.	24
Figura 3: Gráfico de violín limitación por polen.	26
Figura 4 : Gráfico de caja tamaño de las plantas.	27
Figura 5: Frecuencia de la visita de polinizadores.	29
Figura 6: Gráfico de caja fruit-set.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen observación de visita de polinizadores	19
Tabla 2: Tabla resumen promedios del grado de antropización.....	23
Tabla 3: Resumen del promedio de la limitación por polen.....	25
Tabla 4: Resumen observación, identificación y registros de las visitas de polinizadores	28
Tabla 5: Tabla resumen promedios fruit-set.....	30
Tabla 6: Tabla resumen de los resultados obtenidos	32

RESUMEN

La antropización como el proceso de transformación o modificación del entorno natural, como resultado de la actividad humana, ha provocado y sigue provocando grandes problemas en los ecosistemas naturales, muchos de ellos aun pasan desapercibidos, por lo que el objetivo principal de esta investigación es poder evaluar si la antropización está afectando a la reproducción de las plantas, en este caso a la cactácea *Eriosyce litoralis*.

Este estudio consistió dentro de 4 poblaciones de *Eriosyce litoralis* en la región de Coquimbo, denominadas Coquimbo, Tongoy, El Teniente y Parque Nacional Fray Jorge. Para medir la antropización se utilizó la metodología definida por Kennedy, et al. 2019, que consiste en un conjunto de datos globales espaciales que existían, sobre la modificación humana global de los sistemas terrestres basado en 13 factores estresantes antropogénicos y sus impactos, con una resolución de 1 km, con un año promedio del 2016. Obteniendo como resultado que las poblaciones de Coquimbo y Tongoy presentan un nivel alto de antropización y las poblaciones del Teniente y Fray Jorge un nivel bajo.

La reproducción fue medida según las visitas florales y la limitación por polen. Medir las visitas florales consistió en la observación de un grupo de plantas en flor por un periodo de tiempo determinado, obteniendo la frecuencia de las visitas por flor por minuto, para complementar esta medición también se midió el fruit-set, que es la diferencia entre la producción de flores con la producción de frutos. Se obtuvo que las poblaciones con una frecuencia más alta de visitas (Coquimbo y Tongoy), también presentaron un fruit set mayor, es decir que efectivamente las visitas y la producción de frutos se relacionaban. Contrario ocurrió al evaluar relación con los niveles de antropización, ya que Tongoy la población que presento mayor frecuencia de visitas, tiene un nivel alto de antropización, contrario a lo que se esperaba.

La limitación por polen, es decir, que las plantas están produciendo menos semillas de las que pueden producir, esto se probó comparando el número de semillas producidas por polinización natural con el promedio de la cantidad de óvulos por población. Entendiendo que el número de óvulos promedio de cada población representaría el número máximo de

semillas que podrían producir. Se comparo en cada población en estudio con el nivel de antropización, obteniendo que la población del Teniente tiene la mayor cifra de limitación por polen, pero presenta un nivel bajo de antropización.

También se calculó el tamaño de las plantas en las poblaciones y se relacionó con el nivel de antropización, demostrando que las plantas con mayor tamaño eran las de Teniente y Fray Jorge, siendo estas las con un nivel bajo de antropización.

Palabras claves: Coquimbo, polinización, óvulos.

ABSTRACT

Anthropization, as the process of transforming or modifying the natural environment resulting from human activity, has caused and continues to cause significant issues in natural ecosystems, many of which still go unnoticed. Therefore, the main objective of this research is to assess whether anthropization is affecting plant reproduction, specifically in the case of the cactus *Eriosyce litoralis*.

This study focused on four populations of *Eriosyce litoralis* in the Coquimbo region, named Coquimbo, Tongoy, Teniente, and Fray Jorge. To measure anthropization, the methodology defined by Kennedy et al. in 2019 was employed. This methodology uses global spatial data existing on the overall human modification of terrestrial systems based on 13 anthropogenic stress factors and their impacts, with a resolution of 1 km and an average year of 2016. The results indicated that the Coquimbo and Tongoy populations exhibit a high level of anthropization, while the Teniente and Fray Jorge populations show a low level.

Reproduction was measured based on floral visits and pollen limitation. Pollinator visits involved observing a group of flowering plants for a specified period, recording the frequency of visits per flower per minute. Additionally, fruit-set, the difference between flower production and fruit production, was measured. It was found that populations with a higher frequency of visits (Coquimbo and Tongoy) also presented a higher fruit set, indicating a positive correlation between visits and fruit production. Contrary to expectations, Tongoy, the population with the highest visit frequency, has a high level of anthropization.

Pollen limitation, meaning that plants produce fewer seeds than they could, was tested by comparing the number of seeds produced by natural pollination with the average number of ovules per population. Understanding that the average number of ovules per population would represent the maximum number of seeds they could produce. Comparing each population under study with the level of anthropization, it was found that the Teniente population has the highest pollen limitation but a low level of anthropization.

The size of plants in populations was also calculated and related to the level of anthropization, demonstrating that the larger plants were in the Teniente and Fray Jorge populations, which have a low level of anthropization.

Keywords: Coquimbo, pollination, ovules.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas alterados por humanos están aumentando en todo el mundo (Aronson et al., 2017, Grimm et al., 2008, Piano et al., 2017). La urbanización es uno de los principales procesos de perturbación antropogénicos que provocan la fragmentación o la pérdida total del hábitat (Fahrig, 2017; Malavasi et al., 2014). La fuerte antropización en forma de urbanización u otras fuerzas ejercidas en las áreas costeras es una preocupación mundial, especialmente bajo el paradigma de la sostenibilidad ambiental, debido a la pérdida del funcionamiento y los servicios de los ecosistemas y la degradación de los ambientes costeros (Barragán et al., 2015) y, por lo tanto, su persistencia temporal (Aguilera et al., 2020, Malavasi et al., 2013).

Encontramos evidencia de cómo la antropización está obstruyendo la reproducción de las plantas, en un reciente estudio se demostró como el depósito de material particulado tiene un impacto negativo en la producción de semillas y la cantidad de tubos polínicos que llegan a los ovarios (Carvalho, 2023), también encontramos una disminución de visitas de polinizadores debido a la contaminación lumínica y acústica (Cauich, 2021), entre otros (Lázaro, 2018; Sánchez, 2016).

Las cactáceas son una familia endémica de América con distribución desde Canadá hasta Argentina (Bravo & Sánchez, 1978; Gibson & Nobel, 1986). Estas plantas pueden crecer en diferentes ecosistemas, aunque la mayor diversidad se encuentra en las regiones áridas y semiáridas (Bravo & Sánchez, 1978; Gibson & Nobel, 1986; Boyle & Anderson, 2002). Las cactáceas tienen características biológicas y ecológicas que las hacen vulnerables a diversos factores de perturbación natural y antropogénica, ya que se presentan en áreas de distribución restringida, y están limitadas a ambientes muy específicos (Zepeda et al., 2017), además presentan ciclos de vida prolongados y bajas tasas de crecimiento individual (Hernández & Godínez, 1994; Godínez et al. 2003), también la finalización exitosa de algunas etapas reproductivas, como la polinización y la dispersión de semillas, depende de la participación obligada de otros organismos (Fleming & Valiente 2002; Godínez et al., 2003). Las cactáceas chilenas corresponden a un grupo de plantas altamente amenazado (Hoffmann & Flores,

1989; Simonetti et al., 1995; Belmonte et al., 1998, Hoffmann & Walter, 2004, Teillier, 2006), siendo el principal factor de impacto, la pérdida de hábitat.

En el norte de Chile, en altitudes entre el nivel del mar y 1500 msnm, encontramos el principal dentro de diversidad del género de cactus globulares *Eriosyce* (Kattermann, 1994; Guerrero et al., 2011a; Barthlott et al., 2015). Dentro del género *Eriosyce*, encontramos la especie recientemente descrita en el año 2019, *Eriosyce litoralis* (F. Ritter) P.C. Guerrero & Helmut Walter, la que presenta una distribución restringida en rocas costeras en la región de Coquimbo y parte de la región de Valparaíso.

Este estudio consistirá en la medición de la antropización en poblaciones de *Eriosyce litoralis* en las comunas de Coquimbo, Ovalle, Tongoy y su relación con dos parámetros de la reproducción; la limitación por polen y la de visitas florales.

De entre las muchas amenazas que sufren los polinizadores hoy en día, la pérdida de hábitat natural y seminatural, ocasionada principalmente por los cambios de uso del suelo, ha sido identificada como una de las causas fundamentales del declive de polinizadores (Lázaro, 2018), por esta razón la antropización será medida a través de imágenes satelitales que han registraron la modificación humana global terrestre en este último tiempo, incluyendo diversos factores estresantes de origen antropogénicos, como lo son, asentamientos humanos, transporte, agricultura e infraestructura eléctrica.

La limitación por polen, se produce cuando el éxito reproductivo de la planta se ve reducido porque las flores reciben menos polen, del que se necesita para el cuajado completo de semillas o frutos, es decir, las plantas reciben muy pocos granos de polen para fertilizar todos sus óvulos (Aizen & Harder, 2007). Hadley y Betts en el 2009, presenta tres hipótesis para explicar la limitación del polen en función de la pérdida y fragmentación del hábitat. Primero, la perturbación del paisaje que puede afectar negativamente la abundancia, densidad y salud de las plantas, reduciendo así la cantidad total de polen disponible para la transferencia (de Blois et al., 2002). En segundo lugar, la abundancia, distribución y diversidad de los polinizadores de los que dependen las plantas pueden verse reducidas por la perturbación del paisaje (Steffan-Dewenter & Westphal, 2008). Por último, la perturbación puede restringir los movimientos de los polinizadores, reduciendo así su eficacia en la transferencia de polen

(Tewksbury et al., 2002). Dilucidando que la limitación de polen es un concepto que se relaciona estrechamente con la cantidad de visitantes florales que reciban las flores y este con la perturbación antropogénica que exista en el ecosistema que habitan.

La observación de las visitas florales ha demostrado que las flores de los cactus son polinizadas por animales (Pimienta-Barrios & del Castillo 2002), incluidos vertebrados (p. ej., murciélagos, colibríes, aves paseriformes y lagartijas) e insectos, como polillas, moscas y abejas (Mandujano et al., 2010; Guerrero et al., 2012; Guerrero et al., 2019). En *Eriosyce subgibbosa* (especie hermana de *Eriosyce litoralis* (Guerrero et al., 2019c)), se registró ser polinizada por *Patagona gigas* (picaflor gigante) (Guerrero et al., 2019), por lo que existe evidencia sobre la diversidad de especies que puedan visitar a *Eriosyce litoralis*.

Todavía hay poco conocimiento sobre los impactos antropogénicos en la reproducción de cactáceas, por otro lado, la falta de información sobre la familia de los cactus con respecto a su biología reproductiva en su hábitat natural es ahora una gran preocupación, porque muchas especies están incluidas en listas de peligro de conservación (Mandujano et al., 2010), al ser recientemente descrita la especie en estudio no presenta base de datos referente a su estado de conservación, pero sí de su sinónimo *Neoporteria subgibbosa* var. *litoral* (F.Ritter), la que en el Inventario Nacional de Especies de Chile es catalogada como Vulnerable (Ministerio del Medio ambiente, 2022). Por lo que el objetivo principal de esta investigación es poder evaluar cómo la antropización está afectando a la reproducción de las plantas, en este caso a la cactácea *Eriosyce litoralis*, en los requeridos costeros de la región de Coquimbo

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo:

Las perturbaciones humanas derivadas de la antropización del paisaje inciden en la biodiversidad y las interacciones cruciales entre plantas y animales. En este contexto, se anticipa que a medida que el grado de antropización aumenta, la polinización de *Eriosyce litorales* experimentara impactos negativos. Estos efectos se manifestarán a través de una disminución en la presencia de visitantes florales y un incremento en la limitación por polen. Se postula que existe una relación entre estos tres aspectos, donde la reducción de los visitantes florales resultara en una mayor limitación por polen. Se sugiere que esta limitación podría estar vinculada a los efectos de la antropización en los polinizadores.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar el efecto de la antropización en la reproducción de diferentes poblaciones de *Eriosyce litoralis*.

Objetivos específicos:

1. Determinar el grado de antropización en distintas poblaciones de *Eriosyce litoralis*.
2. Cuantificar la diversidad y frecuencia de visita de visitantes florales
3. Evaluar la existencia de limitación por polen.

METODOLOGÍA

Especie y área de estudio

Eriosyce litoralis (F.Ritter) P.C.Guerrero & Helmut Walter, presenta una distribución restringida en rocas costeras en la región de Coquimbo (Guerrero et al., 2019) y parte de la región de Valparaíso, es un cactus globular con llamativas flores rosadas con forma de embudo (Guerrero et al., 2019), pequeñas, que florecen en invierno en la zona norte de su distribución.

Se determinaron cuatro zonas donde se encuentra presente esta especie, dentro de la región de Coquimbo, partiendo por el Fuerte Lambert en la comuna de Coquimbo, Tongoy, En la Quebrada el Teniente y en el Parque Nacional Fray Jorge en la comuna de Ovalle, se eligieron estas poblaciones esperando encontrarnos con grado de antropización diferente entre ellas (Figura 1).

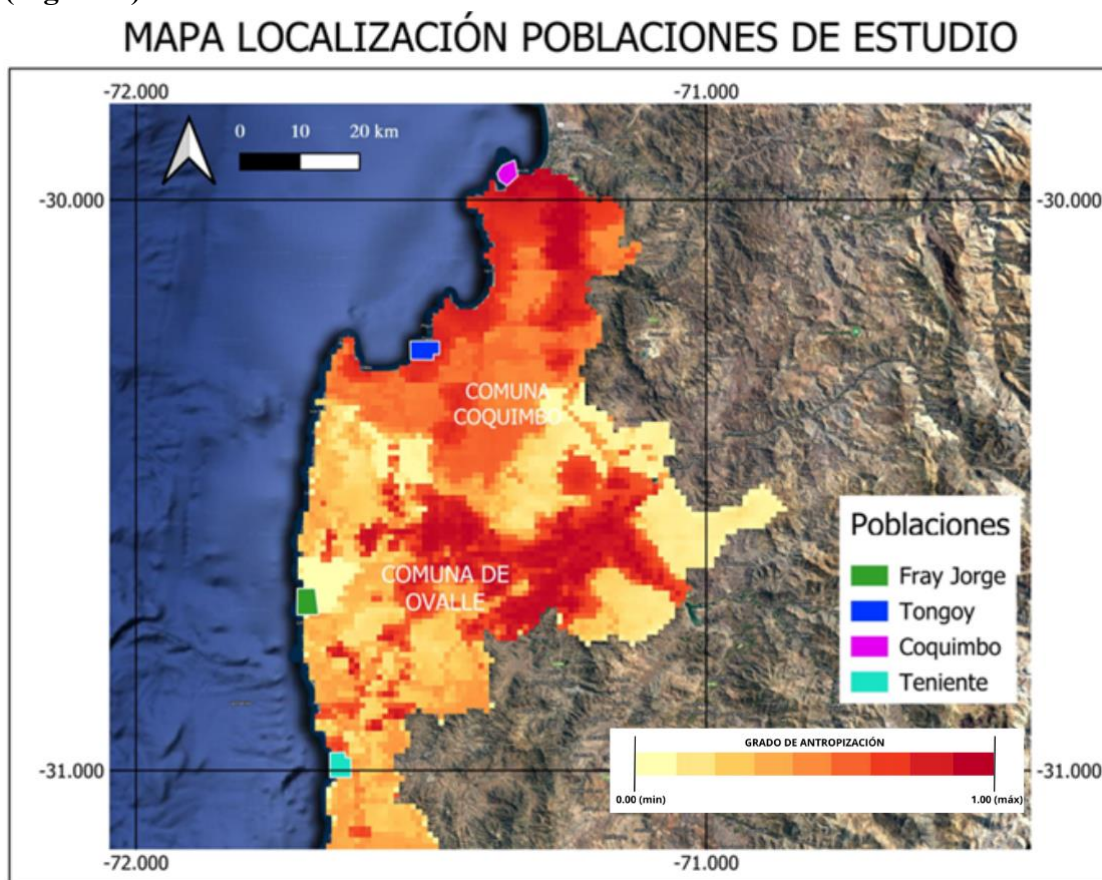


Figura 1: Localización poblaciones en estudio.

Determinar el grado de antropización en las distintas poblaciones de Eriosyce litoralis

Se usó un método que permitiera medir la antropización de un paisaje desde las técnicas de la percepción remota de una manera eficiente y sencilla, que, diera paso a entender, de manera numérica y gráfica, un área como un mosaico de ecosistemas con diferentes grados de antropización o como un gradiente antrópico.

En el estudio realizado por Kennedy et. al, 2019, donde consideraron las actividades humanas que alteran o impactan directa o indirectamente las tierras naturales, identificaron cinco categorías principales de factores estresantes que podrían adquirir datos espaciales globales sobre indicadores, con una resolución de 1km^2 , estos fueron los siguientes: (a) asentamientos humanos (densidad de población, áreas urbanizadas), (b) agricultura (tierras de cultivo, ganado), (c) transporte (carreteras principales, carreteras secundarias, dos vías, ferrocarriles), (d) producción minera y energética (minería, pozos petroleros, turbinas eólicas) y (e) infraestructura eléctrica (líneas eléctricas, luces nocturnas). Para cada factor estresante, se basaron en los datos espaciales más recientes para capturar el estado contemporáneo de la tierra, con fechas medianas y medias de 2016 y 2014, respectivamente (Kennedy et al, 2019). Obteniendo como resultado un mapa global de la modificación humana que representa la cuantificación más actual y completa de la influencia de las actividades humanas acumulativas en las tierras terrestres de la Tierra (Kennedy et al, 2019).

Se utilizó este conjunto de datos de la modificación humana global de los sistemas terrestres, que proporciona una medida acumulativa de la modificación humana en todo el mundo, con una métrica continua de 0,00 (sin modificación) y 1,00 (alta modificación), en el modelado de las extensiones físicas de 13 factores estresantes antropogénicos y sus impactos estimados utilizando conjuntos de datos globales espacialmente explícitos con un año promedio de 2016 (Kennedy et.al,2019).

En el software de información geográfica QGIS (Quantum Geographic Information System), se delimitaron las zonas donde están presentes las poblaciones en estudio y su entorno con un total de 10 km^2 , incorporándole la capa proveniente del conjunto de datos de modificación humana, se obtuvo el grado de antropización con el promedio de la suma de cada 1km^2 por cada zona.

Cuantificar la diversidad y frecuencia de visitantes florales.

Entre los días 23 y 26 de junio del 2023, se realizó la metodología para el conteo de visitas flores, en terreno, en las 4 poblaciones en estudio. Medir las visitas florales consistió en determinar un parche de flores abiertas para su observación por un periodo de 30 minutos aproximadamente, en distintos periodos durante el día comenzando entre las 8:00 y 9:00 terminando entre las 13:00 y 14:00, con 3-5 observadores por población, cada observador (cámaras go-pro, cámaras trampas y personas), tuvo un parche diferente de flores. Resumen de la observación en la **Tabla 1**.

Población	Hora de inicio y término	Cantidad de minutos observados	Cantidad de flores	Cantidad de parches/observadores
Coquimbo	7:58 am - 13:47 pm	863	127	5
Tongoy	8:06 am - 14:00 pm	747	46	3
Teniente	9:00 am - 12:00 pm	676	68	4
Fray Jorge	9:30am - 13:45 pm	576	59	4

Tabla 1: Resumen observación de visitas florales.

Se registró y se categorizó cada visita, según grupo taxonómico (familia y género), también se registraron los datos de, fecha, tiempo de inicio, minutos observados, observador, condición climática (nublado, soleado, ventoso, etc.) y número de flores observadas.

El análisis de los datos se realizó en Excel, se identificaron las variables visitas totales (VT), minutos observados (Mo) y número de flores (Nf) para así estandarizar y poder evaluar la frecuencia de las visitas, usando las ecuaciones (1) (2). Posterior a esto se calculó el promedio para cada población, utilizando este dato para la comparación con el nivel de antropización.

$$VT = Mo * Nf \quad (1)$$

Donde:

$$\frac{VT}{Mo * Nf} = \text{Visitas estandarizadas (flor*min.)} \quad (2)$$

Proporción de producción de frutos (fruit set)

Durante la primera salida a terreno, se tomaron datos del alto y el diámetro de plantas que serán usados en el ítem “tamaño de las plantas” y también se registró el número de frutos producidos por planta y el número total de flores producidas (incluye abiertas), las plantas medidas fueron elegidas aleatoriamente dentro de cada población.

Para complementar las visitas florales, se determinó el fruit-set, que fue calculado como el número de frutos producidos al momento de la visita (F_p) dividido por el número de flores producidas (F_{lp}) (3). Este dato será relacionado con la frecuencia de polinizadores. El desarrollo del fruto fue utilizado como indicador del efecto polinizador (Sahley, et al 2001). Si el número de fruit-set es igual a 1 indica que fue igual la producción de flores con la de frutos, si el fruit-set es menor a 1 indica que la producción de flores fue mayor que la producción de frutos, entonces entre más cercano a 1 el fruit-set es menor la diferencia entre la producción de flores y frutos, pudiendo asumir que las visitas florales fueron efectiva.

$$\frac{F_p}{F_{lp}} = \text{fruit} - \text{set} \quad (3)$$

Determinar la presencia de limitación por polen

En la misma salida a terreno en que se realizó el conteo de las visitas florales, se comenzó la determinación de la presencia de limitación por polen, usando la metodología clásica para obtener limitación por polen, realizando polinización manual en alrededor de 15 flores, con la intención de obtener un fruto con la máxima producción de semillas, comparándolo con la producción de semillas de un fruto polinizado de forma natural (Quiñones, et al. 2015) (Pérez, et al. 2023), los frutos fueron recolectado en la segunda ida a terreno, entre el 14 y 15 de agosto, cabe mencionar que en este caso este método no resulto por lo que se buscó otra forma de evaluar limitación por polen, que se describe a continuación.

Limitación por polen según el número de óvulos por flor

Se encontró una forma diferente para determinar la presencia de limitación por polen, dentro de la misma población y entre las poblaciones, a través de la relación semillas y óvulos (Berrios, et al. 2020), usando los frutos colectados en la segunda salida a terreno polinizados

de forma natural y las flores que fueron colectadas en la primera salida a terreno las que fueron guardadas en tubos con alcohol al 70% para su conservación, por lo que fueron datos obtenidos de líneas maternas diferentes y en tiempos diferentes.

Primero se contabilizo la cantidad de semillas de los frutos polinizados naturalmente de cada población. Luego en el laboratorio con la ayuda de una lupa y herramientas de disección se contabilizo el total de óvulos en 10 flores por población. Entendiendo que cada semilla producida es un óvulo fecundado, mientras que el número de óvulos por flor representa el número máximo de semillas posibles.

Para analizar estos datos se usaron dos ecuaciones para estandarizar y medir limitación por polen en una tabla de Excel. Primero se determinaron las siguientes variables, número de semillas de cada fruto (N_s) y el promedio del número de óvulos de cada población (N_o), se usó el promedio de los óvulos por población, ya que, las líneas maternas donde se colectaron flores y frutos son diferentes, no podían ser comparados directamente estos datos. Se calculo primero lo que llamamos índice de efectividad (X_e) (3), que es la diferencia entre el número de semillas con el promedio de óvulos por población, donde si el resultado arroja 1 existe el 100% de efectividad, es decir que el número de semillas es mayor o igual al promedio de óvulos, en cambio, si arroja 0, seria 0% de efectividad indica que el número de semillas es menor a la cantidad de óvulos promedio.

Una vez obtenido este índice se calculó la limitación por polen (X_{lp}), con la formula (4), formula que se usó para estandarizar los datos, es decir que la media de los datos sea 0 y la desviación estándar 1, así poder evaluar diferencias y obtener X_{lp} , si esta arrojaba 1 indica que hay 100% de limitación por polen y, por el contrario, si esta arrojaba 0 no existía limitación por polen. Se dejó en 0 los datos que tenían el número de semillas mayor al promedio de óvulos, ya que estos deduciblemente no presentaban limitación por polen y así evitamos los números negativos. Se utilizo el X_{lp} promedio para la comparación con el nivel de antropización.

Posterior a esto en R- studio, usando el paquete base de R, se realizó el test GLM con el promedio y desviación estándar de cada población, un test ANOVA para determinar si presentan diferencias significativas o no en limitación por polen y con un post hoc test

TukeyHSD para evaluar qué poblaciones son las diferentes entre sí. Con este análisis podemos ver si es que existe variación entre las poblaciones en limitación por polen y también muestra cómo ocurre dentro de la población, es decir cómo se distribuyen los datos.

$$Ns/No = Xe \quad (4)$$

$$Xlp = 1 - Xe \quad (5)$$

Tamaño de las plantas

Esta medida fue tomada como un dato extra, para evaluar si se relaciona con el grado de antropización o no. Se seleccionaron al menos 15 plantas por población, se midió su alto y diámetro para obtener el tamaño (volumen).

Para el análisis se usó ANOVA y Tukey HSD para ver si existe diferencia significativa entre las poblaciones y entre cuales. Para luego evaluarlo con nivel de antropización.

RESULTADOS

Grado de antropización de cada zona donde se encuentran las poblaciones en estudio.

Entendiendo que se denominó a la modificación humana terrestre como el grado de antropización, se obtuvo como resultado que en las poblaciones y la zona donde se encuentran, en un total de 10 km², su promedio indicó que la población con el más alto grado de antropización es la de Coquimbo, posterior a está Tongoy, el Teniente y por último la con menor grado de antropización, la ubicada en el Parque Nacional Bosque Fray Jorge. Se le otorgo un nivel de antropización según el grado de antropización en cada población, quedando Coquimbo y Tongoy con un nivel ALTO y Teniente y Fray Jorge como BAJO (**Tabla 2 y Figura 1**).

Población	Grado de antropización promedio	Nivel de antropización
Coquimbo	0.666	ALTO
Tongoy	0.500	ALTO
Teniente	0.196	BAJO
Fray Jorge	0.155	BAJO

Tabla 2: Tabla resumen promedios del grado de antropización.

GRADO DE ANTROPIZACIÓN

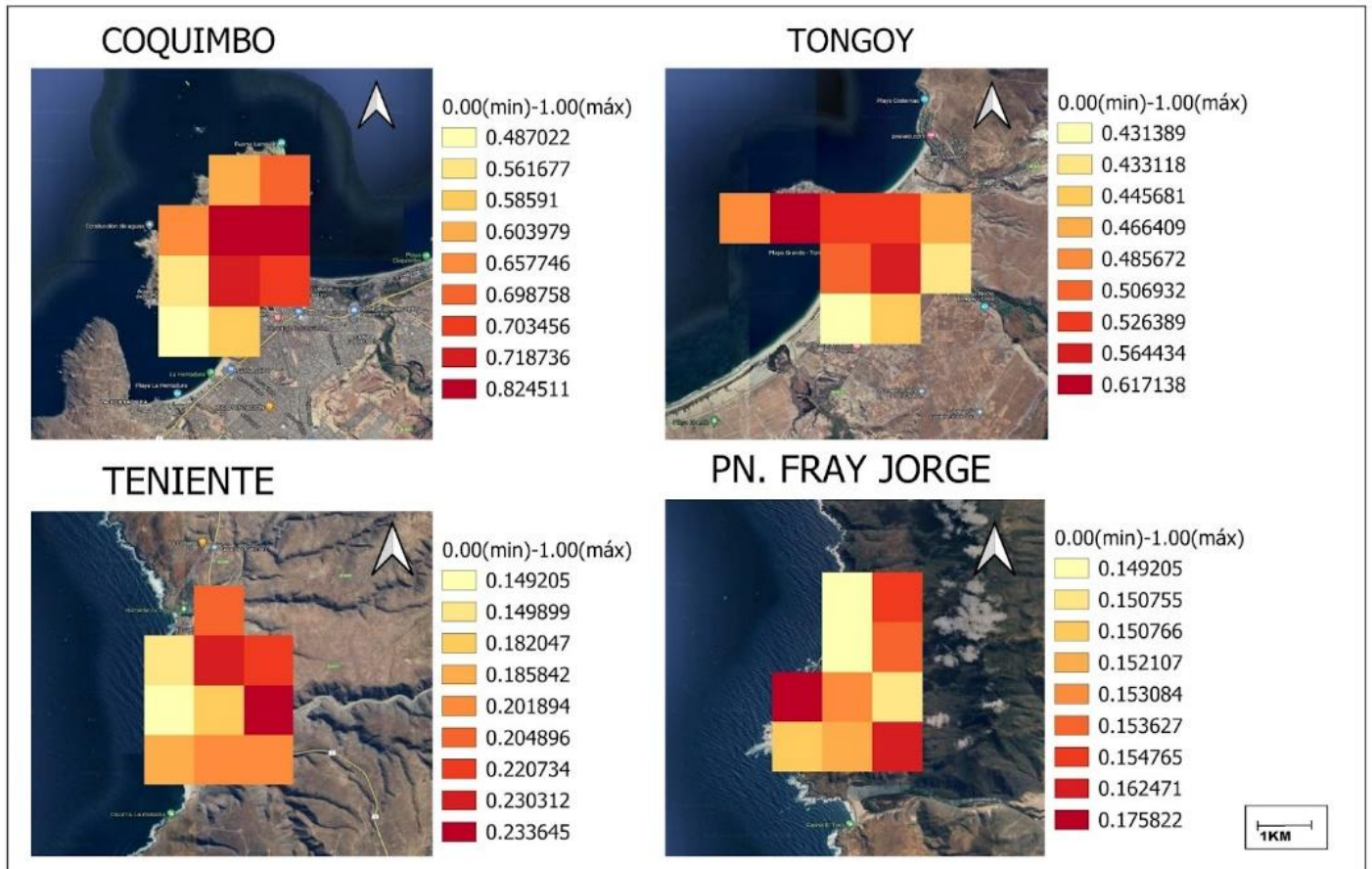


Figura 2: Grado de antropización, estimado mediante la capa creada por datos usados en la metodología del estudio de Kennedy, et al. 2019 (<https://doi.org/10.7927/jw1p-am22>) ajustado en el software Qgis para cada localidad estudiada. Mostrando en colores más cercanos al blanco indican menor grado de antropización y colores más cercanos al rojo un mayor grado.

Limitación por polen

La limitación por polen que se calculó utilizando la formula (3) mencionada en la metodología, para cada total de semillas por fruto colectado en relación con el promedio de la cantidad de óvulos por flor de cada población, arrojó los promedios de la **tabla 3** para cada población, mostrando que la población del Teniente presenta el número más cercano a 1 en limitación por polen, por ende la mayor limitación por polen, luego Tongoy, Coquimbo y por último Fray Jorge.

Población	Promedio	Desviación estándar
Coquimbo	0,278	0.278
Teniente	0,832	0.832
Tongoy	0,503	0.503
Fray Jorge	0,175	0.175

Tabla 3: Resumen del promedio de la limitación por polen, en cada población.

El test GLM mostro que el modelo parece ajustarse bien, ya que la devianza residual (39.668 en 57 grados de libertad) es menor que la devianza nula (55.826 en 60 grados de libertad). El ANOVA del modelo indico que sí existe una diferencia significativa entre las poblaciones con un valor F de 8.742 indicando que las medias de al menos dos grupos son significativamente diferentes en 3 grados de libertad con p-value de 0.00007. El test de TukeyHSD arrojó que las comparaciones de medias de las poblaciones son significativamente diferentes entre sí, con la excepción de Fray Jorge y Coquimbo con un valor p de 0.866 y Tongoy con Coquimbo con un valor p de 0.301. Podemos ver estas diferencias en la **figura 3**. Interpretando que en la población de Tongoy encontramos la mayor dispersión de los datos con una desviación estándar de 0.405, lo que quiere decir es que, el grado de su limitación de polen cambia dentro de la población, el caso de la población de Coquimbo es similar al de Tongoy con una desviación estándar de 0.405, en el Teniente y Fray Jorge encontramos menos distribución de los datos, con desviaciones estándar de 0.269 y 0.269, respectivamente, con diferencia en que Fray Jorge, la distribución de los datos tiende a las menores cifras de limitación por polen, caso contrario con la población del Teniente.

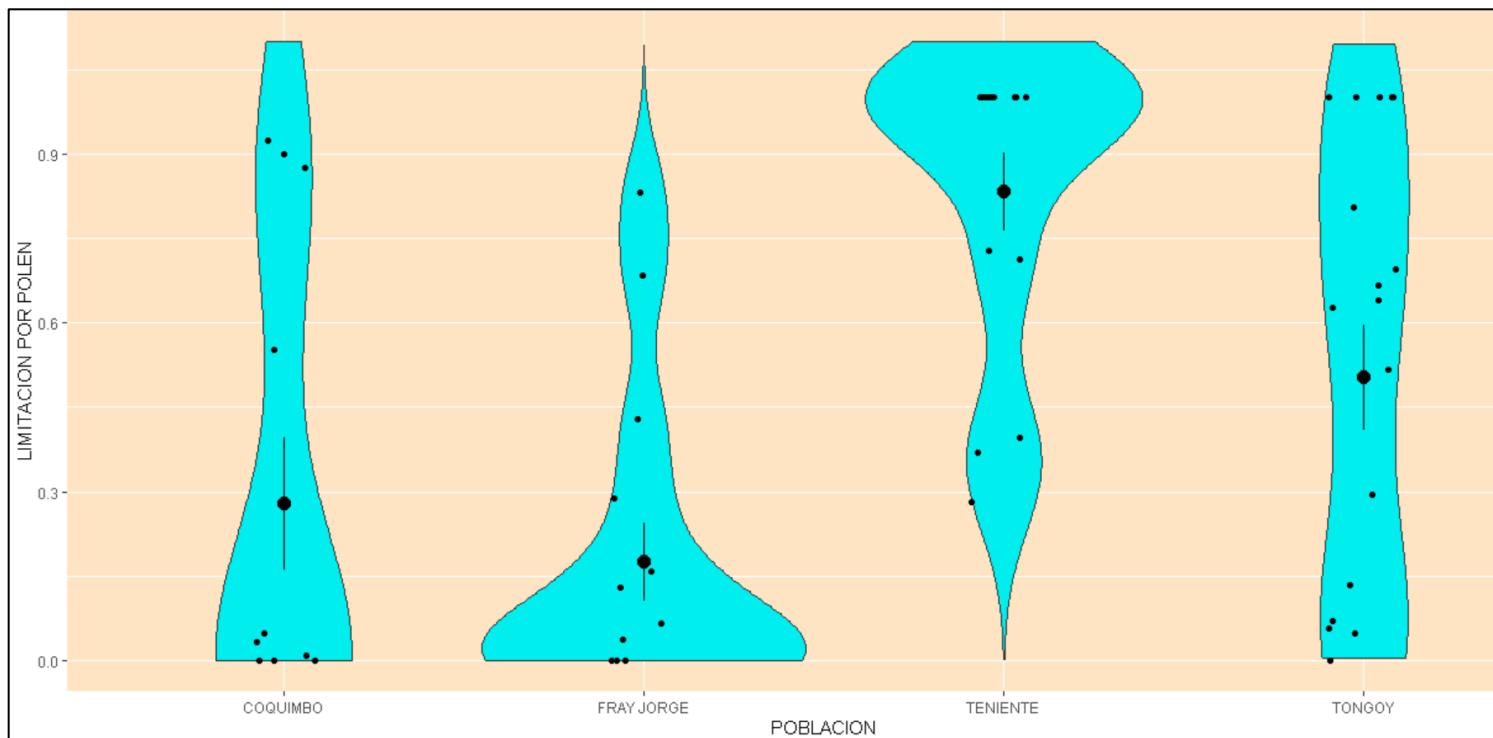


Figura 3: Gráfico de violín limitación por polen. Muestra cómo se distribuyen los datos, partes más anchas presenta más datos (puntos negros) que las más angostas. De izquierda a derecha, primero la población de Coquimbo, luego Fray Jorge, Teniente y por último Tongoy.

Tamaño de las plantas

Al comparar los promedios del tamaño de las plantas encontramos que las de la población de Fray Jorge son las más grandes con un promedio de 270.727 y desviación estándar de 221.675, luego las de la población del Teniente con un promedio de 226.953 y desviación estándar de 114.479 luego las de Coquimbo con un promedio de 119.412 y desviación estándar de 93.392 por último las con plantas más pequeñas son las de la población de Tongoy con un promedio de 43.922 y desviación estándar de 36.497. Al realizar ANOVA, encontramos que existe diferencia significativa entre las poblaciones con un valor F 11.65 en 3 y 56 grados de libertad y un valor p de 0.000004881, el test de TukeyHSD sabemos que la mayor diferencia entre medias es entre Fray Jorge y Tongoy con un valor de p de 0.00009y las que menos se diferencian entre sí son las poblaciones de Teniente con Fray Jorge con valor p de 0.8003939. Podemos visualizar estos resultados en el gráfico de caja en la **figura 4**.

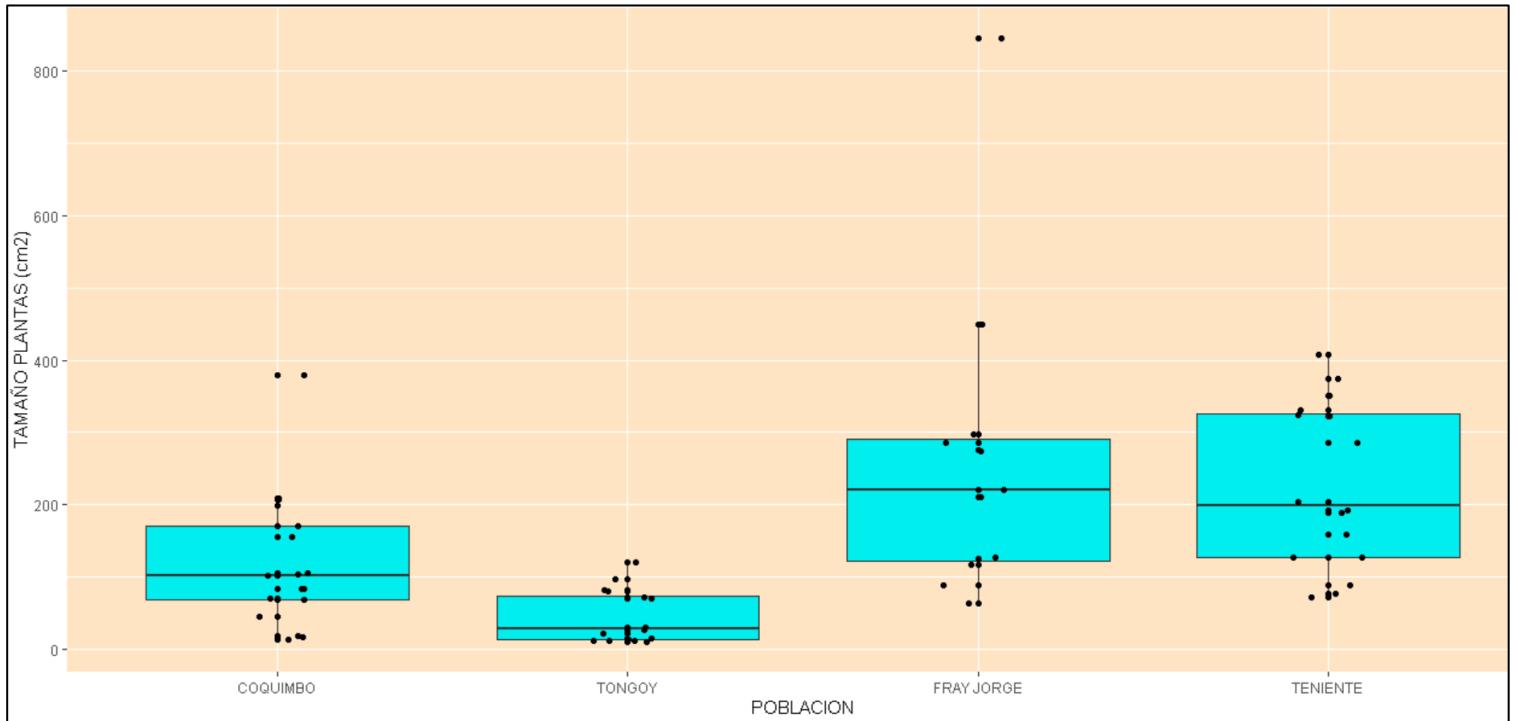


Figura 4 : Gráfico de caja tamaño de las plantas. Muestra cómo se distribuyen los datos del tamaño de las plantas en cada población, de izquierda a derecha, Coquimbo, Tongoy, Fray Jorge y Teniente. Vemos que en Fray Jorge la mediana de los datos es la más alta, con valores atípico de más 800 cm², en Tongoy vemos que los datos están concentrados en los tamaños pequeños y su mediana no supera los 100 cm².

Visitantes florales

Como resultado de la observación de las visitas florales tuvimos que la población de Tongoy y Coquimbo registraron la más alta cifra de visitas florales en los periodos de observación, siendo Tongoy la con más diversidad, con la visita de 3 especies diferentes de polinizador. ver **Tabla 3**.






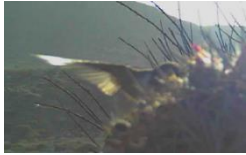
Población	Total, de visitas	Familia	Registros e identificación
COQUIMBO	8	3 Trochilidae, 5 Syrphidae	
TONGOY	7	2 Trochilidae, 1 Syrphidae y 4 Nymphalidae	   <i>Rhodopsis vesper</i> <i>Vanessa carye</i> <i>Vanessa carye</i>
TENIENTE	2	2 Syrphidae	 <i>Copestylum longirostre</i>
FRAY JORGE	2	2 Trochilidae	  <i>Rhodopsis vesper</i> <i>Rhodopsis vesper</i>

Tabla 4: Resumen observación, identificación y registros de las visitas de polinizadores en cada población.

La frecuencia de visitas de polinizadores por minuto por flor, se puede visualizar en la **figura 5**, donde obtuvimos que la mayor frecuencia promedio fue en Tongoy con un 0,00498, Coquimbo 0,00278, Fray Jorge 0,00147 y por último el Teniente con 0,00119, al ser la cantidad de visitas muy baja por lo que la frecuencia igual, este fue el único análisis que pudimos hacer con estos datos.

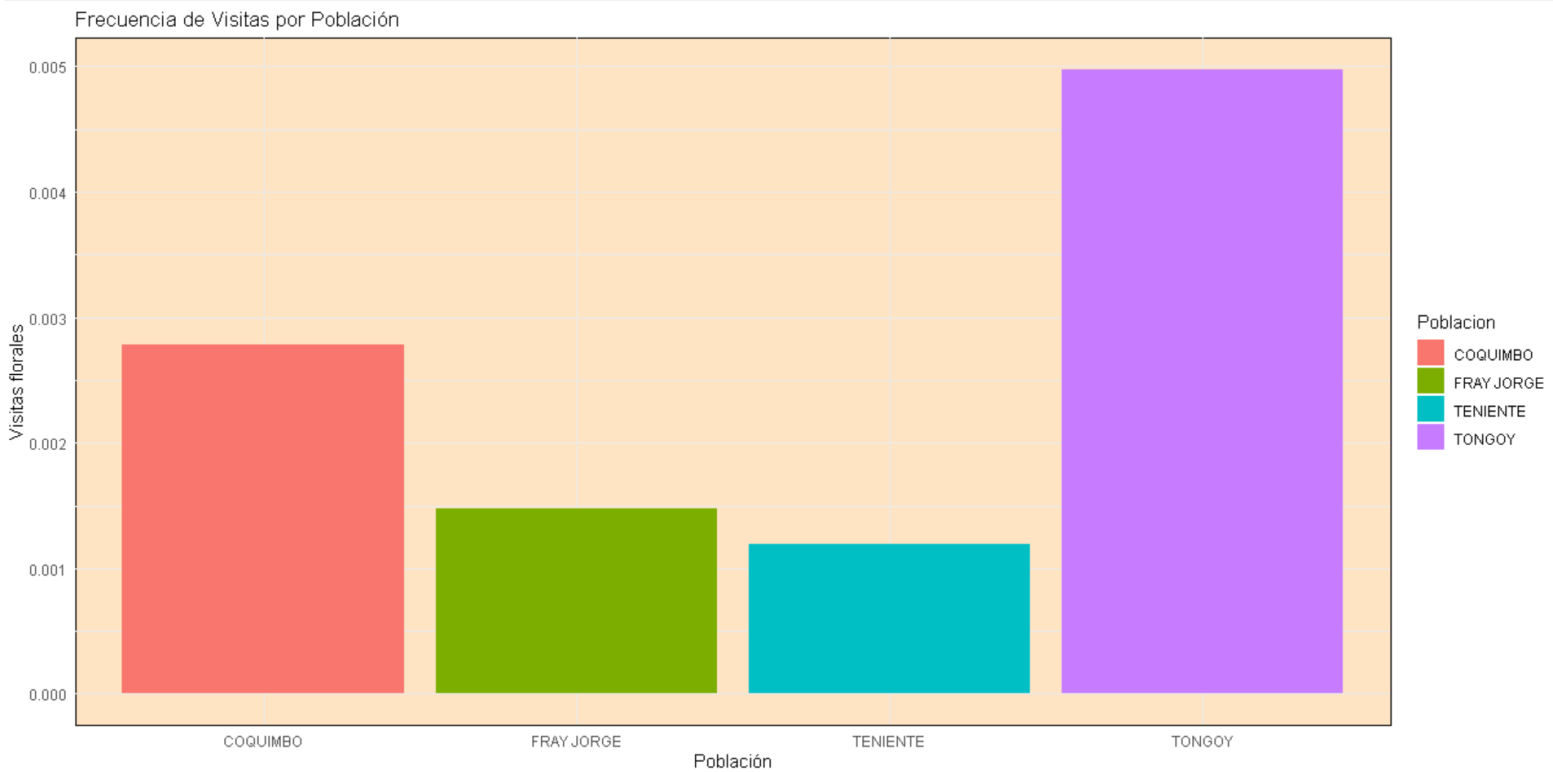


Figura 5: Frecuencia de las visitas *florales*, por flor, por minuto, en cada población.

Producción de frutos (fruit set)

Los promedios de fruit-set (tabla), arrojo que Tongoy y Coquimbo presentaron los mayores valores de fruit set, es decir que la producción de flores y frutos fue menos diferente que en el caso del Teniente y Fray Jorge donde la producción de flores fue más diferente que la producción de frutos. ANOVA arrojo que sí existía diferencia significativa entre las poblaciones con un valor F de 7.1126 en 3 y 56 grados de libertad y un p value de 0.0004. El test de TukeyHSD arrojo que la mayor diferencia en fruit- set fue entre Teniente y Coquimbo con valor p de 0.00256y entre Teniente Tongoy un valor p de 0.00112.

Podemos visualizar los datos en la figura x, donde vemos que Coquimbo y Tongoy tuvo datos atípicos que fue igual el número de flores producidas con el número de frutos producidos, la mediana de los datos está en 0.5 y sobre 0.5 respectivamente, por lo que en estas poblaciones encontramos relación con la frecuencia de visitas de polinizadores, ya que ambos son altos, caso similar ocurre con Teniente y Fray Jorge que registraron una frecuencia menor de visitas

de polinizadores y su fruit-set tuvo números más lejanos a 1 por lo que la diferencia entre producción de flores y frutos es más alta.

Población	Promedio fruit-set	Desviación estándar
Coquimbo	0.489	0.443
Tongoy	0.52	0.338
Teniente	0.079	0.158
Fray Jorge	0.232	0.195

Tabla 5: Tabla resumen promedios fruit-set por población.

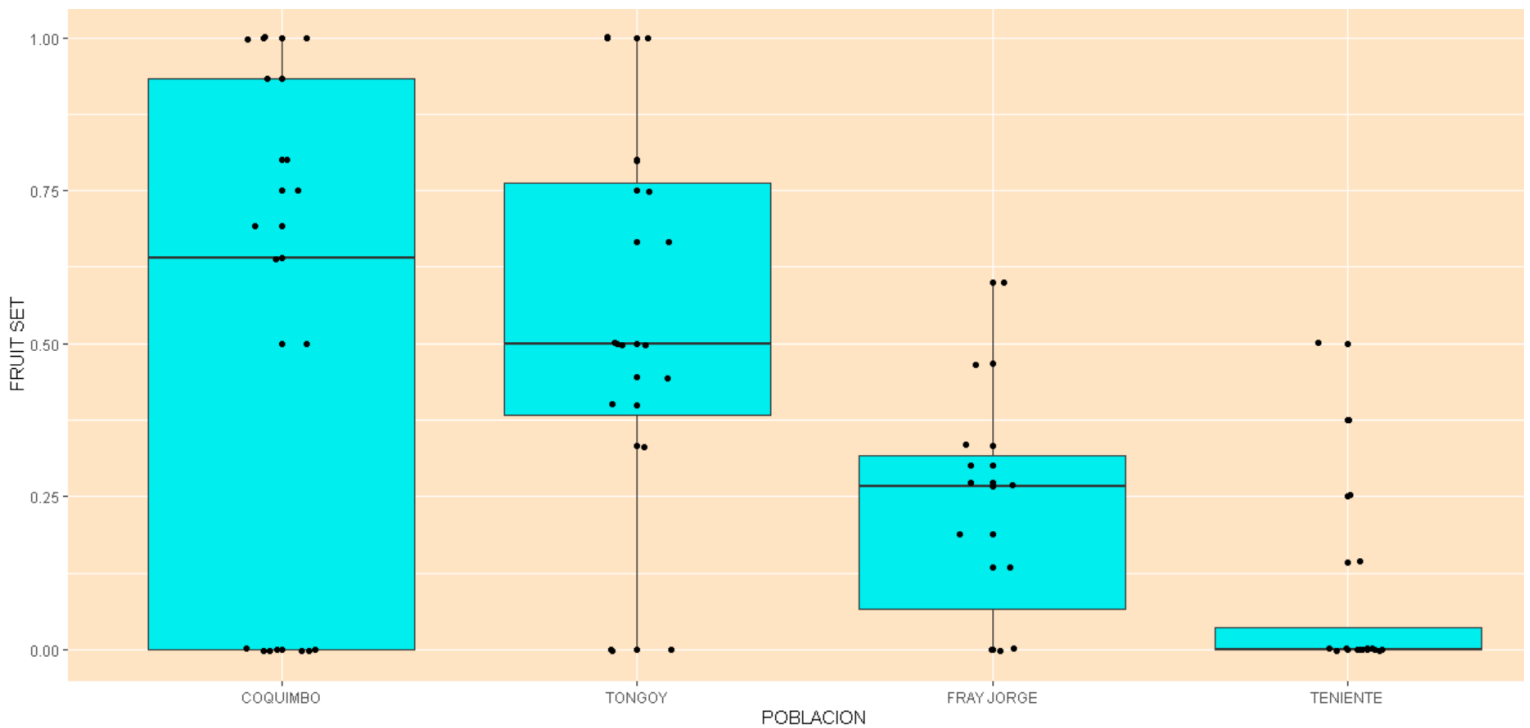


Figura 6: Gráfico de caja fruit-set. Muestra la distribución de los datos de fruit-set, indicando que la mediana de la población de Coquimbo es la más alta en contrario con la de población del Teniente..

Comparación descriptiva entre grado de antropización, limitación por polen y visitas florales

Al realizar un test de ANOVA, entre el promedio de la limitación de polen (X_{lp}) por población y el nivel de antropización (ALTO, BAJO), nos arroja que no existe diferencia significativa con un valor F de 0.106 en 1 y 2 grados de libertad, p-value de 0.776, es decir que no encontramos una relación entre el nivel ALTO de antropización con una limitación de polen alto, ni lo contrario. Entre la frecuencia de visitas de polinizadores con el nivel de antropización (ALTO, BAJO), arroja que no existe una diferencia significativa con un p-value de 0.148, valor F de 5.301 en 1 y 2 grados de libertad, es decir, que tampoco hay una relación entre la alta frecuencia de visitas de polinizadores con un nivel BAJO de antropización. Por lo que no existe relación en que las poblaciones con grado de antropización ALTO tengan limitación de polen alto y una baja visitas florales por lo que se rechaza la hipótesis de trabajo.

En el tamaño de las plantas, se encontró que al realizar una prueba T-student encontramos un p-value de 0.08659, lo que significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. Sin embargo, el p-valor es menor a 0.1, por lo que podríamos decir que hay una tendencia hacia la significancia.

Debido a la insignificancia en la diferencia entre los datos, se hizo una comparación descriptiva y visual, en la **tabla 6**. Comparando entre las poblaciones, en Coquimbo vemos que presenta un nivel de antropización ALTO, pero una limitación de polen baja de 0.3 al igual que el tamaño de las plantas (119.4) y una frecuencia de polinizadores alta 0,003. La población de Tongoy también con un nivel de antropización ALTO, presenta una limitación de polen de 0.5 si bien, no es la más alta entre las poblaciones, sí es un número mayor que el de Fray Jorge y Coquimbo, pero vemos que la frecuencia de polinizadores 0.005 fue la más alta, similar lo que ocurre con las otras poblaciones. Una relación importante que hallamos fue con la población de Teniente, la que si bien no se relaciona con el nivel de antropización BAJO, vemos que tanto como su limitación por polen es alta, su frecuencia de polinizadores es baja, pudiendo ser este un dato alarmante en el ámbito reproductivo de las plantas de esta población, ya que su producción de frutos también esta siendo bajo como vimos en los datos de fruit-set.

Población	Nivel de antropización	Promedio limitación por polen	Promedio frecuencia de visitas florales	Promedio tamaño de planta
Coquimbo	ALTO	0,278	0,00278	119.411
Tongoy	ALTO	0,503	0,00498	43.922
El Teniente	BAJO	0,832	0,00119	226.953
Fray Jorge	BAJO	0,175	0,00147	270.727

Tabla 6: Tabla resumen de los resultados obtenidos. Visualizando que no existe relación entre los parámetros medidos.

DISCUSION Y CONCLUSIÓN

La investigación en la región de Coquimbo sobre la antropización y su impacto en la reproducción de *Eriosyce litoralis* revela una disparidad en los niveles de antropización entre las poblaciones estudiadas, pero esta disparidad no coincide con la limitación de polen ni la frecuencia de visitas flores, ya que las poblaciones con un nivel alto de antropización, no presentaron el mayor valor de limitación por polen, si no que fue una población con nivel bajo, similar ocurrió con la diversidad y frecuencia de visitantes florales, por lo que, los resultados desafiaron las expectativas planteadas por la hipótesis de trabajo, la cual fue rechazada. Sin embargo, encontramos resultados que mostraron como la limitación de polen varía dentro de cada población y que el tamaño de las plantas sí se relaciona con el nivel de antropización de la población.

Respecto al grado de antropización, vimos que Coquimbo y Tongoy exhibieron un alto grado de antropización, en contraste con Fray Jorge y Teniente, Fray Jorge población que presenta la fortuna de estar dentro de un Parque Nacional, muestran los grados de antropización más bajo, la población Teniente también presentó un nivel bajo de antropización, pero creemos que esta característica pronto podría cambiar, ya que el aumento urbano es inminente en esta zona, podemos verlo en la **figura 2**, su entorno presenta color rojo que indican un grado de antropización alto. Este desequilibrio plantea preguntas pertinentes sobre las prácticas humanas y sus repercusiones en la biodiversidad regional.

Es importante destacar que en la totalidad de las poblaciones las visitas florales fueron muy bajas, existiendo evidencia sobre que ha habido disminuciones sostenidas en la abundancia y diversidad de insectos polinizadores durante el último siglo, este declive puede atribuirse a diversas presiones ambientales, como se ha documentado en estudios previos (Potts et al., 2016b ; Powney et al., 2019 ; Vanbergen, 2013), también creemos que esto depende de factores ambientales anuales, como las precipitaciones y las temperaturas, por lo que es necesario realizar observaciones en más de un año para evaluar las variaciones en la diversidad y frecuencia de visitantes florales. Por otro lado, se pudo observar lo que

encontramos en la literatura que la forma de su flor en embudo, es atrayente de polinizadores como los picaflores (Guerrero et al., 2019).

La relación entre la frecuencia de visitas florales y el éxito reproductivo, la evidenciamos por una mayor producción de frutos (fruit-set) en poblaciones con mayor frecuencia de visitas florales (Coquimbo y Tongoy).

La limitación por polen, un fenómeno que sugiere que las plantas producen menos semillas de las que potencialmente podrían, destaco el hallazgo sobre la distribución de sus datos, indicando que esta varia dentro de la misma población, por lo que no es fija ni constante dentro de la población, si bien, en Fray Jorge se encontraron la mayor concentración de datos en limitaciones de polen bajas, igual encontramos datos que se distribuyeron en limitaciones de polen altas, esto pudiendo deberse a las bajas cifras de visitas florales observadas, vemos esta relación más notoria en el caso de la población del Teniente, que presento la más alta limitación por polen y la menor frecuencia de visitas de polinizadores. Pudiendo notar la estrecha relación entre la limitación de polen y las visitas florales.

La relación entre el tamaño de las plantas y el nivel de antropización reveló que las plantas más grandes se encuentran en poblaciones con niveles bajos de antropización (Teniente y Fray Jorge). Este dato podría sugerir que la presión antropogénica podría estar vinculada a la salud y desarrollo de las plantas, afectando negativamente su tamaño. También creemos que esto se puede deber, a que el caso de Coquimbo y Tongoy sus plantas son más pequeñas debido al fácil acceso que presentan, para la extracción ilegal y comercialización, al ser parte de un grupo de plantas muy llamativas como lo son las cactáceas, por sus flores y fruto, por la gran diversidad de formas de vida (plantas columnares, globosas, cilíndricas, en forma de barril o de candelabro, entre otras), o por su grado de endemismo, una gran cantidad de especies se encuentran amenazadas debido a la extracción y comercio ilegal; es bien conocido el saqueo de cientos de miles de cactus de su hábitat cada año, (Hernández, et al. 2021).

La comparación entre el nivel de antropización, la limitación por polen y las visitas florales no revela una relación clara. Aunque la modificación humana no parece haber afectado directamente la polinización de *Erioseye litoralis* según las mediciones realizadas, los

resultados subrayan la complejidad de las interacciones entre la actividad humana y los procesos naturales. En conclusión, se destaca la necesidad de prácticas sostenibles para mitigar los impactos negativos de la antropización en los ecosistemas naturales, abogando por la protección de este grupo de plantas y la realización de estudios adicionales que ilustren cómo el impacto humano está afectando el ciclo de vida de las plantas. Las citas, como las de Ellis et al., Newbold et al., Steffen et al., y Kennedy, respaldan la afirmación de la transformación dramática de la biosfera terrestre por la actividad humana y su impacto en la biodiversidad global, está afectado el funcionamiento de los ecosistemas y el suministro de servicios ecosistémicos.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, M. A., J. Tapia, C. Gallardo, P. Núñez, K. Varas-Belemmi. 2020. Loss of coastal ecosystem spatial connectivity and services by urbanization: Natural-to-urban integration for bay management *Journal of Environmental Management*, 276: 111297.

Aizen, M. A. & L. D. Harder. 2007. Expanding the Limits of the Pollen-Limitation Concept: Effects of Pollen Quantity and Quality. *Ecology*, 33: 271–281.

Aronson, M. F., C. A. Lepczyk, K. L. Evans, M. A. Goddard, S. B. Lerman, J. S. MacIvor, & T. Vargo. 2017. Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20: 189-196.

Barragán J. M., M. de Andrés. 2015. Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations *Ocean and Coastal Management*, 114: 11-20.

Barrios, Y., & Ramírez, N. (2020). Eficiencia reproductiva de las angiospermas de un bosque inundable en la cuenca del lago de Maracaibo (Venezuela). *Bonplandia*, 29(1), 21-38.

Barthlott W., K. Burstedde, J. L. Geffert, P. L. Ibsch, N. Korotkova, A. Miebach, M. D Rafiqpoor, A. Stein & Mutke, J. 2015. Biogeography and biodiversity of cacti. *Universitätsverlag Isensee*.

Belmonte, E., L. Faúndez, J. Flores, A. Hoffmann, M. Muñoz, & S. Teillier. 1998. Categorías de conservación de cactáceas nativas de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*, 47: 69-89.

Boyle T. & E. Anderson. 2002. Biodiversity and Conservation P.S. Nobel (Eds) *Cacti. Biology and Uses University of California Press Los Angeles*, 23: 125–141.

Bravo, H. & M. Sanchez. 1978. Las Cactáceas de México. vol. I. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 143: 183- 193.

Cauich H. 2021. Efecto de la contaminación lumínica y acústica en la polinización de Ceiba pentandra (Doctoral dissertation, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL).

Carvalho G. O., & V. Muñoz-Michea. 2023. Microplastics clog reproduction in a monkeyflower species. *bioRxiv*, 2023-05.

Del Milenio, Evaluación de los Ecosistemas. 2005. Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de Síntesis *World Resources Institute, Washington, DC*.

Ellis, E. C., K. Goldewijk, S. Siebert, D. Lightman, N. Ramankutty. 2010. Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 589–606. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>

Fahrig L. 2017. Ecological Responses to Habitat Fragmentation per Se *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48: 1-23.

Gibson A. & P. Nobel. 1986. *The Cactus Primer*. Prensa de la Universidad de Harvard. Cambridge, MA.

Godínez A., T. Valverde & B. Ortega. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*, 69: 173-203.

Grimm N. B., S. H. Faeth, N. E. Golubiewski, C. L. Redman, J. Wu, X. Bai & J. M. Briggs. 2008. Global change and the ecology of cities. *science*, 5864: 756-760.

Guerrero P. C., C. A. Antinao, B. Vergara, C. A. Villagra & G. O. Carvallo. 2019. Bees may drive the reproduction of four sympatric cacti in a vanishing coastal mediterranean-type ecosystem. *PeerJ*, 7: e7865.

Guerrero P. C., G. O. Carvallo, J. M. Nassar, J. Rojas-Sandoval, V. Sanz & R. Medel. 2012. Ecology and evolution of negative and positive interactions in Cactaceae: lessons and pending tasks *Plant Ecology & Diversity*, 25: 205–215.

Guerrero P. C., M. T. K. Arroyo, R. O. Bustamante, M. Duarte, T. K. Hagemann & H. E. Walter. 2011a. Phylogenetics and predictive distribution modelling provide insights into the geographic divergence of *Eriosyce* subgenus *Neoporteria* (Cactaceae). *Pl. Syst.Evol.* 297: 113–128.

Guerrero, P. C., Walter, H. E., Arroyo, M. T., Peña, C. M., Tamburrino, I., De Benedictis, M., & Larridon, I. 2019. Molecular phylogeny of the large South American genus *Eriosyce* (Notocactaceae, Cactaceae): Generic delimitation and proposed changes in infrageneric and species ranks. *Taxon*, 68(3), 557-573.

Hadley A. S. & M. G Betts. 2009. Tropical deforestation alters hummingbird movement patterns. *Biology letters*, 67: 207–210.

Hernández H. M. & H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana*, 26: 33-52.

Hernández L. P. & C. Esteban. 2021. Las pequeñas cactáceas: ¿camuflaje o simple coincidencia?. *Revista digital: Elementos*, 124, 71-76.

Hoffmann A. & A. Flores. 1989. The conservation status of Chilean succulent plants: A preliminary assessment. En: Benoit I (ed.) *Red list of Chilean terrestrial flora*, 5: 107-121.

Hoffmann A. & H. Walter. 2004. *Cactáceas en la flora de Chile*. Segunda Edición. Fundación Claudio Gay, Santiago, Chile, 307 pp.

- Kattermann F. 1994. *Eriosyce* (Cactaceae): the genus revised and amplified. Succulent Plant Research 1. David Hunt, Richmond.
- Kennedy C., J Oakleaf, D. Theobald, S. Baruch-Mordo, J. Kiesecker. 2019. Managing the middle: A shift in conservation priorities based on the global human modification gradient. *Global Change Biology*, 25(3), 811-826.
- Kennedy C., J. Oakleaf, D. Theobald, S. Baruch-Mordo, J. Kiesecker. 2020. Documentation for the global human modification of terrestrial systems. NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC): Palisades, NY, USA.
- Lázaro A., & C. Tur. 2018. Los cambios de uso del suelo como responsables del declive de polinizadores. *Ecosistemas*, 27(2), 23-33.
- Malavasi M., R. Santoro, M. Cutini, A.T.R. Acosta & M. L. Carranza. 2013. What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy *Landscape and Urban Planning*, 119: 54-63.
- Malavasi M., V. Bartak, M. L. Carranza, P. Simova & A. T. R. Acosta. 2018. Landscape pattern and plant biodiversity in Mediterranean coastal dune ecosystems: Do habitat loss and fragmentation really matter? *Journal of Biogeography*, 67: 1367-1377.
- Mandujano M. C., I. Carrillo, C. Martínez & J. Golubov. 2010. Reproductive biology of Cactaceae. *Desert plants: biology and biotechnology*, 89: 197-230.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2022. Inventario Nacional de Especies de Chile. [http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_independ.aspx?EspecieId=532&Version=1] Acceso 22 Julio 2023.
- Newbold, T., L. Hudson, S. Hill, S. Contu, I. Lysenko, R. Senior, A. Purvis. 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45-50.
- Pérez O. P. 2023. Asimetría en limitación por polen y en fecundidad de hembras y hermafroditas de la planta ginodioica y clonal *fuchsia microphylla kunth* (onagraceae).
- Piano E., K. De Wolf, F. Bona, D. Bonte, D. Bowler, M. Isaia & F. Hendrickx. 2017. Urbanization drives community shifts towards thermophilic and dispersive species at local and landscape scales. *Global Change Biology*, 23(7): 2554-2564.
- Pimienta E. & R. del Castillo. 2002. Biología reproductiva. En: Nobel PS (ed) *Cactus: biología y usos*. Prensa de la Universidad de California, Berkeley, 5: 75–90.
- Potts S, V. Imperatriz-Fonseca, H. Ngo, M. Aizen, J. Biesmeijer, T. Breeze, A. Vanbergen. 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), 220-229.
- Powney G, C. Carvell, M. Edwards, R. Morris, H. Roy, B. Woodcock, N. Isaac. 2019. Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nature communications*, 10(1), 1-6.

- Quiñones A. P. 2015. Limitación por polen y endogamia en la especie endémica *Cienfuegosia yucatanensis* Millsp.(Malvaceae).
- Sahley C. T. 2001. Vertebrate pollination, fruit production, and pollen dispersal of *Stenocereus thurberi* (Cactaceae). *The Southwestern Naturalist*, 261-271.
- Sánchez K., I. Castellanos & L. Mendoza. 2016. Abejas visitantes florales de *Opuntia heliabravoana* en un gradiente de urbanización. *Biológicas*, 18, 27-34.
- Simonetti J., M. Arroyo, A. Spotorno & E. Lozada. 1995. Diversidad Biológica de Chile. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Santiago, Chile, 364.
- Steffen, W., W. Broadgate, L. Deutsch, O. Gaffney, C. Ludwig, C. 2015. The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81-98.
- Tellier S. 2006. Flora vascular. Biodiversidad en Chile, Patrimonio y desafíos. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile, 639.
- Vanbergen J., & T. Initiative. 2013. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 251-259.
- Zepeda V., J. Golubov, M. Mandujano. 2017. Distribución espacial, estructura de tamaños y reproducción de *Astrophytum ornatum* (Cactaceae). *Acta botánica mexicana*, 119: 35-49.