

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos Autor.

CICESE@ 2022. Todos los derechos reservados

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
Ciencias de la Vida
con orientación en Biología de la Conservación**

**Variación de la diversidad de plantas en lotes baldíos y su
relación con gradientes socioeconómicos en dos delegaciones
de Tijuana, B.C., México**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Sandra Luz Jiménez Morales

Ensenada, Baja California, México
2022

Tesis defendida por
Sandra Luz Jiménez Morales

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Rodrigo Méndez Alonzo

Director de tesis

Dra. Fadia Sara Ceccarelli

M. en C. Luis Humberto Mendoza Garcilazo

Dra. Elsa Christine Anderson



Dra. Ana Denise Re Araujo

Coordinadora del Posgrado en Ciencias de la Vida

Dr. Pedro Negrete Regagnon
Director de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Sandra Luz Jiménez Morales** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Vida con orientación en Biología de la Conservación

Variación de la diversidad de plantas en lotes baldíos y su relación con gradientes socioeconómicos en dos delegaciones de Tijuana, B.C., México

Resumen aprobado por:

Dr. Rodrigo Méndez Alonzo
Director de tesis

Dado que la mayor parte de la población humana habita en ciudades, es necesario evaluar esquemas que permitan incrementar la provisión de servicios ecosistémicos a los habitantes, particularmente en ciudades donde la cantidad de áreas verdes por habitante sea menor a la recomendada por la Organización Mundial de la Salud. Al mismo tiempo, en las ciudades se ha demostrado que hay heterogeneidad espacial en la distribución de la riqueza de especies, donde un factor relevante para entender la dinámica de especies son los lotes baldíos. En este trabajo, se puso a prueba la hipótesis que la riqueza de especies en los lotes baldíos de la ciudad de Tijuana obedece a factores abióticos (tamaño de los lotes y la relación de lote más cercano promedio) y a factores socioeconómicos (“efecto lujo”, donde las zonas de mayor afluencia económica tienen una mayor riqueza de especies). Para esto se comparó la diversidad vegetal de lotes en las Delegaciones Playas de Tijuana y Centro del municipio de Tijuana durante cuatro meses, desde marzo hasta junio 2022, a través de gradientes socioeconómicos previamente determinados por INEGI al interior de las Delegaciones. Los resultados indican que no existe una heterogeneidad marcada en la distribución de la riqueza de especies vegetales entre las zonas con distintos grados de marginación, además no se observó la presencia del efecto lujo, ni una relación entre el grado de aislamiento y la riqueza de especies. Los resultados de este trabajo sugieren que no existe una diferencia marcada en el acceso a los servicios ecosistémicos que brinda la vegetación de lotes baldíos, además que se desconocen los factores socioecológicos que influyen en la riqueza de especies vegetales. Mis resultados sugieren que se requiere estudiar más a fondo estos ambientes, puesto que tienen un gran potencial para incrementar la cantidad de áreas verdes en este municipio, debido al crecimiento acelerado de la ciudad, la escasez de grandes espacios para creación de áreas verdes y la gran abundancia de lotes baldíos.

Palabras clave: áreas verdes urbanas, ecología urbana, grado de marginación, planeación urbana, lotes baldíos

Abstract of the thesis presented by **Sandra Luz Jiménez Morales** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Life Sciences with orientation in Conservation Biology

Variation in species diversity within vacant lots in two Delegaciones of Tijuana, B.C., Mexico, and its relationship with socio-economical gradients

Abstract approved by:

Dr. Rodrigo Méndez Alonzo
Thesis Director

Currently, the majority of the human population dwells in cities, therefore it is critical to evaluate schemes that may enhance the provision of ecosystem services to the urban inhabitants, particularly in cities that are unable to comply with the World Health Organization recommendation of urban green areas per capita. Simultaneously, cities have large spatial heterogeneity in the distribution of species richness, and a relevant factor in understanding species dynamics within urban habitats is the vacant lots. In this work, we tested whether vacant lots species richness in Tijuana, Baja California, Mexico are associated with abiotic factors (such as vacant lot size and average nearest neighbor ratio) and socio-economic factors (i.e., “luxury effect”, where the areas with higher economic wealth coincide with those of higher species richness). To do this, we compared the plant species richness and Shannon diversity index of vacant lots in the Delegación Playas and the Delegación Centro of the Tijuana municipality for four months, ranging from March until June 2022, by testing socioeconomic gradients within each Delegación through a system previously determined by the National Institute of Statistics, Geography, and Information of México (INEGI). The results of my thesis suggest that there is not significant heterogeneity in plant richness distribution between the zones with different marginalization degrees; in addition, the presence of the luxury effect was not observed, nor was there a relationship between the isolation degree and species richness. The results of this work suggest that there is no marked difference in access to ecosystem services provided by vacant lots vegetation; in addition, the socioecological factors that influence plant species richness are unknown. My research suggest that it is required to study more thoroughly the relevance of vacant lots in urban ecology since they have great potential to increase the number of green areas in this municipality, due to the accelerated city growth, the scarcity of large spaces for green areas establishment and the abundance of vacant lots.

Keywords: green urban areas, urban ecology, marginality degree, urban planning, vacant lot

Dedicatoria

A mi madre Sandra Luz Morales por haberme apoyado siempre en todas mis decisiones, por enseñarme el valor del aprendizaje y a hacer siempre lo que te apasiona, por siempre creer en mí y recordarme de lo que soy capaz.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) y en particular al Posgrado en Ciencias en Ciencias de la Vida. Todos los que conforman dicha institución por brindarme una educación de Calidad, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar esta investigación (Beca de maestría No. 1068382), a mi director de tesis el Dr. Rodrigo Méndez Alonzo por aceptarme como su asesora, por inspirarme a hacer ciencia para la gente y el planeta. A mi comité de tesis conformado por la Dra. Fadia Sara Ceccarelli el M. en C. Luis Humberto Mendoza Garcilazo y la Dra. Elsa C. Anderson por guiarme durante la elaboración de mi tesis. Al técnico Mario Salazar Ceseña por ayudarme en la identificación de las plantas colectadas para esta investigación. A todos los profesores que me impartieron cursos durante el primer año de maestría, porque a pesar de la distancia y las dificultades hicieron su mejor esfuerzo por transmitir su conocimiento y su pasión por la ciencia. A mi familia por apoyarme en los momentos difíciles y no dejarme dar por vencida. A mi compañera Melissa Lillian Díaz Salazar por ser parte de este proyecto, por compartir las horas de trabajo y las salidas de campo. Por último, a Maui mi gato, por acompañarme incondicionalmente en las horas de estudio y las horas de desvelo, por exigirme tomar descansos y hacer más bonitos mis días.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas	xi
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	4
1.3 Hipótesis.....	8
1.3.1 Hipótesis 1.....	8
1.3.2 Hipótesis 2.....	8
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo general.....	9
1.4.2 Objetivos específicos.....	9
Capítulo 2. Metodología.....	10
2.1 Área de estudio	10
2.2 Diseño de muestreo	11
2.2.1 Aplicación de indicador socioeconómico y delimitación de áreas verdes urbanas y lotes baldíos.....	12
2.2.2 Visita preliminar a los lotes	14
2.2.3 Selección de lotes.....	15
2.2.4 Muestreo en campo	15
2.3 Estimación del grado de aislamiento	16
2.4 Indicador de desigualdad	17
2.5 Índice de Shannon.....	18
2.6 Densidad poblacional.....	18
2.7 Análisis estadístico	18
Capítulo 3. Resultados	19

3.1	Estimación por percepción remota	19
3.1.1	Delegación Playas de Tijuana	19
3.1.1.1	Matriz de confusión delegación Playas de Tijuana	21
3.1.2	Delegación Centro	22
3.1.2.1	Matriz de confusión de la delegación Centro	24
3.2	Distribución espacial de la vegetación	25
3.3	Marginación urbana y diversidad vegetal	26
3.4	Área y riqueza vegetal	28
3.5	Aislamiento y riqueza vegetal	29
3.6	Proporción de especies nativas/exóticas	30
3.7	Densidad poblacional y diversidad vegetal	31
3.8	Diversidad vegetal y su relación con otras variables	32
Capítulo 4.	Discusión.....	33
4.1	Estimación por percepción remota	33
4.2	Distribución espacial de la vegetación	33
4.3	Marginación urbana y diversidad vegetal	34
4.4	Área y riqueza vegetal	35
4.5	Aislamiento y riqueza vegetal	35
4.6	Proporción de especies nativas/exóticas	36
4.7	Densidad poblacional y diversidad vegetal	36
4.8	Diversidad vegetal y su relación con otras variables	37
Capítulo 5.	Conclusiones	39
Capítulo 6.	Recomendaciones	41
Literatura citada		42
Anexos		47

Lista de figuras

Figura	Página
1. Representación gráfica de la teoría de Biogeografía de islas aplicada a lotes baldíos. Elaboración propia basada en Crowe 1979.....	4
2. Gráfica del crecimiento poblacional de Tijuana. Elaboración propia con datos de Garza (1999) e INEGI (2020).	4
3. Accesibilidad de los parques de Tijuana. Población con acceso a áreas verdes corresponde al 37.5% de la población. Tomada de Huizar & Ojeda (2014).....	5
4. Representación gráfica de la hipótesis 1. Elaboración propia.	8
5. Representación gráfica de la hipótesis 2. Elaboración propia	9
6. Mapa del municipio de Tijuana. Elaboración propia con datos de IMPLAN Tijuana e INEGI, 2020.	10
7. Mapa de las delegaciones Playas de Tijuana y Centro. Elaboración propia con datos de IMPLAN Tijuana e INEGI, 2020.	11
8. Mapa de la delegación Playas de Tijuana, dividida por AGEB. Los polígonos coloreados corresponden a los 28 AGEB con al menos 3 lotes baldíos, su coloración corresponde al grado de Marginación Urbana como se describe en la leyenda. Los polígonos sin color son los AGEB descartados por ausencia de lotes baldíos y datos del grado de marginación o porque no se encuentran en su mayor parte dentro de la delegación Playas de Tijuana. Los polígonos verdes corresponden a las áreas verdes urbanas y los grises a los lotes baldíos identificados por percepción remota.....	20
9. Gráfica del número de lotes baldíos por AGEB de la delegación Playas de Tijuana ordenados por grado de marginación, con los índices más bajos en la parte inferior y más elevados en la parte superior. La línea punteada representa la tendencia lineal de los datos.	21
10. Mapa de la delegación Centro dividida por AGEB. Los polígonos coloreados corresponden a los 28 AGEB con al menos 3 lotes baldíos, su coloración corresponde al grado de Marginación Urbana como se describe en la leyenda. Los polígonos sin color son los AGEB descartados por ausencia de lotes baldíos y datos del grado de marginación o porque no se encuentran en su mayor parte dentro de la delegación. Los polígonos verdes corresponden a las áreas verdes urbanas y los grises a los lotes baldíos identificados por percepción remota.....	23
11. Gráfica del número de lotes baldíos por AGEB de la delegación Centro ordenados por grado de marginación, con los índices más bajos en la parte inferior y más elevados en la parte superior. La línea punteada representa la tendencia lineal de los datos.	24
12. Gráfica de distribución de riqueza de especies acumulada por AGEB y curva de Lorenz correspondiente a la delegación Playas de Tijuana.	26

13. Gráfica de distribución de riqueza de especies acumulada por AGEB y curva de Lorenz correspondiente a la delegación Centro. 26
14. Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el Índice de Marginación Urbana (IMU) de la delegación Playas de Tijuana. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas. 27
15. Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el Índice de Marginación Urbana (IMU) para la delegación Centro. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas. El diagrama de la izquierda, aunque muestra una línea de correlación no presenta una correlación de Spearman significativa ($\rho = -0.02$, $p = 0.9$). 27
16. Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el tamaño de los LB de la delegación Playas de Tijuana. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas. El diagrama, aunque muestra una línea de correlación los resultados no demuestran una relación significativa ($r = 0.39$, $p = 0.07$). 28
17. Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el tamaño de los lotes de la delegación Centro. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas. El coeficiente de correlación de Pearson mostró una relación positiva entre las variables ($r = 0.729$, $P < .001$). 28
18. Diagramas de correlación entre riqueza de especies (S) y densidad de lotes y áreas verdes a la izquierda, y a la derecha entre riqueza y Nearest Neighbor Ratio de la delegación Playas de Tijuana. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las variables. Aunque en los diagramas se muestra una línea de correlación los resultados no muestran relación significativa para ninguno de los dos ($\rho = -0.104$, $p = 0.653$ izquierda, y $\rho = -0.174$, $p = 0.451$ derecha). 29
19. Diagramas de correlación entre riqueza de especies (S) y densidad de lotes y áreas verdes a la izquierda, y a la derecha entre riqueza y Nearest Neighbor Ratio de la delegación Centro. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las variables. Aunque en los diagramas se muestra una línea de correlación los resultados no muestran relación significativa para ninguno de los dos ($\rho = 0.183$, $p = 0.416$ izquierda, y $\rho = -0.317$, $p = 0.151$ derecha). 30
20. Diagramas de correlación entre densidad poblacional y las variables de diversidad para las delegaciones Playas de Tijuana (parte superior) y Centro en la (parte inferior). Los diagramas, aunque muestra una línea de correlación no se observaron correlaciones significativas, a excepción de la figura superior derecha ($\rho = 0.53$, $p = 0.014$). 31
21. Diagramas de correlación de las variables de diversidad, basura, altura y pendiente de las delegaciones Playas de Tijuana (parte inferior) y Centro en la (parte superior). Todos muestran correlaciones significativas de Spearman, A ($\rho = 0.594$, $p = 0.004$), B ($\rho = 0.608$, $p = 0.003$), C ($\rho = 0.5$, $p = 0.02$) y D ($\rho = 0.5$, $p = 0.02$). 32

Lista de tablas

Tabla	Página
1. Dimensiones e indicadores del índice de Marginación Urbana por AGEB 2010.....	12
2. Fórmulas para el cálculo de la precisión, sensibilidad y especificidad de la matriz de confusión.	14
3. Matriz de confusión sobre la estimación de lotes baldíos por percepción remota. Delegación Playas de Tijuana.	22
4. Matriz de confusión sobre la estimación de lotes baldíos por percepción remota. Delegación Centro.....	25
5. Tabla de resultados del coeficiente de correlación de Spearman entre riqueza y variables de aislamiento para las delegaciones Centro y Playas de Tijuana.	29
6. Listado de las especies encontradas en lotes baldíos de Tijuana, Baja California. Las especies exóticas están marcadas con un asterisco (*).	47

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

Ante el cambio climático y el rápido crecimiento de las ciudades, la vegetación urbana se vuelve cada vez más relevante; sin embargo, la ecología de ambientes urbanos ha sido poco estudiada y el valor de la diversidad vegetal de zonas urbanas es poco conocido. Dentro de la vegetación urbana se consideran muy relevantes los espacios o áreas verdes urbanas (AVU) que pueden ser formales, aquellas que presentan algún tipo de manejo como parques y jardines, o informales como los remanentes de vegetación nativa y la vegetación espontánea en calles y lotes baldíos (LB), siendo este último grupo los menos estudiados y valorados por sus contribuciones a la conservación de la biodiversidad y el bienestar social (Rupprecht et al., 2015).

La vegetación urbana se asocia a una mejor calidad de vida, donde una mayor proporción de AVU per cápita tiene importantes beneficios en el bienestar humano (Gómez y Velázquez, 2018; Nghiem et al., 2021), esto se debe a la provisión de servicios ecosistémicos, que son las funciones ecosistémicas que otorgan beneficios en forma de bienes y servicios a la población humana (Costanza et al., 1997). Dentro de los servicios ecosistémicos que brindan los ecosistemas urbanos están la amortiguación de climas extremos, protección contra peligros naturales, secuestro y almacenamiento de carbono, mantenimiento de regímenes hidrológicos, estética del paisaje, recreación física, educación ambiental, experiencia directa con la naturaleza, polinización y retención de sedimentos y nutrientes, entre muchos otros (Ahern, 2007; Hamel et al., 2021).

Para estudiar la vegetación urbana el primer paso es conocer la biodiversidad un concepto que comprende toda la diversidad de vida a distintos niveles, desde diversidad de genes hasta de comunidades y mucho más. El nivel más ampliamente usado es el de especie, por lo tanto, la forma más común de medir la biodiversidad es determinando la riqueza de especies, que se define como el número de especies en una comunidad, paisaje o región. Otra forma más compleja de estimar la biodiversidad es a través de los índices de diversidad, funciones matemáticas que combinan la riqueza y uniformidad en una sola medida. Uno de estos indicadores es la diversidad de Shannon (Colwell, 2009).

Los lotes baldíos son sitios espacialmente discretos y ubicuos, que no presentan uso para fines residenciales o comerciales, y cuya vegetación presenta nulo manejo o si presenta, sólo se remueve la vegetación de manera irregular y a intervalos largos, además, presentan acceso y uso público restringido (Rupprecht y Byrne, 2014). En otras ciudades como Chicago y Ensenada se ha observado que la vegetación de lotes baldíos está dominada por vegetación perene, espontánea, herbácea y exótica (Anderson y Minor, 2020; Garcillán et al., 2009). Cabe mencionar que se consideran como especies exóticas o no nativas a aquellas especies que se encuentran en un área en la que no evolucionaron desde la última era de hielo y su introducción se debe a actividades humanas de manera deliberada o involuntaria (Kowarik, 2008).

La dinámica ecológica de ambientes urbanos es un área de estudio reciente, donde además de los factores biológicos y biofísicos, intervienen aspectos sociales. Los LB a pesar de ser sitios con poco o nulo manejo, son sitios donde las actividades humanas influyen en la dinámica ecológica, como se ha observado en un estudio previo, en el cual la riqueza de especies vegetales en lotes baldíos se explica mejor por factores sociales que biofísicos (Anderson and Minor, 2019).

En los últimos años en algunas ciudades se ha observado un patrón de distribución de la vegetación desigual, que se correlaciona con factores socioeconómicos, este patrón característico fue denominado “efecto lujo” y describe una relación funcional entre la diversidad de especies y el estatus socioeconómico de la población, donde a medida que aumenta el poder adquisitivo de la población, esta habita ambientes con mayor diversidad de plantas, ya sea creando estos ambientes o asentándose preferentemente en sitios con una gran diversidad natural (Hope et al., 2006).

Esta relación se observó por primera vez en la diversidad de plantas de la ciudad de Phoenix, Arizona (Hope et al., 2003) y ha sido observada en otras ciudades alrededor del mundo (Nesbitt et al., 2019; Pham et al., 2012) y en otros grupos taxonómicos (Chamberlain et al., 2019), sin embargo, el efecto lujo es más marcado en ciudades con ambientes áridos y semiáridos (Leong et al., 2018), puesto que se asocia a la disponibilidad de agua para riego, lo que provoca que al incrementar la tasa de precipitación las diferencias en la abundancia y distribución de la vegetación entre zonas de altos y bajos recursos disminuya (Jenerette et al., 2013).

El efecto lujo se le atribuye a la influencia de las preferencias y prácticas humanas en los ecosistemas urbanos, como la creación y mantenimiento de espacios verdes, el uso e inversión en tecnología moderna de irrigación y fertilización, la selección activa de las especies mediante la introducción y eliminación (a través de la poda), así como el establecimiento de barreras (Anderson y Minor, 2020; Blanchette et al.,

2021; Hope et al., 2006), entre otras. Es de gran importancia resaltar que la presencia del efecto lujo implica desigualdad en el acceso al medio ambiente, puesto que la distribución heterogénea de las áreas verdes indica una proporción desigual de los servicios ecosistémicos, siendo la población marginada la menos beneficiada.

Por otra parte, para entender la variación espacial de la riqueza de especies en el medio urbano, se puede utilizar la teoría de biogeografía de islas, un modelo que ayuda a estimar la riqueza de especies en una isla según su antigüedad, tamaño y grado de aislamiento (MacArthur y Wilson, 2015). Los principios descritos en la teoría de biogeografía de islas no sólo aplican para islas en el sentido estricto (oceánicas, continentales, volcánicas, atolones de coral), sino también a cualquier tipo de unidad de paisaje que se encuentre aislada de sus unidades más semejantes, como ocurre con las islas del cielo, que son zonas montañosas que generalmente albergan vegetación y fauna de ambientes húmedos en medio del desierto Sonorense y Chihuahuense (Brown, 1971), así como para áreas naturales protegidas, y en menor medida, en ecosistemas modificados por la actividad humana como los asentamientos urbanos (Crowe, 1979; Davis y Glick, 1978; Gao et al., 2021).

Los lotes baldíos al ser sitios rodeados de asfalto y cemento podrían actuar de manera similar a las islas, que actúan como hábitat temporales o permanentes, corredores o “stepping stones”, facilitando la dispersión de las especies. En estos ambientes factores bióticos, abióticos y culturales interactúan creando hábitats que varían en tamaño, grado de aislamiento y perturbación; por esto la teoría de biogeografía de islas ha sido aplicada también al estudio de estos espacios urbanos que se caracterizan por ser sitios frecuentemente perturbados donde dominan especies poco sensibles con nichos amplios, especialmente especies exóticas sinantrópicas (Davis y Glick, 1978).

En el estudio clásico de (Crowe (1979) donde se aplicó la teoría del equilibrio se observó que la riqueza de especies incrementa conforme aumenta la antigüedad del lote, al mismo tiempo que se asocia positivamente con el tamaño del lote, y negativamente con el grado de aislamiento como se muestra en la figura 1. Se sugiere que los posibles factores que influyen son la poda, migración, extinción y que otros lotes o parches de vegetación actúan como fuentes de colonizadores. De manera similar, en otra ciudad también localizada en un hot-spot de biodiversidad, la riqueza de especies vegetales espontáneas también se asoció al tamaño del hábitat y el grado de aislamiento (Gao et al., 2021).

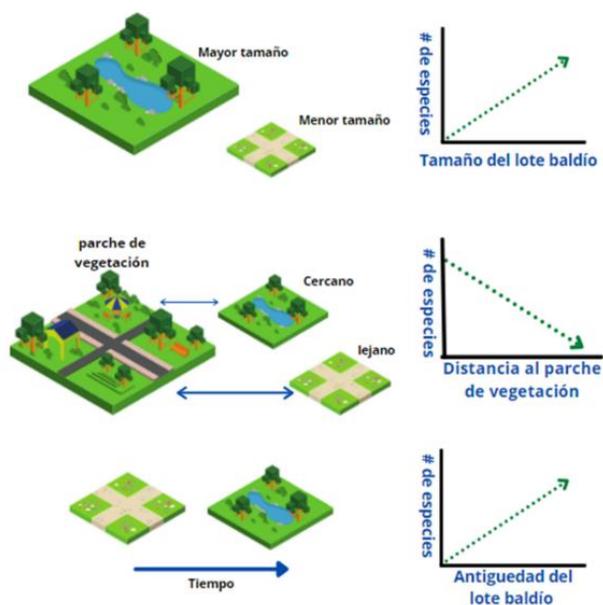


Figura 1 Representación gráfica de la teoría de Biogeografía de islas aplicada a lotes baldíos. Elaboración propia basada en Crowe 1979.

1.2 Justificación

Tijuana al ser una ciudad fronteriza presenta un crecimiento urbano acelerado, esto se debe en gran medida a la elevada tasa de crecimiento poblacional (Garza, 1999) como se muestra en la figura 2 y a la migración. Estos dos factores en conjunto con la falta de planeación urbana, resulta en el establecimiento de asentamientos irregulares, que corresponden a más de la mitad del área urbana (aproximadamente el 57%) (Alegoría y Ordóñez, 2005), así como la degradación y fragmentación de las áreas naturales (Ochoa y Ojeda-Revah, 2017).

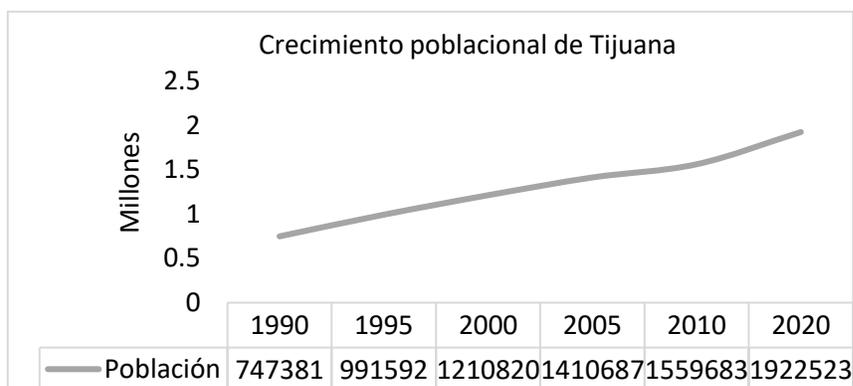


Figura 2 Gráfica del crecimiento poblacional de Tijuana. Elaboración propia con datos de Garza (1999) e INEGI (2020).

Las implicaciones de estos procesos de crecimiento poblacional y degradación ambiental contribuyen a que la ciudad presente una cobertura de AVU menor que la recomendada para ambientes urbanos por la Organización Mundial de la Salud, de 9 m^2 per cápita como mínimo y un óptimo de 50 m^2 per cápita (WHO, 2010); puesto que para el año 1994 Tijuana presentaba un AVU de $1.64\text{ m}^2/\text{ha}$ incluyendo parques y vegetación de camellones y glorietas. Para el año 2010, el AVU aumentó a $2.56\text{ m}^2/\text{ha}$, sin haber creado parques urbanos (mayores a 9.1 ha) entre 1989 y 2010 (Huizar y Ojeda, 2014).

Aunado a esto, las áreas verdes existentes son pequeñas y solo son accesibles al 35% de la población (Figura 3), se encuentran en mal estado pues presentan una baja cobertura vegetal y equipamiento deficiente (Huizar y Ojeda, 2014), tienen mal mantenimiento debido al escaso o nulo manejo, y presentan poca diversidad y cobertura vegetal (20 a 30% del área), además el 20% de la vegetación requiere de riego diario, 49% de 2 a 3 veces por semana y solo el 31% son resistentes a sequías (Ojeda Revah y Álvarez, 2000).

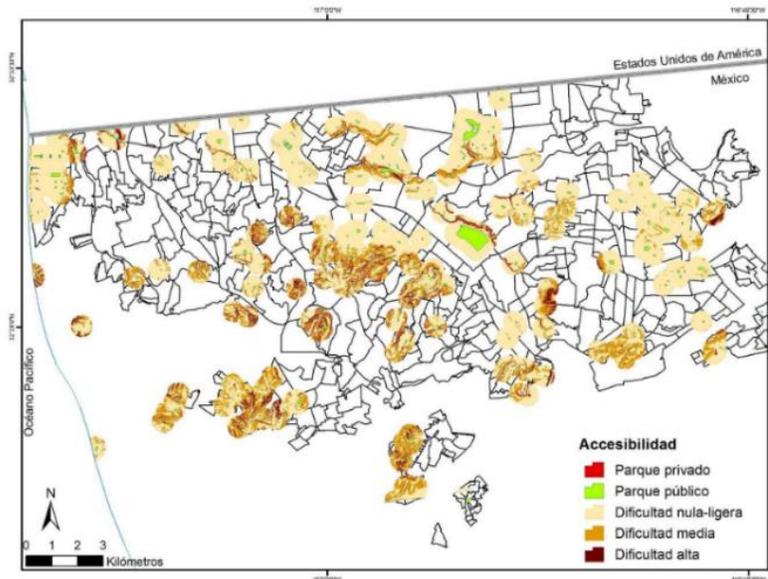


Figura 3 Accesibilidad de los parques de Tijuana. Población con acceso a áreas verdes corresponde al 37.5% de la población. Tomada de Huizar & Ojeda (2014).

La distribución de la vegetación en la ciudad de Tijuana es heterogénea, siendo las delegaciones Centro, Mesa de Otay y Playas de Tijuana las zonas con la mayor proporción de áreas verdes (Huizar y Ojeda, 2014), por lo que el acceso a los servicios ecosistémicos que brinda a la población es desigual, de manera similar

a ciudades con climas áridos donde las comunidades marginadas tienen menor acceso al arbolado urbano y los servicios ambientales que brinda (Nelson et al., 2021).

En un estudio previo realizado en la ciudad de Tijuana donde se analizó la cobertura vegetal total a través de percepción remota, se observó que contrario al efecto lujo la cobertura vegetal es ligeramente mayor en zonas marginadas (Biggs et al., 2015). No obstante, se sugiere que esto se puede deber a las condiciones topográficas, puesto que la población de bajos recursos vive en zonas de riesgo con pendientes elevadas y zonas de inundación (Ojeda Revah y Álvarez, 2000), que son simultáneamente las zonas donde se conserva la mayor parte de la vegetación natural por la dificultad de construcción (Biggs et al., 2015; Ochoa y Ojeda-Revah, 2017).

Las zonas con índices elevados de marginación presentan una mayor proporción de suelos desnudos por prevalencia de calles sin pavimento y lotes baldíos no mayores a $30m^2$ (Biggs et al., 2010), contrario a las zonas con bajos índices de marginación concentrados en el núcleo urbano, que presentan una mayor densidad poblacional, suelos impermeables y paisajismo de vegetación limitada característico de las zonas recién urbanizadas (Biggs et al., 2015). La evolución del área urbana de Tijuana se caracteriza por un crecimiento hacia la periferia y densificación del núcleo urbano, así como una reducción constante de la vegetación con la edad del asentamiento en lugar de recuperarse con el tiempo (Biggs et al., 2010; Ojeda-Revah et al., 2008), este patrón es característico de los países latinoamericanos en desarrollo.

Debido a que la población marginada habita zonas de riesgo, la remoción de la vegetación para el establecimiento de viviendas aumenta el riesgo de desastres, puesto que la vegetación actúa como estabilizador de los suelos, evitando la erosión y facilitando la filtración del agua, por lo que disminuye el riesgo por inundaciones, deslaves, derrumbes y movimientos sísmicos, que son cada vez más comunes en la región (Ojeda Revah y Álvarez, 2000). Lo anterior resalta la importancia de conservar los parches de vegetación nativa y el establecimiento de infraestructura verde para reducir el riesgo de desastres (Ochoa y Ojeda-Revah, 2017) y lograr la adaptación de las ciudades ante el cambio climático (Munang et al., 2013).

Los lotes baldíos a pesar de ser espacios con una imagen negativa ante la opinión pública (Phillips y Lindquist, 2021), contienen vegetación que contribuye a la biodiversidad y proveen un hábitat para otras especies. Por esta razón, los LB tienen potencial ecológico en restauración, para la conservación y conexión entre hábitats, así como potencial para mejorar el bienestar social mediante el establecimiento de AVU y el consecuente aumento en el acceso a los servicios ecosistémicos asociados.

En la ciudad de Tijuana los LB se mantienen por tiempos prolongados después de la urbanización, especialmente en la periferia de la ciudad (Biggs et al., 2010). Su permanencia a largo plazo, aunado a su abundancia y distribución, incluso en las zonas más densas de la ciudad, los convierte en un elemento potencialmente valioso para incrementar la proporción de la población con acceso a AVU, pues de acuerdo con las Naciones Unidas, la distancia recomendada para un acceso equitativo a las AVU es de menos de 400 metros (UN-HABITAT, 2018).

A pesar de su gran potencial no existen estudios sobre la vegetación de LB en la ciudad de Tijuana, sin embargo, al sur de Tijuana en el extremo sur del corredor urbano Tijuana-Ensenada y de la Provincia Florística de California se localiza la ciudad de Ensenada, donde se realizó un estudio de composición de la flora de la ciudad y se encontró que la vegetación de lotes baldíos se encuentra dominada por vegetación no nativa (59% de las especies) pertenecientes en su mayoría a 4 familias (Poaceae, Amaranthaceae, Brassicaceae y Asteraceae), además la vegetación con preferencia de estos espacios son especies perenes y arbustivas/subarbustivas (Garcillán et al., 2009).

El porcentaje de especies no nativas del condado de San Diego es de aproximadamente 30% (Simpson y Rebman, 2002), mientras que el de la ciudad de Ensenada de 61%, sobrepasa la situación general del estado de Baja California que es de 9.4% de especies no nativas, siendo uno de los más altos del país, solo después del Estado de México (10.3%) (Villaseñor y Espinosa-García, 2004). Aunado al alto porcentaje de especies no nativas de la región, el 31% del total de la vegetación de lotes baldíos y arroyos de Ensenada corresponde a especies clasificadas como invasoras por el Consejo de Plantas Invasoras de California (Garcillán et al., 2009), considerando las plantas invasoras como aquellas que no son nativas, con potencial de esparcirse a ecosistemas silvestres y causar daños ecológicos o económicos como el desplazar a las especies nativas, hibridar con especies nativas y alterar las comunidades biológicas o los procesos de los ecosistemas (Brusati et al., 2014; California Invasive Plant Council, 2017).

El consejo clasifica a las plantas según el riesgo e impacto de estas en 5 niveles; el nivel alto son aquellas especies que causan graves impactos ecológicos en los ecosistemas, que presentan atributos propicios para la dispersión y establecimiento y tienen una amplia distribución. El nivel moderado son aquellas especies con impactos ecológicos sustanciales, no severos en los ecosistemas y con atributos para dispersión moderada a alta pero cuyo establecimiento depende del grado de perturbación por lo que su distribución varía. Las especies en estado limitado son invasoras pero sus impactos y tasa de invasión son menores, por lo que su distribución es limitada pero persistente o problemática. Las especies en estado de alerta presentan un impacto alto a moderado, con una distribución limitada en California, pero con

potencial a propagarse. Por último, las que están en observación son aquellas que con un alto riesgo de convertirse en invasoras a futuro (California Invasive Plant Council, 2017).

Para poder contribuir en el conocimiento de la distribución de la riqueza de especies vegetales en el ecosistema urbano de Tijuana, B.C., el presente estudio buscó determinar los factores que contribuyen a la heterogeneidad espacial en la diversidad de plantas, tanto nativas como exóticas de los LB de dos delegaciones de Tijuana, la Delegación Centro (DC) y Delegación Playas de Tijuana (DPT). Las hipótesis contrastadas a través de estas delegaciones son si la biogeografía de islas y/o el efecto lujo explican la diversidad vegetal de los lotes baldíos.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis 1

El gradiente socioeconómico se asocia positivamente con una distribución desigual de la riqueza de especies vegetales, siendo mayor la riqueza de especies en las zonas de mayor índice socioeconómico con relación a las zonas marginadas de la ciudad de Tijuana, B.C. (figura 4).

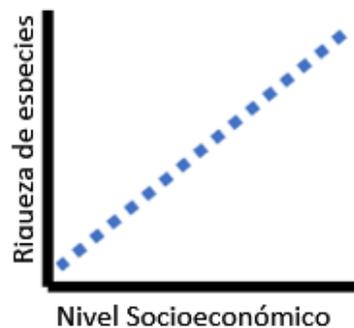


Figura 4 Representación gráfica de la hipótesis 1. Elaboración propia.

1.3.2 Hipótesis 2

La riqueza de especies de plantas en los lotes baldíos de la ciudad de Tijuana se ve influenciada por el tamaño y grado de aislamiento de estos, incrementando mientras mayor sea el área de los lotes individuales y menor la distancia a los otros lotes o parches de vegetación (figura 5).

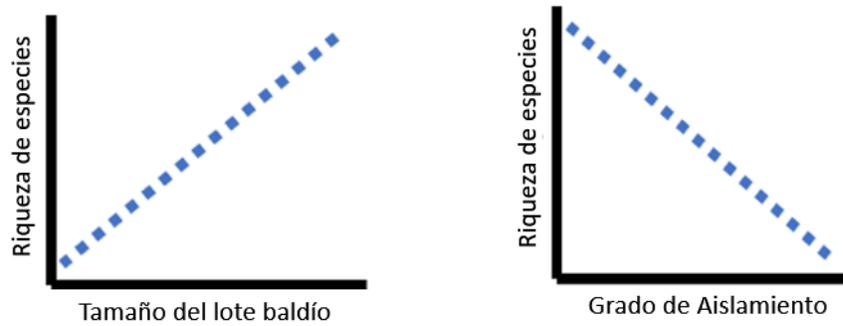


Figura 5 Representación gráfica de la hipótesis 2. Elaboración propia

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar si la distribución espacial de la riqueza de especies en lotes baldíos en dos delegaciones de Tijuana, B.C., se encuentra asociada a factores biofísicos o socioeconómicos como el tamaño de lotes o el índice de marginación.

1.4.2 Objetivos específicos

- i. Determinar si existe una distribución espacial desigual de la riqueza de especies vegetales.
- ii. Determinar si existe una relación entre la riqueza de especies vegetales y el índice de marginación urbana.
- iii. Determinar si el tamaño del lote influye en la riqueza de especies vegetales.
- iv. Determinar si la distancia entre lotes y áreas verdes urbanas, y la densidad de lotes baldíos influyen en la riqueza de especies vegetales.
- v. Determinar la proporción entre especies de plantas nativas y exóticas.

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio

El municipio de Tijuana se localiza en la región fronteriza entre Estados Unidos y México ($116.8935868^{\circ}\text{W}$ $32.3711604^{\circ}\text{N}$). Colinda al norte con San Diego y al oeste con el Océano Pacífico (Figura 6). Tiene una población total reportada en 2020 de 1,922,523 habitantes y una extensión estimada de 1,090 km² comprendida en 11 delegaciones (INEGI, 2020). El municipio presenta una topografía accidentada, un clima de tipo mediterráneo con inviernos fríos y lluviosos y veranos cálidos y secos, con una precipitación anual promedio de 230 mm, temperatura promedio anual de 17.8°C, máxima normal de 23.9°C y mínima normal de 11.7°C. (CONAGUA).

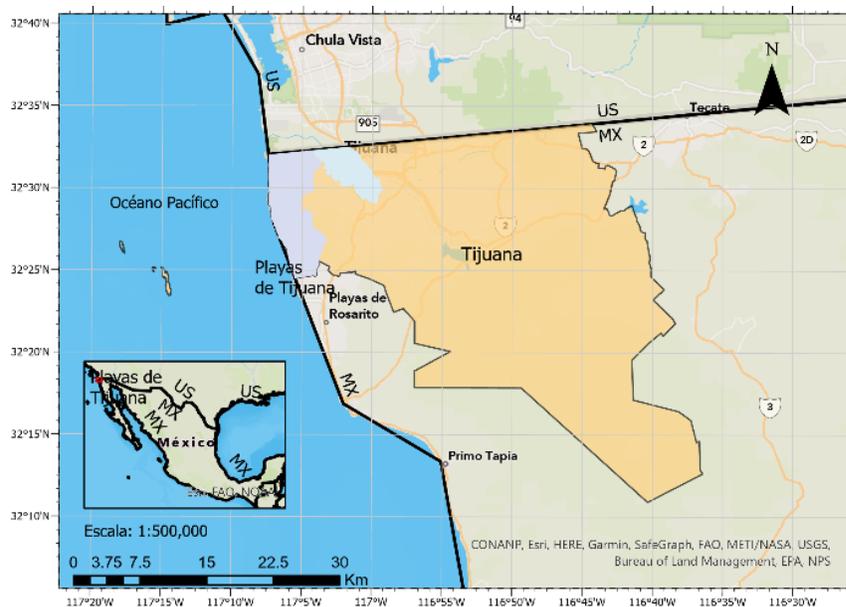


Figura 6 Mapa del municipio de Tijuana. Elaboración propia con datos de IMPLAN Tijuana e INEGI, 2020.

Tijuana forma parte de la Provincia Florística de California, que es rica en endemismos y diversidad de especies (Riemann y Ezcurra, 2007), y un hot-spot de diversidad biológica (Myers et al., 2000). La vegetación característica de la zona son el chaparral, matorral costero y rosetófilo, vegetación riparia, pastizal y matorral costero. Este último es un matorral de hojas blandas que cubre gran parte del área de

interés, el cual se encuentra altamente amenazado por la creciente urbanización de la zona en ambos lados de la frontera (Ojeda-Revah et al., 2008).

La zona de estudio incluyó a dos delegaciones (figura 7), la Delegación Playas de Tijuana ($117.0910112^{\circ}\text{W}$ $32.4713677^{\circ}\text{N}$) que colinda al norte con Imperial Beach y San Diego, Estados Unidos, y al oeste con el Océano Pacífico, presenta una extensión total estimada de 87 km². La delegación Centro ($117.0390656^{\circ}\text{W}$ $32.5208900^{\circ}\text{N}$) se extiende al este de la DPT con extensión total estimada de 35 km² y de mayor antigüedad que la anterior, además, comprende la zona núcleo de la ciudad con mayor densidad poblacional (Biggs et al., 2010).

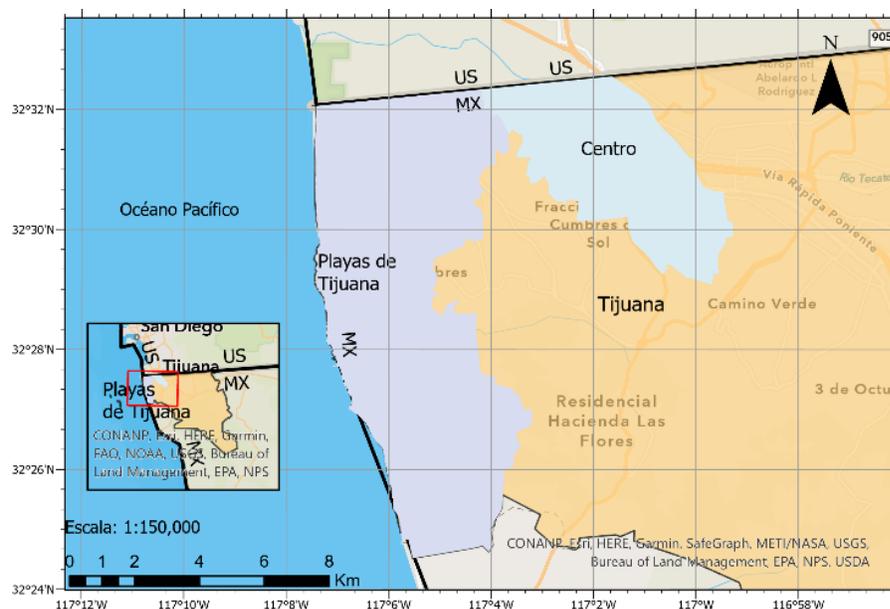


Figura 7 Mapa de las delegaciones Playas de Tijuana y Centro. Elaboración propia con datos de IMPLAN Tijuana e INEGI, 2020.

2.2 Diseño de muestreo

Se estimó la diversidad de la vegetación en LB para dos zonas de estudio de la ciudad de Tijuana, la delegación de Playas de Tijuana y la delegación Centro (figura 7). El objetivo de este trabajo fue determinar la riqueza específica en los lotes y poder establecer si esta presenta una asociación con el nivel socioeconómico de la población, el tamaño del lote baldío y el grado de aislamiento de estos.

Las variables de respuesta fueron riqueza de especies vegetales y la diversidad de Shannon. Las variables independientes fueron: área de los LB, relación de vecino más cercano promedio, densidad de LB y AVU, índice de marginación urbana (IMU), densidad poblacional, presencia de basura, altitud y pendiente.

2.2.1 Aplicación de indicador socioeconómico y delimitación de áreas verdes urbanas y lotes baldíos

Para la delimitación espacial de las AVU y los LB, se utilizó la información espacial del [Instituto Nacional de Estadística y Geografía \(INEGI\)](#) de acceso libre. INEGI ha clasificado a las unidades territoriales urbanas a través de un sistema de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) que comprenden de 25 a 50 manzanas divididas por calles bien definidas de acuerdo con su uso primordial de suelo y su grado de marginación (CONAPO, 2010; INEGI, 2020).

Para la elaboración del gradiente socioeconómico se empleó como indicador socioeconómico el Índice de Marginación Urbana (IMU) por AGEB elaborado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) construido a partir de 10 indicadores socioeconómicos (Tabla 1) del Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI. Los indicadores de IMU son relativos a cuatro dimensiones: educación, salud, vivienda y bienes. Este índice permite medir el grado en que ciertos sectores de la población tienen dificultades para cumplir con sus necesidades básicas y está disponible en [Datos Abiertos del Índice de Marginación | Consejo Nacional de Población CONAPO](#).

Tabla 1 Dimensiones e indicadores del índice de Marginación Urbana por AGEB 2010

Dimensión	Indicador
Educación	% Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela
	% Población de 15 años o más sin educación básica completa
Salud	% Población sin derechohabiencia a los servicios de salud
	% Hijos fallecidos de las mujeres de 15 a 49 años
Vivienda	% Viviendas particulares habitadas sin drenaje conectado a la red pública o fosa séptica
	% Viviendas particulares habitadas sin excusado con conexión de agua
	% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada dentro de la vivienda
	% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
	% Viviendas particulares habitadas con algún nivel de hacinamiento
Bienes	% Viviendas particulares habitadas sin refrigerador

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI.

Como primer paso, se seleccionaron aquellos AGEB cuyos límites estuvieran al menos 90% dentro de los límites de cada delegación, eliminando aquellos compartidos entre ambas delegaciones y aquellos que no contaban con datos de IMU.

Para la delimitación de los lotes baldíos se identificaron manualmente los lotes baldíos empleando el software Google Earth (<http://earth.google.com>). Como primer paso se hizo una búsqueda con vista aérea y al identificar un posible lote baldío se verificó mediante la vista de calle que no presentara uso, además de anotar si se encontraba cercado, con barda o abierto. Solo se mapearon aquellos terrenos que no muestran uso, carecen de construcción y no están bardeados; aquellos que presentaban solo cercado de púas se identificaron y se anotaron como cercados. Una vez identificado cada lote se delimitó un polígono para cada uno, empleando el Sistema de información Geográfica ArcGIS Pro (ESRI, Redlands, California, EUA) y QGIS (QGIS Association, QGIS.org, 2022, <http://www.qgis.org>), anotando al mismo tiempo su dirección y el AGEB al que pertenecen.

Una vez generados todos los polígonos se calcularon de manera automática para todos los lotes el área, perímetro y las coordenadas geográficas empleando la herramienta *Calculate Geometry Attributes* en ArcGIS Pro. Como resultado de este proceso se obtuvo una capa vectorial para cada una de las delegaciones con la ubicación de cada LB y sus características geométricas. El mapeado de los polígonos se realizó en colaboración con dos estudiantes de Maestría en El Colegio de la Frontera Norte, Melissa Lilian Díaz Salazar y Zayra A. Peña Moreno.

Una vez mapeados los lotes baldíos se clasificaron en base a los siguientes criterios: acceso y seguridad de la zona. El acceso se clasificó empleando dos categorías, cercados y no cercados. En base a los criterios anteriores se descartaron aquellos fuera de zonas habitacionales o comerciales, en zonas poco seguras y sin acceso (cercados o en calles sin pavimentar). La clasificación se realizó con la finalidad de agilizar las visitas y seleccionar los LB a muestrear asegurando solo aquellos accesibles y priorizando siempre la seguridad.

Para las AVU se descargó la base de datos de espacios públicos de INEGI y se filtraron los puntos espaciales georreferenciados correspondientes a parques, jardines, glorietas y cementerios; a partir de los cuales se delimitaron con polígonos dichas áreas creando una capa vectorial de las AVU, a la cual se anexo la base de datos de parques urbanos públicos, facilitadas por Bojórquez y colaboradores (2021) para complementar los polígonos de las áreas verdes urbanas.

2.2.2 Visita preliminar a los lotes

Se visitaron aproximadamente una cuarta parte de los LB de cada categoría (cercados / no cercados) de manera individual para cada delegación durante los meses enero y febrero 2022. La visita tuvo como primer objetivo estimar el desempeño de la identificación de los lotes a través de percepción remota, mediante la elaboración de una matriz de confusión. En segundo lugar, las visitas preliminares ayudaron a definir de manera estricta aquellos LB donde es posible realizar el muestreo. Esto último para agilizar el muestreo en campo y reducir el tiempo de búsqueda de los lotes, puesto que durante las primeras visita de prueba no fue posible ubicar muchos de los lotes.

Durante la visita preliminar se tomaron fotografías de los lotes y se anotó si se encontraban cercados o bardeados, presentaban vegetación, o si dejaron de ser lotes baldíos por construcción u otro tipo de uso observado (Estacionamiento, área verde, entre otros). Asimismo se anotó cuando no se logró ubicar el lote. Para optimizar el tiempo de las visitas, estas se realizaron priorizando la cercanía de los lotes, se ordenaron primero por cercanía de los AGEB, en segundo lugar, por código postal de las direcciones y en tercero por calles cercanas, una vez ordenados se ingresaban las direcciones o coordenadas en Google Maps (Google LLC, 2022, <https://support.google.com/maps>) y se ordenaban según la ruta más corta posible.

Tabla 2 Fórmulas para el cálculo de la precisión, sensibilidad y especificidad de la matriz de confusión.

Precisión	<i>Porcentaje de predicciones positivas (LB sin cercado) correctas</i>	$\frac{\text{LB no cercados predichos y reales}}{\text{LB no cercados predichos y reales} + \text{LB predichos no cercados pero real cercados}}$
Sensibilidad	<i>Porcentaje de lotes baldíos no cercados detectados</i>	$\frac{\text{LB no cercados predichos y reales}}{\text{LB no cercados predichos y reales} + \text{LB predichos cercados pero real no cercados}}$
Especificidad	<i>Porcentaje de lotes baldíos cercados detectados</i>	$\frac{\text{LB cercados predichos y reales}}{\text{LB cercados predichos y reales} + \text{LB predichos no cercados pero real cercados}}$
Puntaje F1	<i>Métrica que sintetiza la precisión y sensibilidad</i>	$\frac{2 * \text{Precisión} * \text{Sensibilidad}}{\text{Precisión} + \text{Sensibilidad}}$

*La exactitud (porcentaje de predicciones correctas) de la identificación de lotes baldíos no se calculó porque los datos de ambas delegaciones no están equilibrados.

Al finalizar las visitas preliminares se compararon las fotografías tomadas de los lotes con la vista de calle de Google Earth Pro (Google LLC, 2022, <https://www.google.com/intl/es/earth/versions/>) para corroborar que los terrenos visitados coincidan con los identificados a través de percepción remota. Con los datos obtenidos de la visita preliminar se elaboró una matriz de confusión. El cálculo de la precisión, sensibilidad y especificidad de la matriz de confusión se realizó empleando las fórmulas contenidas en la tabla 2.

2.2.3 Selección de lotes

Los lotes seleccionados para el muestreo en base al acceso y seguridad fueron 21 para la delegación Playas de Tijuana, con tamaños que van de los 63m², a 807 m², con un promedio de tamaños de 298 m², en conjunto comprenden un área de 6 262m². Los 21 lotes de la DPT corresponden a 11 AGEB cuyo grados de marginación son muy bajo, bajo, medio y alto. Para la delegación Centro se seleccionaron 22 lotes que van de los 172m² a 2 870m², con un promedio de tamaños de 580 m² que comprenden en conjunto un área de 12 768 m², estos 22 lotes corresponden a 8 AGEBS cuyos índices de marginación son muy bajo, bajo y medio.

2.2.4 Muestreo en campo

El trabajo de campo consistió en el muestreo y recolecta de vegetación en los lotes baldíos seleccionados en la primera etapa para cada delegación. El muestreo y recolecta se llevó a cabo del mes de marzo a junio 2022 donde se determinó la presencia y abundancia de la vegetación, anotando todas las especies de plantas vasculares. Previo al muestreo se realizaron visitas de prueba a distintos LB para trabajar la metodología y familiarizarse con la vegetación. Los LB se visitaron de manera alternada entre las delegaciones para reducir diferencias por temporalidad del muestreo.

El diseño de muestreo consistió en realizar un transecto lineal de 10 metros orientado al norte, empezando 2m al norte y la derecha del límite sur del lote. A lo largo del transecto se colocaron cuatro cuadrantes de 0.25 m² a los 0, 3, 7 y 10 metros del transecto. Los siguientes transectos se colocaron a 10 metros a la derecha del primer transecto y así sucesivamente hasta llegar al límite del terreno. La orientación y coordenadas se anotaron empleando la brújula integrada del teléfono móvil que permite una orientación vertical dirigida empleando la visión de la cámara. La elevación se midió a través de la aplicación Android Altimeter free con una exactitud de 2-3 metros en promedio.

Para el muestreo en campo se empleó un formato estandarizado para la toma de datos que consiste en una tabla de presencia/ausencia de especies, altura de la vegetación, y porcentaje de cobertura. Se anotaron también datos específicos como la delegación, AGEB y fecha de recolecta, nombre de recolector, la unidad de muestreo, identificador del sitio y coordenadas. Además, se registraron algunas otras observaciones adicionales como, la altura, pendiente, orientación, tipo de cobertura del suelo (suelo desnudo, asfalto, cemento, grava, arena, etc.), presencia de edificios aledaños, cercas, basura y senderos, datos topográficos sobresalientes, entre otros.

Para cada transecto se determinó visualmente el porcentaje de cobertura vegetal. Dentro de cada cuadrante se identificaron las especies vegetales herbáceas y se determinó la abundancia relativa estimando visualmente el porcentaje de cobertura por especie y la altura máxima de la vegetación por cuadrante. También se identificaron todas las especies de árboles y arbustos que se encontraban fuera de los transectos, pero dentro de los límites del LB, y se anotó su abundancia en base al número de individuos en tres categorías (uno a tres individuos como raros, cuatro a nueve como pocos y más de diez individuos como abundantes) esto por la dificultad de contar individuos muy abundantes, también se anotó la altura máxima de estos ejemplares.

Con la finalidad de poder identificar la totalidad de ejemplares muestreados, de aquellos ejemplares que no se pudieron identificar en campo se tomaron muestras botánicas y se hizo un registro fotográfico para su posterior identificación. La preservación del material biológico consistió en el prensado de los ejemplares colectados en campo, su posterior secado al sol y un tiempo de refrigerado como medida preventiva de plagas para ser almacenados posteriormente en la colección herbaria del CICESE. La identificación de los ejemplares se logró a nivel de especie en la mayoría.

Posterior a cada muestreo se hizo un resguardo digital de los formatos, además, se elaboró una matriz de datos en Excel que contiene los datos de los lotes, la presencia y abundancia de especies por lote y por AGEB para cada delegación.

2.3 Estimación del grado de aislamiento

Con el fin de determinar si el grado de aislamiento de los LB influye en la riqueza de especies vegetales se cuantificaron dos variables, la densidad de LB y la herramienta de ArcGIS Pro (ESRI, 2020) llamada *Average Nearest Neighbor*, que mide la distancia entre el lote o AVU más cercana y hace un promedio de las

distancias de los vecinos más cercanos, lo que permite obtener un indicador de dispersión de los polígonos en un área determinada. Para este caso, los LB y AVU se ubicaron dentro de una zona buffer con una circunferencia de 1 kilómetro de radio y el valor resultante es la relación del vecino más cercano promedio o *Nearest Neighbor ratio* (NNR, por sus siglas en inglés), que se obtiene de dividir la distancia promedio observada entre la distancia promedio esperada basada en una distribución aleatoria hipotética. NNR y la densidad de lotes y AVU por Km² se cuantificaron usando el software ArcGIS Pro.

Como primer paso se unieron en una sola capa vectorial las capas con los polígonos de las AVU y LB de Centro y Playas, para este procedimiento se utilizó la herramienta *union*. Esta capa (capa unión de AVU-LB) se empleó para los dos pasos siguientes. Como segundo paso se generó una capa vectorial nueva a partir de los lotes muestreados, usando la herramienta *Buffer*, que permite crear polígonos redondos empleando como centro el lote muestreado, en este caso el radio de la circunferencia fue de 1 km. Posteriormente se empleó la herramienta *Summarize Within*, que permite sumar el área total de los polígonos de capa de unión de LB y AVU dentro de los polígonos buffer de cada delegación. La estimación del *Nearest Neighbor ratio* se realizó de manera independiente para cada lote. La densidad se calculó en Excel y corresponde a la suma del área de todos los LB y AVU dentro del buffer entre el área total del buffer para obtener la densidad de lotes y AVU por Km².

2.4 Indicador de desigualdad

Para estimar la desigualdad de la distribución de la riqueza de especies de plantas en las zonas con distintos grados de marginación se empleó la curva de Lorenz y el coeficiente de Gini (Gastwirth, 1972). La curva de Lorenz es empleada en economía y permite visualizar la desigualdad de ingresos, al trazar el porcentaje acumulado del ingreso total contra el número acumulativo de beneficiarios, generando una diagonal que representa una distribución perfectamente equitativa, y conforme la curva se aleja de la diagonal indica una distribución más desigual (Gastwirth, 1972). La curva de Lorenz permite obtener el coeficiente de Gini, una medida de desigualdad ampliamente usada que corresponde a la relación del área entre la curva y la diagonal (Ottaviano et al., 2005) La curva de Lorenz también es aplicada en la biología como indicador de desigualdad (ZhenXiang et al., 2004). En ecología de plantas, la curva de Lorenz y los coeficientes de Gini han sido utilizados frecuentemente como indicadores de desigualdad en las tasas de crecimiento de plantas (Damgaard y Weiner, 2000).

La elaboración de la curva de Lorenz y el cálculo del coeficiente de Gini se realizó en la página web [Gini coefficient calculator \(shlegeris.com\)](http://shlegeris.com) donde se ingresaron los valores de riqueza de especies por AGEB en orden del más marginado al de menor marginación. De esta manera, en la curva de Lorenz, el eje de las abscisas (X) se conformó de los AGEB en orden de marginación en forma proporcional (0 a 100%). En el eje de las ordenadas (Y) se ubicó la riqueza, también proporcionalmente, utilizando la riqueza total encontrada como 100% y la contribución de cada AGEB fue convertida a porcentaje.

2.5 Índice de Shannon

Se calculó también el índice de diversidad de Shannon usando el software *EstimateS* donde se introdujeron los datos de riqueza y abundancia de cada una de las especies por LB muestreado, los valores H' se emplearon para estimar también la relación entre la diversidad de especies y las variables independientes empleando correlaciones lineares de rangos tipo Spearman.

2.6 Densidad poblacional

Como paso adicional se estimó la densidad poblacional por AGEB empleando el número total de individuos por AGEB entre el área total del AGEB en Km^2 , este valor se comparó también con la riqueza vegetal y la diversidad de Shannon empleando correlaciones lineares de rangos tipo Spearman.

2.7 Análisis estadístico

Para determinar la relación entre el IMU, el tamaño del lote baldío, el grado de aislamiento (densidad y relación de vecino más cercano promedio) y la densidad poblacional como variables independientes, y la riqueza (número de especies vegetales) como variable dependiente, se realizaron correlaciones lineares tipo Pearson y Spearman.

Capítulo 3. Resultados

3.1 Estimación por percepción remota

3.1.1 Delegación Playas de Tijuana

La delegación Playas de Tijuana presenta un total de 56 AGEB (figura 8) cuyos límites se encuentran en más de un 90% dentro de esta delegación. De los 56 AGEB solo 44 presentaban datos para el IMU 2010 puesto que esta delegación presenta un crecimiento hacia la periferia, por lo cual los AGEB más recientes carecen de datos para el año 2010 (datos disponibles más recientes del IMU). De éstos 44, solo 28 AGEB (Polígonos coloreados en la figura 8) presentaban tres o más lotes baldíos, para un área que comprende 18.94 km^2 (21.8% del área total de la delegación). Los AGEB restantes presentaban menos de tres lotes baldíos y por lo tanto fueron descartados para este estudio.

El número de lotes baldíos por AGEB se observa en la figura 9. Como se puede observar, cada AGEB contiene de 3 a 60 lotes, con un promedio de 15. Se identificaron un total de 469 lotes en toda la delegación de Playas, de los cuales solo 419 se encuentran dentro de los 28 AGEB seleccionados para el muestreo. En conjunto los 419 comprenden un área de $224,141 \text{ m}^2$, cuyos tamaños variaban de 66 m^2 a $7,688 \text{ m}^2$ con una mediana de 300 m^2 , promedio de 535 m^2 , desviación estándar de 781 y varianza de 609981.2. En la observación por percepción remota el 76% de los lotes no presenta cercado y solo el 24% presenta cerca tipo malla.

Por último, respecto a las áreas verdes la delegación Playas de Tijuana cuenta con AVU que incluyen parques, cementerios, jardines y camellones. Los tamaños van de los 66 m^2 a $118,449 \text{ m}^2$, con un promedio de 4326.73 m^2 y desviación estándar de 12073.42. La mayoría de las AVU de esta delegación son de tamaño pequeño, pues el 80% de las AVU se encuentran en el rango de los 33 m^2 a los $4,033 \text{ m}^2$. En conjunto las AVU de la delegación de Playas de Tijuana comprenden un área de $640,358 \text{ m}^2$.

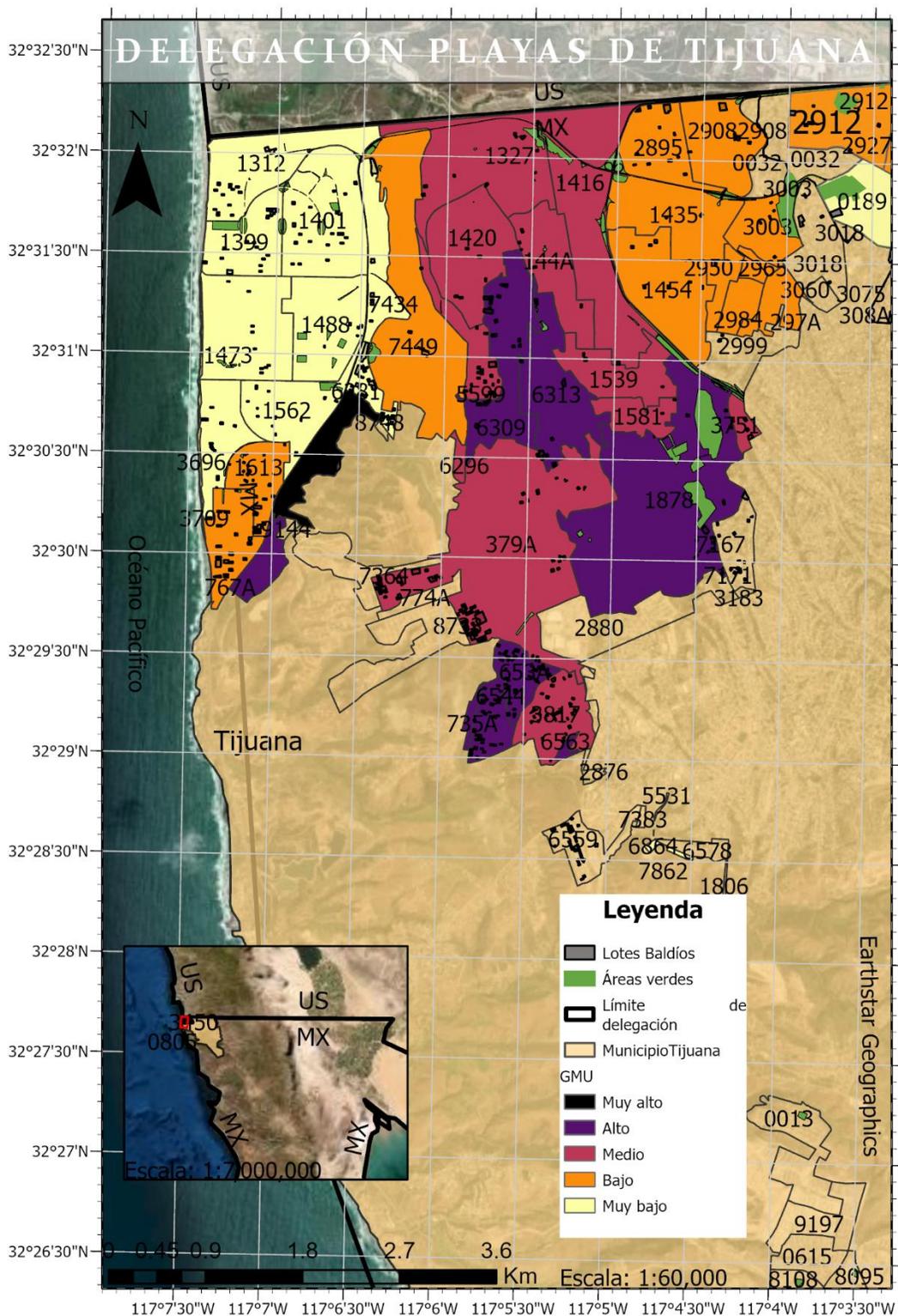


Figura 8 Mapa de la delegación Playas de Tijuana, dividida por AGEB. Los polígonos coloreados corresponden a los 28 AGEB con al menos 3 lotes baldíos, su coloración corresponde al grado de Marginación Urbana como se describe en la leyenda. Los polígonos sin color son los AGEB descartados por ausencia de lotes baldíos y datos del grado de marginación o porque no se encuentran en su mayor parte dentro de la delegación Playas de Tijuana. Los polígonos verdes corresponden a las áreas verdes urbanas y los grises a los lotes baldíos identificados por percepción remota.

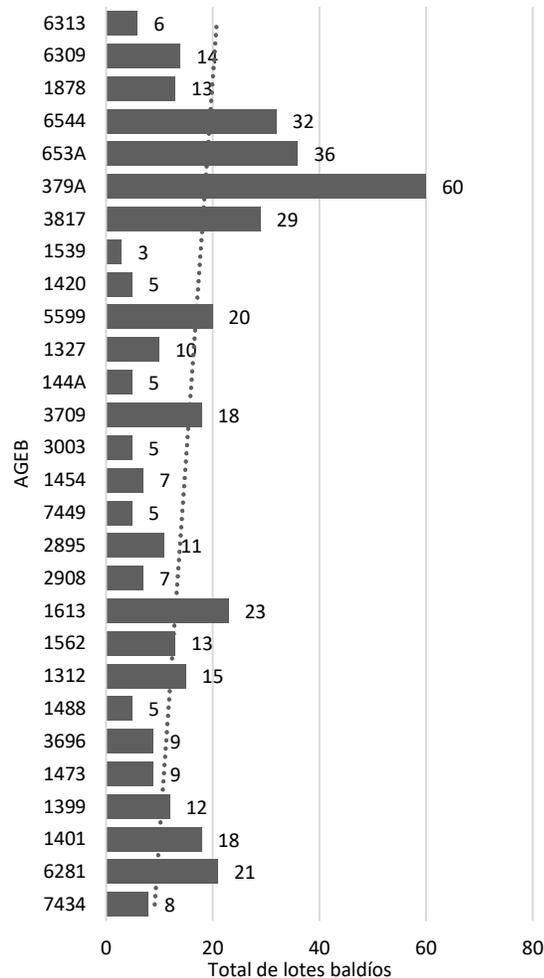


Figura 9 Gráfica del número de lotes baldíos por AGEB de la delegación Playas de Tijuana ordenados por grado de marginación, con los índices más bajos en la parte inferior y más elevados en la parte superior. La línea punteada representa la tendencia lineal de los datos.

3.1.1.1 Matriz de confusión delegación Playas de Tijuana

Como resultado de la visita preliminar a los lotes se obtuvieron los siguientes resultados: para la delegación Playas de Tijuana, de los 104 lotes baldíos previamente clasificados como cercados se visitaron 29 (27.88%), de estos 27 seguían siendo lotes baldíos cercados, 1 no se encontraba cercado y 1 ya no era lote baldío (presentaba construcción). De los 318 lotes baldíos no cercados estimados en DPT se visitaron 69 (21.7%), de los cuales 31 presentaban cerca, 24 no presentaban cerca y 14 no eran lotes baldíos (4 estacionamientos, 3 áreas verdes, 3 casas, 3 construcciones y 1 calle).

La precisión de la estimación de lotes baldíos no cercados para la DPT como se observa en la tabla 3 es de 44 %, mientras que la sensibilidad, es decir el porcentaje de lotes baldíos no cercados detectados es de 96%. Por último, la especificidad es de 47%, es decir que nuestras predicciones son altamente sensibles, pero poco específicas. Además, la baja precisión de la estimación en esta delegación se puede deber a la rápida delimitación de los lotes con cercas o bardas.

Tabla 3 Matriz de confusión sobre la estimación de lotes baldíos por percepción remota. Delegación Playas de Tijuana.

Playas de Tijuana		LB Percepción Remota	
		Cercado (29 LB)	No Cercado (70 LB)
LB Determinación en campo	Cercado	27	31
	No Cercado	1	24
	No Baldío	1	14

* La precisión de la estimación remota fue de 44%, la sensibilidad fue de 96%, la especificidad fue de 47% y el puntaje F1 es de 60.34.

Cabe mencionar que durante las visitas preliminares se intentaron visitar 173 lotes de la DPT de los cuales se lograron visitar solo 98 lotes, 42 no se encontraron por que la dirección era incorrecta, imprecisa o fueron transformados y no se pudo identificar el sitio por la construcción nueva, mientras que 33 lotes se encontraban en zonas de acceso limitado por ser zonas privadas o zonas inseguras.

3.1.2 Delegación Centro

La delegación Centro (figura 10) por otra parte, es una zona de mayor antigüedad por lo que no presenta AGEBS de reciente establecimiento. De un total de 31 AGEBS cuyos límites se encuentran en más de un 90% dentro de esta delegación, todos presentaban datos para el IMU 2010, sin embargo, solo 17 presentaban tres o más lotes baldíos, esto se debe probablemente a la alta densidad poblacional de la zona, los AGEBS restantes fueron descartados para este estudio. La zona de estudio seleccionada para el centro comprende 14.1 Km^2 (40.3% del área total de la delegación).

Se identificaron un total de 354 lotes baldíos en toda la delegación Centro, de los cuales solo 273 se encuentran dentro de los 17 AGEB seleccionados para el muestreo. Cada AGEB contienen de 3 a 55 lotes, con un promedio de 16 lotes (figura 11). En conjunto los 273 lotes comprenden un área de 203,376 m^2 cuyos tamaños varían de 64 m^2 a 5,321 m^2 con una mediana de 444 m^2 , promedio de 745 m^2 , desviación estándar de 856.6 y varianza de 733797.7. A través de percepción remota se estimó que el 58% de los lotes está cercado y 42% no presentan cerca.

Por otra parte, a pesar de ser una delegación de menor tamaño, la delegación Centro cuenta con 195 AVU, cuyos tamaños van de los 45 m^2 a los 481,440 m^2 , con un promedio de 5,194 m^2 y desviación estándar de 34,689. De manera similar que en la delegación de Playas de Tijuana la mayoría de las AVU son de tamaño reducido, puesto que el 90% se encuentran en el rango de 45 m^2 a 5,045 m^2 . En conjunto todas las AVU de la delegación Centro comprenden un área de 1,018,027 m^2

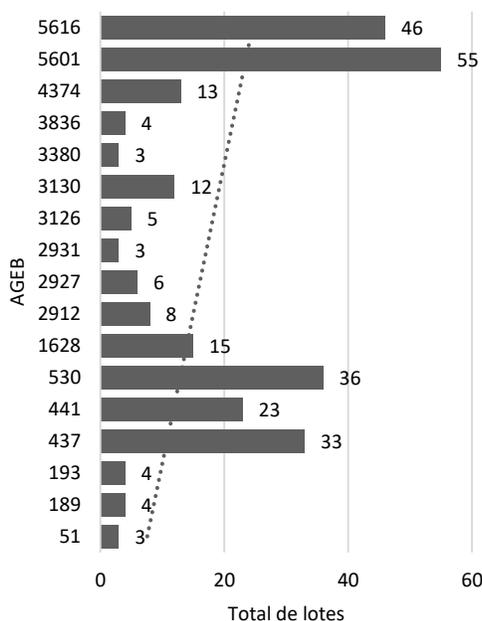


Figura 11 Gráfica del número de lotes baldíos por AGEB de la delegación Centro ordenados por grado de marginación, con los índices más bajos en la parte inferior y más elevados en la parte superior. La línea punteada representa la tendencia lineal de los datos.

3.1.2.1 Matriz de confusión de la delegación Centro

De la Delegación Centro se estimaron 159 lotes cercados de los cuales se visitaron 45 (28.3%), de estos 36 presentaron cercado, 4 sin cercado y 5 no eran baldíos (2 casas, 2 construcciones y 1 estacionamiento).

Respecto a los lotes no cercados de la DC, de los 114 estimados se visitaron 53 (46.5%), de estos 29 no tenían cercado, 11 tenían cercado y 13 no eran baldíos (7 construcciones y 6 áreas verdes).

Para la delegación centro las estimaciones de lotes baldíos por percepción remota presentan una precisión mayor del 73% como se observa en la tabla 4, mientras que la sensibilidad es menor con 88% y la especificidad de 77%. Lo anterior se puede deber a la disponibilidad de datos de Google Earth más recientes y una vista de *Street view* con mayor accesibilidad en esta delegación por ser la de mayor tiempo de establecimiento (pocas colonias nuevas).

Tabla 4 Matriz de confusión sobre la estimación de lotes baldíos por percepción remota. Delegación Centro.

Centro	LB Determinación en campo	LB Percepción Remota	
		Cercado (45 LB)	No Cercado (53)
	Cercado	36	11
	No Cercado	4	29
	No Baldío	5	13

* La precisión de la estimación remota fue de 73%, la sensibilidad fue de 88% y la especificidad fue de 77% y el puntaje F1 es de 79.8.

Durante las visitas preliminares a la DC se intentaron visitar 140 lotes, de los cuales solo se lograron visitar 98, del resto 9 no se encontraron por que la dirección estaba incorrecta, imprecisa o posiblemente fueron transformados y no se pudo identificar el sitio por la construcción nueva, los 33 lotes restantes se encontraban en zonas de acceso limitado por ser zonas privadas o zonas inseguras.

3.2 Distribución espacial de la vegetación

Respecto a la distribución espacial de la riqueza de especies vegetales, los valores bajos del índice de Gini sugieren que la desigualdad en la distribución de la riqueza de plantas a lo largo del gradiente socioeconómico estudiado es baja, puesto que la delegación Playas de Tijuana presentó un coeficiente de Gini de 0.299 (Figura 12) y la delegación Centro de 0.274 (Figura 13). Gini = 1 equivale a que toda la riqueza de especies está distribuida en un solo AGEB, mientras que Gini = 0 equivale a que la riqueza de especies está equitativamente distribuida entre AGEBS.

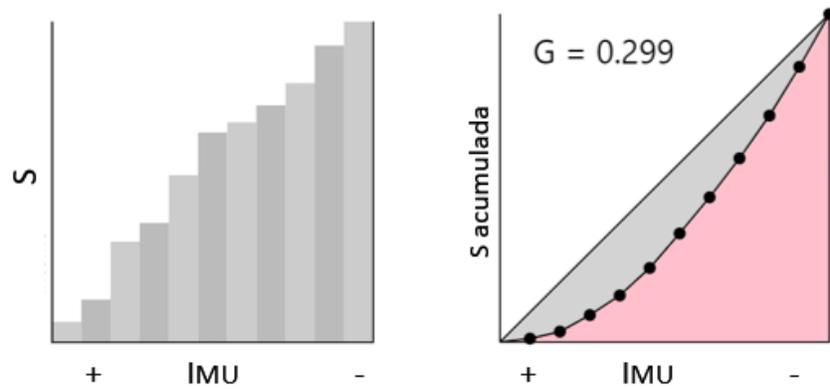


Figura 12 Gráfica de distribución de riqueza de especies acumulada por AGEB y curva de Lorenz correspondiente a la delegación Playas de Tijuana.

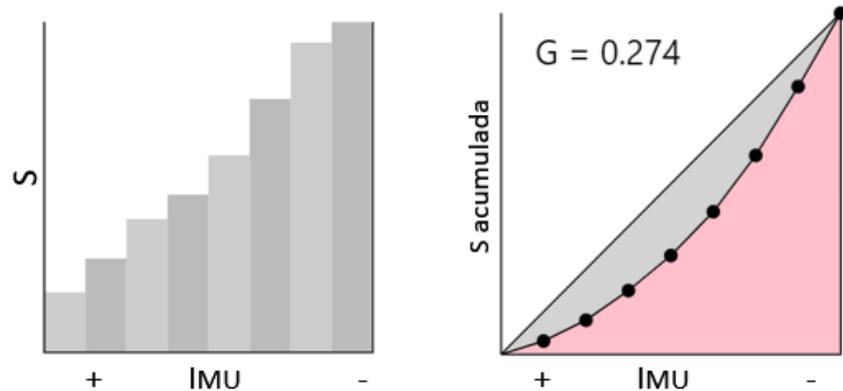


Figura 13 Gráfica de distribución de riqueza de especies acumulada por AGEB y curva de Lorenz correspondiente a la delegación Centro.

3.3 Marginación urbana y diversidad vegetal

Con la finalidad de describir si existe relación entre el número de especies vegetales y el indicador socioeconómico empleado (Índice de Marginación Urbana o IMU), se calculó el coeficiente de correlación Spearman. Para la DPT (Figura 14), los resultados muestran una relación positiva entre la riqueza de especies y el grado de marginación ($\rho = 0.442$, $p = 0.045$), así como también una relación positiva, aunque no significativa entre el IMU y la diversidad de Shannon ($\rho = 0.422$, $p = 0.057$) lo que implica que los AGEBS de mayor marginación albergan una mayor riqueza de especies.

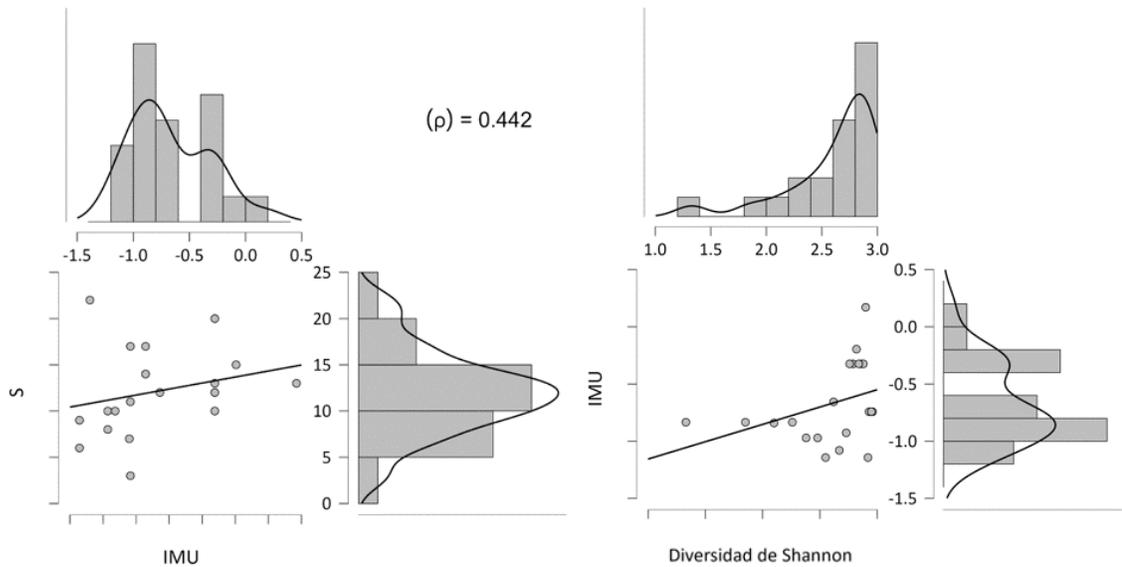


Figura 14 Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el Índice de Marginación Urbana (IMU) de la delegación Playas de Tijuana. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas.

Para la delegación Centro, aunque no se observó una relación significativa entre la riqueza y el índice de marginación ($\rho = -0.02$, $p = 0.9$), si se observó una relación positiva significativa entre el IMU y la diversidad de Shannon para esta delegación ($\rho = 0.517$, $p = 0.014$) como se observa en la figura 15.

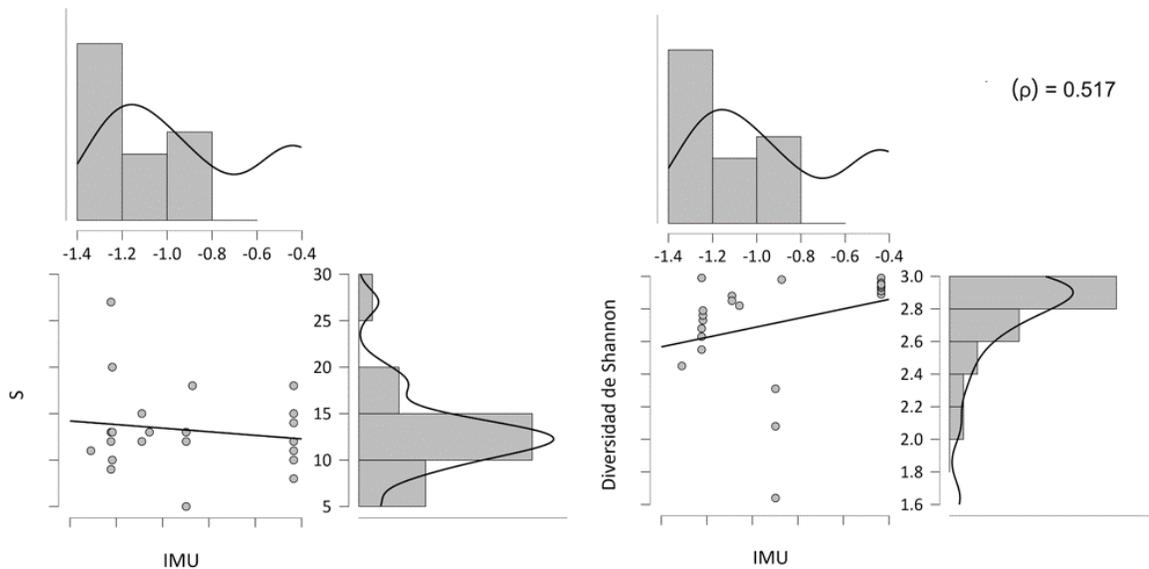


Figura 15 Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el Índice de Marginación Urbana (IMU) para la delegación Centro. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas. El diagrama de la izquierda, aunque muestra una línea de correlación no presenta una correlación de Spearman significativa ($\rho = -0.02$, $p = 0.9$).

3.4 Área y riqueza vegetal

Comparando el tamaño de los lotes baldíos muestreados con la riqueza de plantas encontrada, se observó que para la DPT no existe una asociación positiva significativa entre tamaño de los lotes y número de especies ($R=0.39$, $P = 0.07$, figura 16). Sin embargo, para la Delegación Centro sí se encontró una relación positiva entre el área y la riqueza de especies ($R= 0.73$, $P< .001$) como se observa en la figura 17, esto se debe posiblemente a que la distribución de tamaños de los lotes fue más variada en la DC que en DPT como se observa en los histogramas de distribución de tamaños en las figuras 16 y 17.

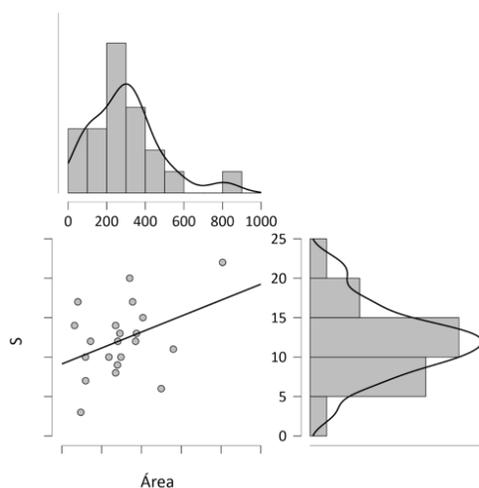


Figura 16 Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el tamaño de los LB de la delegación Playas de Tijuana. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas. El diagrama, aunque muestra una línea de correlación los resultados no demuestran una relación significativa (r 0.39, p 0.07).

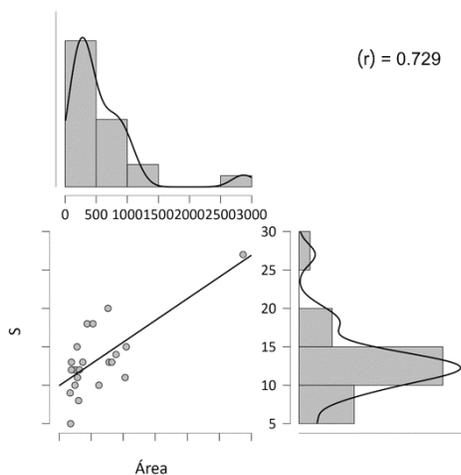


Figura 17 Diagrama de correlación entre riqueza de especies (S) y el tamaño de los lotes de la delegación Centro. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las dos variables comparadas. El coeficiente de correlación de Pearson mostró una relación positiva entre las variables (r 0.729, $P< .001$).

3.5 Aislamiento y riqueza vegetal

Empleando como indicadores la densidad de lotes baldíos y áreas verdes, así como el “*Nearest Neighbor ratio*” (NNR) se analizó si existe asociación entre el grado de aislamiento de los lotes y la riqueza de plantas en estos. Los resultados obtenidos sugieren que no existe relación significativa entre la densidad y la riqueza de especies, ni el NNR y la riqueza de especies para ninguna de las dos delegaciones como se observa en la tabla 5 y las figuras 18 y 19.

Tabla 5 Tabla de resultados del coeficiente de correlación de Spearman entre riqueza y variables de aislamiento para las delegaciones Centro y Playas de Tijuana.

Delegación	Coeficiente de correlación de Spearman		
		rho	p
Centro	S Nearest Neighbor Ratio	-0.317	0.151
Centro	S Densidad de AVU	0.183	0.416
Playas	S Nearest Neighbor Ratio	-0.174	0.451
Playas	S Densidad de AVU	-0.104	0.653

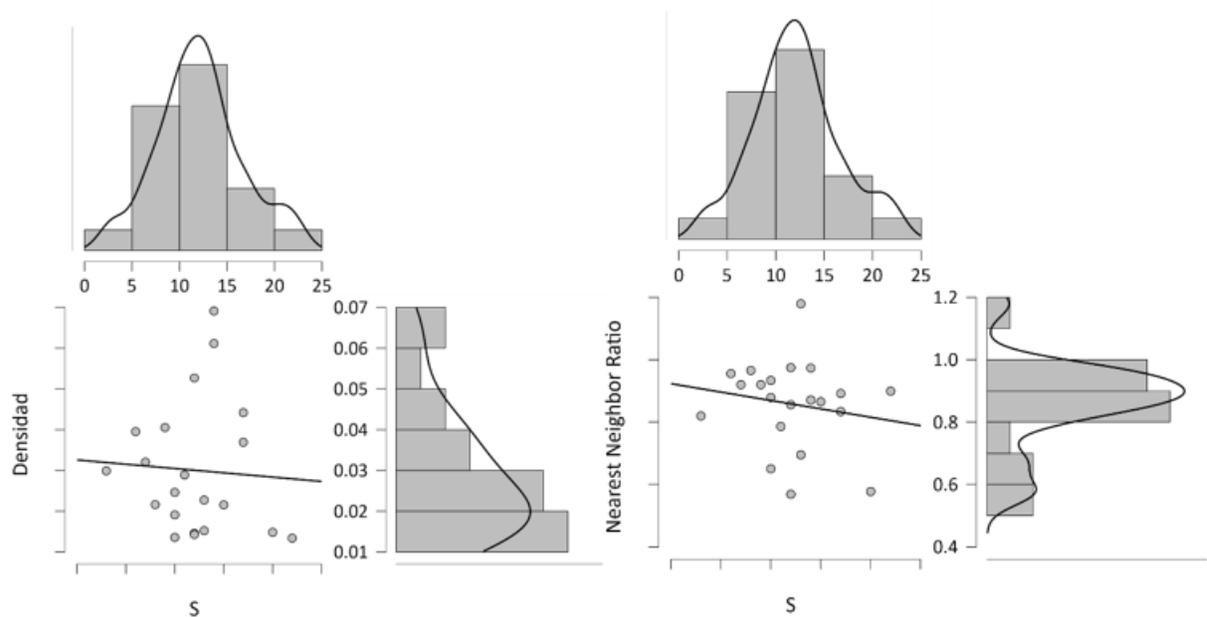


Figura 18 Diagramas de correlación entre riqueza de especies (S) y densidad de lotes y áreas verdes a la izquierda, y a la derecha entre riqueza y Nearest Neighbor Ratio de la delegación Playas de Tijuana. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las variables. Aunque en los diagramas se muestra una línea de correlación los resultados no muestran relación significativa para ninguno de los dos ($\rho = -0.104$, $p = 0.653$ izquierda, y $\rho = -0.174$, $p = 0.451$ derecha).

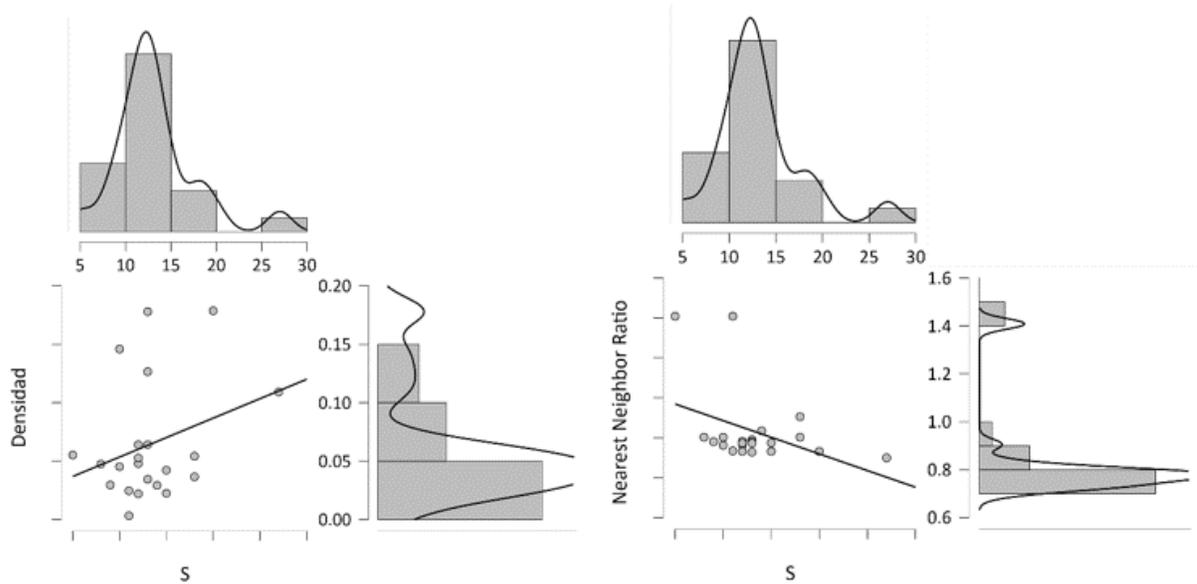


Figura 19 Diagramas de correlación entre riqueza de especies (S) y densidad de lotes y áreas verdes a la izquierda, y a la derecha entre riqueza y Nearest Neighbor Ratio de la delegación Centro. Los histogramas muestran la distribución de los datos de las variables. Aunque en los diagramas se muestra una línea de correlación los resultados no muestran relación significativa para ninguno de los dos ($\rho = 0.183$, $p = 0.416$ izquierda, y $\rho = -0.317$, $p = 0.151$ derecha).

3.6 Proporción de especies nativas/exóticas

De los 43 lotes en los cuales se muestreo la biodiversidad de plantas en la primavera de 2022, se identificaron un total de 97 especies de plantas con flor, pertenecientes a 87 géneros y 33 familias (Tabla 6 en la sección de anexos). Las familias más abundantes fueron Asteraceae y Poaceae. En cuanto a la proporción de plantas nativas vs exóticas se encontraron 20 nativas y 77 exóticas. De las 77 especies exóticas encontradas, 36 están enlistadas en el inventario de plantas invasoras de California (California Invasive Plant Council, 2017), 1 especie como de alto riesgo de invasión, 17 como riesgo moderado, 16 como riesgo limitado y 2 en observación.

Específicamente para la delegación Playas de Tijuana en los 21 lotes visitados se identificaron un total de 74 especies, se encontró un promedio de 12 especies de plantas por lote y las especies más abundantes fueron *Glebionis coronaria* (Asteraceae), *Malva multiflora* (Malvaceae) y *Hordeum murinum* (Poaceae). El 82% de la vegetación identificada en la delegación Playas de Tijuana es exótica y solo el 18% es vegetación nativa. En la delegación Centro se visitaron 22 lotes, en los cuales se identificaron 61 especies de plantas, en promedio se encontraron 13 especies por lote y las especies más abundantes fueron

**Bromus diandrus* (Poaceae), **Sonchus oleraceus* (Asteraceae) y **Lactuca serriola* (Asteraceae). El 79% de la vegetación identificada en la delegación Centro es exótica y solo el 21% es vegetación nativa.

3.7 Densidad poblacional y diversidad vegetal

Al comparar la relación entre la densidad poblacional y las dos variables de diversidad vegetal se observó una relación positiva y significativa entre la densidad poblacional y la diversidad de Shannon ($\rho = 0.53$, $p = 0.01$) y también una relación positiva, aunque no significativa entre la densidad y la riqueza ($R = 0.36$, $P = 0.11$) para la DPT como se observa en la figura 20. Mientras que para la delegación Centro se observó una relación negativa no significativa entre la densidad poblacional y la riqueza ($R = -0.24$, $P = 0.29$) y la diversidad de Shannon ($\rho = -0.14$, $p = 0.52$) mostrado también en la figura 20.

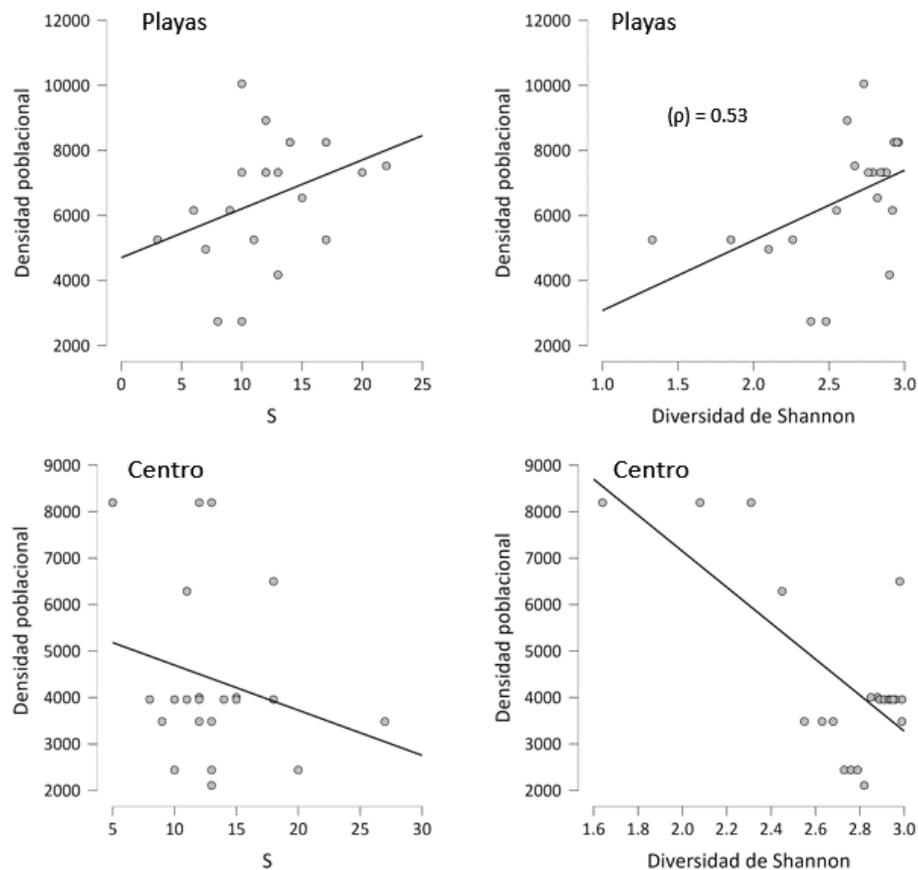


Figura 20 Diagramas de correlación entre densidad poblacional y las variables de diversidad para las delegaciones Playas de Tijuana (parte superior) y Centro en la (parte inferior). Los diagramas, aunque muestra una línea de correlación no se observaron correlaciones significativas, a excepción de la figura superior derecha ($\rho = 0.53$, $p = 0.014$).

3.8 Diversidad vegetal y su relación con otras variables

Además de las variables principales se compararon la riqueza y diversidad de Shannon con datos complementarios tomados durante el muestreo, como la presencia de basura, la altura y el grado de la pendiente, así como la presencia de casas y cercas en la periferia de los lotes, donde se encontraron algunas relaciones significativas. Para la DPT se encontró una relación positiva (figura 21) entre la presencia de basura y la riqueza vegetal ($\rho = 0.435$, $p = 0.049$) y entre la altura y la diversidad de Shannon ($\rho = 0.5$, $p = 0.02$). Para la DC no se observaron relaciones significativas con la presencia de basura ($\rho = -0.196$, $p = 0.381$), pero si entre la altura y la diversidad de Shannon ($\rho = 0.594$, $p = 0.004$). y la diversidad de Shannon y la pendiente ($\rho = 0.608$, $p = 0.003$).

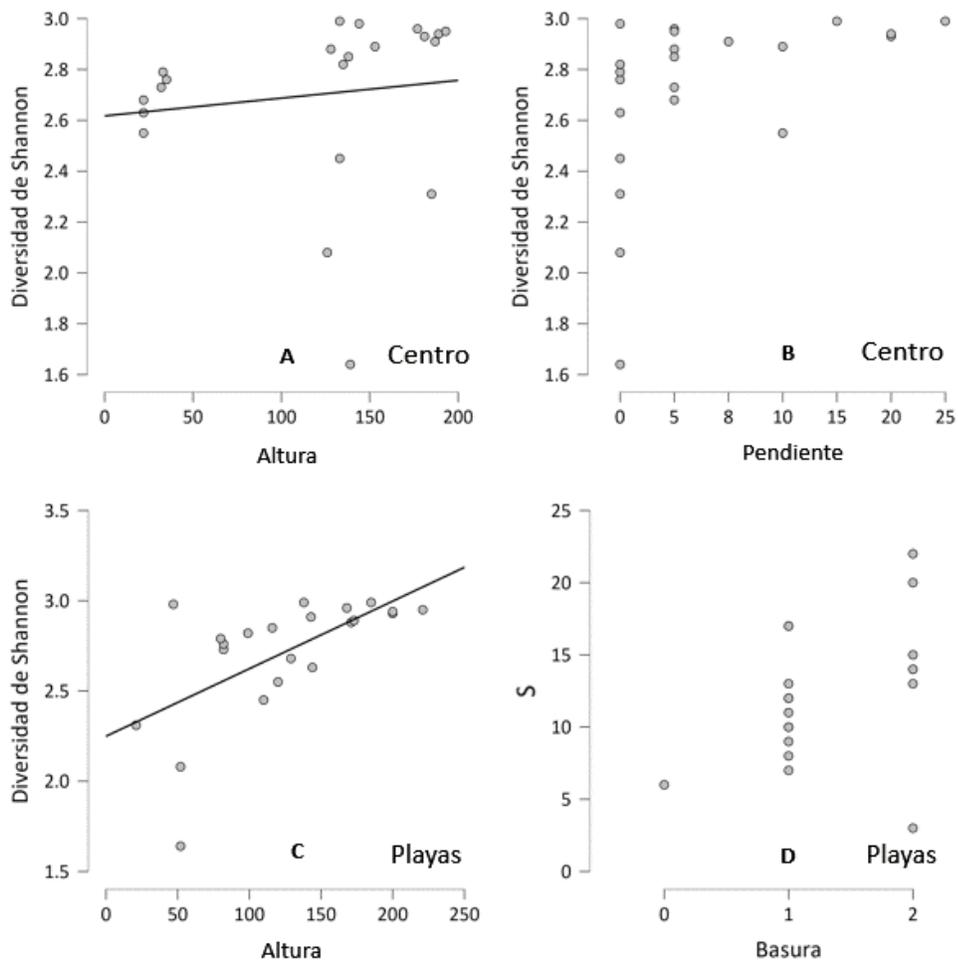


Figura 21 Diagramas de correlación de las variables de diversidad, basura, altura y pendiente de las delegaciones Playas de Tijuana (parte inferior) y Centro en la (parte superior). Todos muestran correlaciones significativas de Spearman, A ($\rho = 0.594$, $p = 0.004$), B ($\rho = 0.608$, $p = 0.003$), C ($\rho = 0.5$, $p = 0.02$) y D ($\rho = 0.5$, $p = 0.02$).

Capítulo 4. Discusión

4.1 Estimación por percepción remota

Debido a la falta de un mapa de ubicación de los lotes baldíos se tuvo que hacer una identificación previa al muestreo, sin embargo, la precisión en la estimación de los LB fue menor de la esperada, se cree que debido a la baja precisión de las direcciones (especialmente en las colonias más nuevas), a la conversión de muchos de estos sitios y a la antigüedad de las imágenes satelitales de Google Earth y la falta de vista de calle en algunas zonas. Esto se podría mejorar si se tuviera acceso a imágenes satelitales más actualizadas, aunque el cambio de uso de estos lotes se espera que siga en aumento debido al rápido crecimiento de la ciudad.

4.2 Distribución espacial de la vegetación

Los bajos valores del índice de Gini en ambas delegaciones sugieren que no existe una desigualdad marcada en la distribución de la riqueza de especies vegetales entre los AGEB visitados, lo cual concuerda con el estudio de Biggs y colaboradores (2015). Sin embargo, los resultados anteriores describen la distribución de la vegetación de LB y debido a que Tijuana B.C., se encuentra en una zona semiárida, estos sitios no reciben irrigación, por lo que la mayoría de la vegetación encontrada en estos sitios es de tipo espontánea y exótica, la cual podría no brindar los mismos servicios ecosistémicos que la vegetación nativa o la vegetación de AVU. Adicionalmente, debido a la degradación del suelo, no fue posible encontrar LB que tuvieran suelo y vegetación nativa que pudiera proveer servicios ambientales como refugios de polinizadores o mantenimiento de biodiversidad.

Con los resultados obtenidos no se puede descartar que exista una desigualdad ambiental en cuanto a provisión de servicios ecosistémicos como se ha sugerido al estudiar la distribución de áreas verdes de Tijuana en un estudio previo (Huizar y Ojeda, 2014). Considerando un panorama global, son más los casos observados de inequidad en la distribución de la vegetación. Sin embargo, no es raro observar casos en donde la desigualdad se ve reducida, debido a factores como el grado de perturbación, la estructura urbana, políticas sociales, normas residenciales y culturales, y las preferencias y necesidades de la

población (Kuras et al., 2020), que podría estar influyendo en la distribución de la vegetación urbana de la ciudad de Tijuana.

4.3 Marginación urbana y diversidad vegetal

Como se mostró en la sección de resultados, en la delegación Playas de Tijuana se encontró un mayor número de plantas en las zonas con mayor grado de marginación; estos resultados rechazan la hipótesis de la presencia del efecto lujo para esta delegación y concuerdan con los resultados obtenidos en el estudio de Biggs y colaboradores, (2015), quienes observaron una mayor cobertura vegetal en zonas marginadas que en zonas de mayor índice socioeconómico en la ciudad de Tijuana. Esta relación positiva como se ha sugerido en el trabajo anterior se puede deber a la presencia de remanentes de vegetación nativa, debido a que gran parte de la delegación se encuentra en la periferia de la ciudad; y a que la población marginada vive en zonas de alto riesgo como cañones y pendientes elevadas que facilitan la permanencia de la vegetación nativa y el establecimiento de vegetación espontánea por dificultad de construcción y el mantenimiento de suelos desnudos.

El panorama para la Delegación Centro es diferente, aunque los resultados obtenidos tampoco apoyan la presencia del efecto lujo, en esta delegación no se encontró relación entre la riqueza de especies y el grado de marginación, esto se puede deber a que la DC presenta índices de marginación muy bajos puesto que es una zona con elevado desarrollo habitacional y comercial, comparada con la DPT que presenta un gradiente más amplio del IMU y un menor grado de desarrollo urbano. Además, es relevante mencionar que el AVU de mayor tamaño en la DC es un campo de golf, el cual se cree que aporta muy poca diversidad vegetal a la zona, puesto que el césped en zonas de alto índice socioeconómico tiende a la homogenización y el monocultivo de una sola especie por preferencia de la población (Blanchette et al., 2021).

Otra posible explicación ampliamente sugerida en la literatura científica es el efecto legado, donde la antigüedad y el desarrollo histórico del asentamiento influye, en la riqueza de las especies. Por último, otros posibles factores que podrían estar influyendo en la distribución de la diversidad a través del gradiente socioeconómico es la posible preferencia por césped en zonas de alto índice socioeconómico, una carencia en general de áreas verdes, tanto en zonas de alta como baja marginación, poco desarrollo horticultural y una preferencia por vegetación exótica.

En conclusión, los resultados apoyan la ausencia del efecto lujo en la ciudad de Tijuana. Lo cual no es sorprendente, puesto que a pesar de que a menudo convergen la biodiversidad con el estatus socioeconómico de la población, no siempre es el caso. Sin embargo, la ausencia del efecto lujo no asegura que no exista desigualdad ambiental.

4.4 Área y riqueza vegetal

En Playas de Tijuana, aunque se encontró una relación positiva entre el tamaño y riqueza de especies no fue significativa, probablemente debido a que la mayoría de los lotes muestreados en esta delegación son de tamaño pequeño. A diferencia de la DPT, en la delegación Centro si se muestrearon LB baldíos de mayor tamaño en promedio. En la DC si hubo evidencia de una relación tamaño-diversidad. Sin embargo, no se realizó una transformación logarítmica para las áreas de los lotes. Dado que este tipo de transformaciones son rutinarias para estudios comparativos entre área y diversidad específica, es esperable que con los datos transformados se compense la alta proporción de lotes pequeños y se ponga en evidencia esta relación. Adicionalmente, hay una carencia de grandes lotes, puesto que los lotes grandes identificados a través de percepción remota en ambas delegaciones se encuentran en proceso de construcción de grandes edificios habitacionales, especialmente en la delegación Centro, que presenta una densidad poblacional mayor.

4.5 Aislamiento y riqueza vegetal

La variación en la riqueza de especies en LB de la DC y DPT no parece seguir los principios de la teoría de biogeografía de islas relativos al grado de aislamiento. Una posible explicación es que el estado actual de las AVU en Tijuana (poco abundantes, baja diversidad) no les permite actuar como fuentes para los LB; además de que la mayoría de la vegetación de las AVU no está adaptada a las condiciones ambientales, es decir, que requieren de mantenimiento constante (Ojeda-Revah y Espejel, 2014), lo cual limita su capacidad de dispersión a ambientes sin mantenimiento y altamente perturbados como los LB. Las especies encontradas en AVU no corresponden a las especies encontradas en LB, que fueron muy dominadas por vegetación espontánea, herbácea y exótica. Esto va de la mano con la ausencia de relación con el NNR, lo cual sugiere que la vegetación espontánea no se ve afectada por la conectividad de los parches de vegetación como se ha observado previamente en el estudio de Gao y colaboradores (2021) también en ambientes urbanos en un hot-spot de biodiversidad.

4.6 Proporción de especies nativas/exóticas

Como se esperaba dominan las especies exóticas, puesto que los lotes baldíos son ambientes perturbados y en su mayoría aislados de los parches de vegetación nativa, sin embargo, el porcentaje de especies exóticas en los lotes muestreados (79%) fue mayor que en los lotes baldíos de Ensenada (59%) (Garcillán et al., 2009). Además, el alto número de especies enlistadas en el inventario de especies invasoras del Consejo de Plantas Invasoras de California demuestra el grado de amenaza para la vegetación nativa de las plantas que habitan en los lotes baldíos. Las familias más abundantes concuerdan con otros estudios de vegetación espontánea en la ciudad de Ensenada y San Diego (Garcillán et al., 2009; Simpson y Rebman, 2002). Muchas de estas especies son consideradas invasoras y evitan promover servicios ambientales al interior de los lotes baldíos, por lo cual es necesario establecer estrategias para evitar su propagación y dispersión, preferentemente promoviendo su reemplazo para la creación de AVU que provean servicios a la población.

4.7 Densidad poblacional y diversidad vegetal

Debido a que los resultados mencionados respecto a la relación del IMU y la diversidad vegetal no apoyan la teoría del efecto lujo en ambas delegaciones se procedió a buscar una posible explicación. En otras ciudades donde no se encontró una relación positiva entre el estado socioeconómico de la población y la biodiversidad, se ha encontrado una relación negativa entre la densidad poblacional y la biodiversidad urbana y cobertura vegetal (Cohen et al., 2012; Dobbs et al., 2017), esta relación se le atribuye a la estructura urbana, y se explica a través de la Paradoja de Hausman, en donde la población con elevados índices socioeconómicos habita zonas altamente densas que dificultan incrementar la diversidad de plantas en la zona (Cohen et al., 2012). Mientras que, en las zonas de menor densidad, habita la población de un estatus socioeconómico bajo y la baja densidad les permite alcanzar con mayor facilidad los niveles preferibles por la población de la biodiversidad o vegetación urbana.

En base a esto se comparó la densidad poblacional como una variable independiente complementaria; los resultados descritos en la sección previa indican una relación opuesta a la prevista por la Paradoja de Hausmann para la DPT, es decir, que los AGEB con mayor densidad de habitantes presentan una mayor diversidad vegetal. En la delegación Centro donde se esperaría la presencia de la paradoja de Hausmann por ser la delegación con mayor densidad poblacional, aunque se observó una relación negativa para ambas variables de diversidad, ninguna fue significativa, por lo cual no se puede descartar la presencia de

la paradoja en esta delegación, sin embargo, se debe tener en cuenta que los AGEB más densos de la DC no fueron muestreados por ausencia de lotes baldíos y aquellos pocos existentes presentaban cercado, lo cual impidió el acceso a estos.

4.8 Diversidad vegetal y su relación con otras variables

Para comprender como ciertas actividades humanas influyen en la diversidad de plantas en la ciudad de Tijuana, se estudió la posible relación entre la presencia de basura y la diversidad vegetal, puesto que en estudios previos se ha observado una relación positiva entre la presencia de basura y la riqueza vegetal (Anderson y Minor, 2019); esta relación se puede deber a que la basura provee de recursos a la vegetación, promoviendo su establecimiento en suelos sin manejo, a que la dispersión de semillas por viento coincida con la dispersión de basura, o bien a que la presencia de basura y la presencia de vegetación se mantengan por la ausencia de perturbaciones como la poda y limpieza por un tiempo prolongado.

Esto podría ser el caso para la DPT que presentó una relación entre basura y diversidad vegetal, además fue la que presentó una mayor abundancia de basura, puesto que 20 de los 21 lotes muestreados presentaban basura y en 7 de ellos la basura era abundante, contrario a la DC donde solo se encontró basura en 7 de los 22 lotes y solo en 5 fue abundante, lo cual podría indicar que los lotes baldíos se limpian con mayor frecuencia en la delegación Centro.

Además de la basura, otras variables de las condiciones físicas de los lotes presentaron asociación con la diversidad de plantas. La asociación encontrada entre la altura y la diversidad de Shannon en ambas delegaciones, así como la pendiente y la diversidad de Shannon en la DC, sugiere que las condiciones físicas de los lotes baldíos influyen en la diversidad de vegetación espontánea de lotes Baldíos, sin embargo esta relación se puede deber a que las condiciones micro climáticas de los lotes influyen en la presencia de vegetación. Además, estos resultados apoyan la teoría de que la diversidad vegetal es mayor en zonas de riesgo (mayor elevación y pendiente) y con menor frecuencia de perturbaciones como ocurre en las zonas marginadas de la ciudad.

Con base en la experiencia encontrada en esta tesis, se sugiere que futuros trabajos de investigación en esta área utilicen imágenes satelitales más recientes y de mayor resolución espacial para reducir el grado de error, así como emplear coordenadas para ubicar los lotes, puesto que las direcciones son poco específicas y dificultan su localización (por ejemplo, la constelación Planet, <https://www.planet.com/>). Se

sugiere también que en futuros estudios se considere comparar la antigüedad de la zona con la riqueza de especies para poder descartar la presencia del efecto legado (Yang et al., 2017) como posible explicación de la distribución de la vegetación.

Por último, se utilizó como modelo de estudio a la ciudad de Tijuana, B.C. Sin embargo, todas las ciudades de México pueden fungir como un modelo de estudio, por ser México un país que transitó rápidamente de la población rural a la urbana en menos de 50 años, por ser un país megadiverso que abarca casi todos los biomas descritos en el planeta y por la urgencia para promover la adaptación a regímenes climáticos cada vez más extremos por causa del cambio climático de origen antropogénico. Sería deseable realizar estudios replicados en diferentes ciudades del país, abarcando todas las posibles zonas climáticas y evaluar los factores sociobiológicos que promueven la variabilidad en la distribución de la biodiversidad en ambientes urbanos.

Capítulo 5. Conclusiones

Hay un amplio número de lotes baldíos (LB) en Tijuana, la mayoría de tamaño pequeño.

No hay evidencia de distribución heterogénea de la riqueza vegetal en LB, lo cual no apoya que exista una distribución desigual de los servicios ecosistémicos que brinda la vegetación de LB a los residentes de las dos delegaciones.

No se encontró evidencia de “efecto lujo” en la distribución de la diversidad vegetal en Tijuana, B.C., México. Al contrario de los patrones encontrados en otras ciudades del mundo, en Tijuana, la relación entre el estado socioeconómico y la biodiversidad es negativa en la delegación Playas de Tijuana, donde las zonas de mayor marginación urbana presentan valores mayores de riqueza de especies por reductos de vegetación nativa en la periferia de la ciudad. En la delegación Centro, no hay evidencia de asociación entre marginación y diversidad, lo cual se puede deber a la antigüedad de la zona, la intensidad de la perturbación, las preferencias de la población u otros factores.

Se encontró evidencia de una asociación positiva entre tamaños del lote y riqueza de especies vegetales en Tijuana. Sin embargo, hubo un número bajo de lotes de tamaños superiores a los 1 000 m², dado que la disponibilidad de lotes de gran tamaño en la ciudad de Tijuana va en declive, puesto que los lotes de mayor tamaño son los más transformados para construcción urbana, en especial para creación de grandes edificios habitacionales.

No hay evidencia que la densidad de lotes baldíos o su aislamiento se asocien con la riqueza de especies vegetales, esto sugiere que la vegetación de tipo espontánea no se ve afectada por el grado de aislamiento de los parches de vegetación en la ciudad de Tijuana.

Se encontró que hay una muy alta proporción de plantas exóticas en la flora de lotes baldíos en Tijuana, con 80% de exóticas y sólo 20% de nativas, lo que implica riesgos para la diversidad de un área localizada en una provincia florística muy rica en endemismos.

La asociación entre la densidad poblacional humana y la diversidad vegetal en la delegación Playas fue positiva, contrario a lo observado en otras grandes ciudades, y para la delegación Centro no se encontró asociación. Esto dificulta llegar a una conclusión sobre la relación de la densidad y la vegetación en la

ciudad de Tijuana, por lo que se sugiere un análisis más detallado y a una mayor escala espacial y temporal que la empleada en este estudio.

Existe evidencia de asociación entre la presencia de basura y la diversidad vegetal, lo que apoya la influencia de las actividades y comportamientos humanos en la vegetación urbana. Además, encontré que no sólo factores socioeconómicos y demográficos influyen en la presencia de plantas en lotes baldíos. Otras variables explicativas de la diversidad son la altura de vegetación y la pendiente, que podrían estar asociadas a condiciones micro climáticas que posiblemente afectan la presencia de la vegetación en los LB, o bien a que estas condiciones son características de zonas de riesgo y con bajo grado de perturbación que facilitan el establecimiento de la vegetación espontánea.

Capítulo 6. Recomendaciones

La principal sugerencia derivada de este trabajo para la planeación urbana a futuro para aumentar la sustentabilidad y promover el bienestar humano en Tijuana, B.C., es aumentar de manera significativa la cobertura de áreas verdes urbanas en toda la ciudad. Esto permitirá incrementar la provisión de servicios ecosistémicos.

Debido a la distribución de los LB, no se sugiere establecer zonas prioritarias para la creación de estas áreas verdes en las dos delegaciones estudiadas. En cambio, se sugiere establecer redes de pequeñas áreas distribuidas en toda la extensión de las Delegaciones. Además, la abundancia y homogeneidad de la distribución de la vegetación resalta el potencial de los LB para la creación de futuras áreas verde de tamaño pequeño, como huertos urbanos, parques de bolsillo, entre otros.

De manera apremiante, se sugiere emplear vegetación nativa para la creación de futuras áreas verdes, puesto que el elevado porcentaje de vegetación espontánea exótica en un hot-spot de biodiversidad es alarmante. Se urge a evitar el desplazamiento de las especies con alto potencial de invadir ambientes naturales. Además de promover el uso de vegetación nativa para horticultura en suelos privados, como jardines de casas y sitios comerciales.

Se recomienda a los tomadores de decisión, generar estrategias para incrementar la cobertura de áreas verdes por habitante en la ciudad, especialmente en zonas cuya densidad poblacional va en aumento, pero sin incrementos la cobertura de áreas verdes, como es el caso para la zona núcleo en la delegación Centro.

Literatura citada

- Ahern, J. 2007. Green infrastructure for cities: the spatial dimension. En *Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*. IWA Publishing, London, UK. doi: 10.1.1.558.8386
- Alegría, T., y Ordóñez, G. 2007. Legalizando la ciudad: asentamientos informales y procesos de regularización en Tijuana. *Berkeley Planning Journal*, 20, 145.
- Anderson, E. C. y Minor, E. S. 2019. Assessing social and biophysical drivers of spontaneous plant diversity and structure in urban vacant lots. *Science of the Total Environment*, 653, 1272–1281. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.006
- Anderson, E. C. y Minor, E. S. 2020. Management effects on plant community and functional assemblages in Chicago's vacant lots. *Applied Vegetation Science*, 23(2), 266–276. doi: 10.1111/avsc.12480
- Biggs, T. W., Anderson, W. G., y Pombo, O. A. 2015. Concrete and Poverty, Vegetation and Wealth? A Counterexample from Remote Sensing of Socioeconomic Indicators on the U.S.–Mexico Border. *Professional Geographer*, 67(2), 166–179. doi: 10.1080/00330124.2014.905161
- Biggs, T. W., Atkinson, E., Powell, R., y Ojeda-Revah, L. 2010. Land cover following rapid urbanization on the US-Mexico border: Implications for conceptual models of urban watershed processes. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 78–87. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.02.005
- Blanchette, A., Trammell, T. L. E., Pataki, D. E., Endter-Wada, J., y Avolio, M. L. 2021. Plant biodiversity in residential yards is influenced by people's preferences for variety but limited by their income. *Landscape and Urban Planning*, 214, 104-149. doi: 10.1016/j.landurbplan.2021.104149
- Brown, J. H. 1971. Mammals on Mountaintops: Nonequilibrium Insular Biogeography. *The American Naturalist*, 105(945), 467–478. doi: 10.1086/282738
- Brusati, E. D., Johnson, D. W., y DiTomaso, J. M. 2014. Predicting invasive plants in California. *California Agriculture*, 68(3), 89–95. doi: 10.3733/ca.v068n03p89
- California Invasive Plant Council. 2017. Cal-IPC Inventory. Recuperado el 11 de enero de 2022, a partir de <https://www.cal-ipc.org/plants/inventory/>
- Chamberlain, D. E., Henry, D. A. W., Reynolds, C., Caprio, E., y Amar, A. 2019. The relationship between wealth and biodiversity: A test of the Luxury Effect on bird species richness in the developing world. *Global Change Biology*, 25(9), 3045–3055. doi: 10.1111/gcb.14682
- Cohen, M., Baudoin, R., Palibrk, M., Persyn, N., y Rhein, C. 2012. Urban biodiversity and social inequalities in built-up cities: New evidences, next questions. The example of Paris, France. *Landscape and Urban Planning*, 106(3), 277–287. doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.03.007
- Colwell, R. K. 2009. Biodiversity: concepts, patterns, and measurement. *The Princeton Guide to Ecology*, 663, 257-263. doi: 10.1515/9781400833023/PDF

- CONAPO. 2010. Índice de marginación urbana por AGEB, 2010. En Consejo Nacional de Población. México. Recuperado el 3 de agosto de 2022, a partir de https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=%C3%8Dndice+de+marginaci%C3%B3n+urbana,+2005&publication_year=2009
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. v., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., y van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260. doi: 10.1038/387253a0
- Crowe, T. M. 1979. Lots of Weeds: Insular Phytogeography of Vacant Urban Lots. *Journal of Biogeography*, 6(2), 169. doi: 10.2307/3038050
- Damgaard, C. y Weiner, J. 2000. Describing inequality in plant size or fecundity. *Ecology*, 81(4), 1139–1142. doi: 10.1890/0012-9658(2000)081[1139:DIIPSO]2.0.CO;2
- Davis, A. M. y Glick, T. F. 1978. Urban Ecosystems and Island Biogeography. *Environmental Conservation*, 5(4), 299–304. doi: 10.1017/S037689290000638X
- Dobbs, C., Nitschke, C., y Kendal, D. 2017. Assessing the drivers shaping global patterns of urban vegetation landscape structure. *Science of the Total Environment*, 592, 171–177. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.058
- ESRI. 2020. Cómo funciona el vecino más cercano promedio: ArcGIS Pro.Documentación. En Introduction to ArcGIS Pro (3.0). ESRI. Recuperado el 2 de agosto de 2022, a partir de <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/spatial-statistics/h-how-average-nearest-neighbor-distance-spatial-st.htm#GUID-B488F4ED-AB4E-46DD-A157-AB5F415FCBEA>
- Gao, Z., Song, K., Pan, Y., Malkinson, D., Zhang, X., Jia, B., Xia, T., Guo, X., Liang, H., Huang, S., Da, L., van Bodegom, P. M., y Cieraad, E. 2021. Drivers of spontaneous plant richness patterns in urban green space within a biodiversity hotspot. *Urban Forestry and Urban Greening*, 61(127098). doi: 10.1016/j.ufug.2021.127098
- Garcillán, P. P., Rebman, J. P., y Casillas, F. 2009. Analysis of the non-native flora of Ensenada, a fast growing city in northwestern Baja California. *Urban Ecosystems*, 12(4), 449–463. doi: 10.1007/s11252-009-0091-1
- Garza, G. 1999. Global economy, metropolitan dynamics and urban policies in Mexico. *Cities*, 16(3), 149–170. doi: 10.1016/S0264-2751(99)00013-X
- Gastwirth, J. L. 1972. The Estimation of the Lorenz Curve and Gini Index. *The Review of Economics and Statistics*, 54(3), 306. doi: 10.2307/1937992
- Gómez, N. J. y Velázquez, G. A. 2018. Asociación entre los espacios verdes públicos y la calidad de vida en el municipio de Santa Fe, Argentina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), 164–179. doi: 10.15446/rcdg.v27n1.58740
- Hamel, P., Guerry, A. D., Polasky, S., Han, B., Douglass, J. A., Hamann, M., Janke, B., Kuiper, J. J., Levrel, H., Liu, H., Lonsdorf, E., McDonald, R. I., Nootenboom, C., Ouyang, Z., Remme, R. P., Sharp, R. P., Tardieu, L., Viguié, V., Xu, D., Zheng, H., y Daily, G. C. 2021. Mapping the benefits of nature in cities with the InVEST software. *Npj Urban Sustainability*, 1(1), 1–9. doi: 10.1038/s42949-021-00027-9

- Hope, D., Gries, C., Casagrande, D., Redman, C. L., Grimm, N. B., y Martin, C. 2006. Drivers of spatial variation in plant diversity across the Central Arizona-Phoenix ecosystem. *Society and Natural Resources*, 19(2), 101–116. doi: 10.1080/08941920500394469
- Hope, D., Gries, C., Zhu, W., Fagan, W. F., Redman, C. L., Grimm, N. B., Nelson, A. L., Martin, C., y Kinzig, A. 2003. Socioeconomics drive urban plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(15), 8788–8792. doi: 10.1073/pnas.1537557100
- Huizar, H. y Ojeda, L. (Eds.). 2014. Una perspectiva de justicia ambiental: Tijuana. En *Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos: La visión de Baja California*. El Colegio de la Frontera Norte. Tijuana.
- INEGI. 2020. México en cifras. En. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 4 de agosto de 2021, a partir de <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ag=00&ti=7>
- Jenerette, G. D., Miller, G., Buyantuev, A., Pataki, D. E., Gillespie, T. W., y Pincetl, S. 2013. Urban vegetation and income segregation in drylands: A synthesis of seven metropolitan regions in the southwestern United States. *Environmental Research Letters*, 8(4), 044001. doi: 10.1088/1748-9326/8/4/044001
- Kowarik, I. 2008. On the role of alien species in urban flora and vegetation. *Urban Ecology*, 321–338. doi: 10.1007/978-0-387-73412-5_20
- Kuras, E. R., Warren, P. S., Zinda, J. A., Aronson, M. F. J., Cilliers, S., Goddard, M. A., Nilon, C. H., y Winkler, R. 2020. Urban socioeconomic inequality and biodiversity often converge, but not always: A global meta-analysis. *Landscape and Urban Planning*, 198, 103799. doi: 10.1016/J.LANDURBPLAN.2020.103799
- Leong, M., Dunn, R. R., y Trautwein, M. D. 2018. Biodiversity and socioeconomics in the city: a review of the luxury effect. *Biology Letters*, 14(5). doi: 10.1098/rsbl.2018.0082
- MacArthur, R. H. y Wilson, E. O. 2015. *The Theory of Island biogeography (MPB-1)*. Princeton University Press., 1–203.
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Liu, J., y Han, Z. 2013. The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 47–52. doi: 10.1016/j.cosust.2013.02.002
- Myers, N., Mittermeller, R. A., Mittermeller, C. G., da Fonseca, G. A. B., y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. doi: 10.1038/35002501
- Nelson, J. R., Grubestic, T. H., Miller, J. A., y Chamberlain, A. W. 2021. The equity of tree distribution in the most ruthlessly hot city in the United States: Phoenix, Arizona. *Urban Forestry and Urban Greening*, 59, 127016. doi: 10.1016/j.ufug.2021.127016
- Nesbitt, L., Meitner, M. J., Girling, C., Sheppard, S. R. J., y Lu, Y. 2019. Who has access to urban vegetation? A spatial analysis of distributional green equity in 10 US cities. *Landscape and Urban Planning*, 181, 51–79. doi: 10.1016/j.landurbplan.2018.08.007
- Nghiem, T. P. L., Wong, K. L., Jeevanandam, L., Chang, C. C., Tan, L. Y. C., Goh, Y., y Carrasco, L. R. 2021. Biodiverse urban forests, happy people: Experimental evidence linking perceived biodiversity,

- restoration, and emotional wellbeing. *Urban Forestry and Urban Greening*, 59, 127030. doi: 10.1016/j.ufug.2021.127030
- Ochoa, Y. y Ojeda-Revah, L. 2017. Conservación de vegetación para reducir riesgos hidrometeorológicos en una metrópoli fronteriza. *Estudios Fronterizos*, 18(35), 47–69. doi: 10.21670/ref.2017.35.a03
- Ojeda Revah, L. y Álvarez, G. 2000. La reforestación de Tijuana, Baja California como un mecanismo de reducción de riesgos naturales. *Estudios Fronterizos*, 1(2), 9–31. doi: 10.21670/ref.2000.02.a01
- Ojeda-Revah, L., Bocco, G., Ezcurra, E., y Espejel, I. 2008. Land-cover/use transitions in the binational Tijuana River watershed during a period of rapid industrialization. *Applied Vegetation Science*, 11(1), 107–116. doi: 10.1111/j.1654-109x.2008.tb00209.x
- Ojeda-revah, L. y Espejel, I (Eds.). 2014. Cuando Las Áreas Verdes Se Transforman En Paisaje Urbano, La Vision De La Baja California. El Colegio de la Frontera Norte.
- Ottaviano, G. I. P., Pinelli, D., Maignan, C. J., y Rullani, F. 2005. Bio-Ecological Diversity vs. Socio-Economic Diversity: A Comparison of Existing Measures. *SSRN Electronic Journal*, 13. doi: 10.2139/ssrn.389043
- Pham, T. T. H., Apparicio, P., Séguin, A. M., Landry, S., y Gagnon, M. 2012. Spatial distribution of vegetation in Montreal: An uneven distribution or environmental inequity? *Landscape and Urban Planning*, 107(3), 214–224. doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.06.002
- Phillips, D. y Lindquist, M. 2021. Just weeds? Comparing assessed and perceived biodiversity of urban spontaneous vegetation in informal greenspaces in the context of two American legacy cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62, 127-151. doi: 10.1016/j.ufug.2021.127151
- Riemann, H. y Exequiel, E. 2007. Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja California, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 18(3), 327–336. doi: 10.1111/j.1654-1103.2007.tb02544.x
- Rupprecht, C. D. D. y Byrne, J. A. 2014. Informal urban green-space: Comparison of quantity and characteristics in Brisbane, Australia and Sapporo, Japan. *PLoS ONE*, 9(6), e99784. doi: 10.1371/journal.pone.0099784
- Rupprecht, C. D. D., Byrne, J. A., Garden, J. G., y Hero, J. M. 2015. Informal urban green space: A trilingual systematic review of its role for biodiversity and trends in the literature. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(4), 883–908. doi: 10.1016/j.ufug.2015.08.009
- Simpson, M. G. y Rebman, J. P. (Eds.). 2002. Checklist of Vascular Plants of San Diego County. 5.^a ed. San Diego Natural History Museum. San Diego.
- UN-HABITAT. 2018. SDG Indicator 11.1.1 Training Module: Adequate Housing and Slum Upgrading. United Nations Human Settlement Programme. 1–31.
- Villaseñor, J. L. y Espinosa-García, F. J. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions*, 10(2), 113–123. doi: 10.1111/j.1366-9516.2004.00059.x
- WHO. 2010. Urban planning, environment and health: from evidence to policy action. Meeting Report World Health Organization, 119. Europe.

- Yang, J., Yan, P., He, R. y Song, X., 2017. Exploring land-use legacy effects on taxonomic and functional diversity of woody plants in a rapidly urbanizing landscape. *Landscape and Urban Planning*, 162, 92-103.
- ZhenXiang, H., Pei, Q., ChengJiang, R., Min, X., y Mopper, S. 2004. Lorenz curve and its application in plant ecology. *Journal of Nanjing Forestry University*, 28(1), 37–41.

Anexos

Tabla 6 Listado de las especies encontradas en lotes baldíos de Tijuana, Baja California. Las especies exóticas están marcadas con un asterisco (*).

Agavaceae	Asteraceae (continuación)
* <i>Agave americana</i> L.	<i>Heterotheca grandiflora</i> Nutt.
	* <i>Hypochaeris glabra</i> L.
Aizoaceae	<i>Isocoma menziesii</i> (Hook. & Arn.) G.L. Nesom
* <i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E. Br.	* <i>Lactuca serriola</i> L.
* <i>Malephora crocea</i> (Jacq.) Schwantes	* <i>Pseudognaphalium luteoalbum</i> (L.) Hilliard & B.L. Burt.
* <i>Mesembryanthemum crystallinum</i> L.	* <i>Sonchus oleraceus</i> L.
* <i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L.	<i>Stephanomeria virgata</i> Benth.
Alliaceae	Brassicaceae
* <i>Tulbaghia violacea</i> Harv	* <i>Brassica nigra</i> (L.) W.D.J. Koch
	* <i>Cakile maritima</i> Scop.
Anacardiaceae	* <i>Raphanus sativus</i> L.
<i>Malosma laurina</i> (Nutt.) Abrams	* <i>Sisymbrium irio</i> L.
<i>Rhus integrifolia</i> (Nutt.) Benth. & Hook.f. ex Rothr.	
* <i>Schinus molle</i> L.	Cactaceae
* <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	* <i>Echinopsis peruviana</i> (Britton & Rose)
	<i>Opuntia cochenillifera</i> (L.) Miller
Apiaceae	* <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.
* <i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	
	Caryophyllaceae
Apocynaceae	<i>Minuartia douglasii</i> (Torr. & A. Gray) Mattf.
* <i>Vinca major</i> L.	* <i>Polycarpon tetraphyllum</i> (L.) L. subsp. Tetraphyllum
	* <i>Silene gallica</i> L.
Arecaceae	* <i>Spergularia bocconi</i> (Scheele) Graebn.
* <i>Phoenix canariensis</i> Chabaud	
<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl	Chenopodiaceae
	* <i>Atriplex semibaccata</i> R. Br.
Asparagaceae	* <i>Chenopodium album</i> L.
* <i>Asparagus setaceus</i> (Kunth) Jessop	* <i>Chenopodium murale</i> L.
	* <i>Salsola australis</i> R. Br.
Asteraceae	<i>Suaeda taxifolia</i> (Standl.) Standl.
<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	
<i>Baccharis sarothroides</i> A. Gray	Convolvulaceae
* <i>Centaurea melitensis</i> L.	<i>Calystegia macrostegia</i> (Greene) Brummitt subsp. <i>tenuifolia</i> (Abrams) Brummitt
* <i>Cynara cardunculus</i> L.	* <i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet
<i>Erigeron canadensis</i> L.	* <i>Ipomoea indica</i> (Burm.) Merr.
* <i>Glebionis coronaria</i> (L.) Cassini ex Spach	
<i>Helianthus annuus</i> L.	Crassulaceae
* <i>Hedypnois cretica</i> (L.) Dum.-Cours.	* <i>Aeonium arboreum</i> (L.) Webb & Berthel.
* <i>Helminthotheca echioides</i> (L.) Holub	<i>Crassula connata</i> (Ruiz & Pav.) A. Berger

Euphorbiaceae	Poaceae (continuación)
* <i>Euphorbia peplus</i> L.	* <i>Festuca perennis</i> (L.) Columbus & J.P. Sm.
* <i>Euphorbia serpens</i> Kunth	* <i>Hordeum murinum</i> L. subsp. <i>glaucum</i> (Steud.) Tzvelev
* <i>Ricinus communis</i> L.	* <i>Hordeum murinum</i> L. subsp. <i>leporinum</i> (Link) Arcang.
	* <i>Lamarckia aurea</i> (L.) Moench.
Fabaceae	* <i>Oloptum miliaceum</i> (L.) Röser & H. R. Hamasha
<i>Acmispon glaber</i> (Vogel) Brouillet var. <i>glaber</i>	* <i>Phalaris minor</i> Retz.
* <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	* <i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf.
* <i>Medicago lupulina</i> L.	* <i>Schismus barbatus</i> (L.) Thell.
* <i>Medicago polymorpha</i> L.	* <i>Triticum aestivum</i> L.
Geraniaceae	Polygonaceae
* <i>Erodium botrys</i> (Cav.) Bertol.	<i>Eriogonum fasciculatum</i> Benth
* <i>Erodium moschatum</i> (L.) Aiton	* <i>Polygonum aviculare</i> L. subsp. <i>depressum</i> (Meisner) Arcangeli
* <i>Pelargonium xhortorum</i> L.H. Bailey	* <i>Rumex crispus</i> L.
Lamiaceae	Solanaceae
* <i>Marrubium vulgare</i> L.	<i>Datura wrightii</i> Regel
<i>Malacothamnus fasciculatus</i> (Torr. & A. Gray) Greene	* <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.
* <i>Malva pseudolavatera</i> Webb. & Berthel.	* <i>Nicotiana glauca</i> Graham
* <i>Malva parviflora</i> L.	* <i>Physalis philadelphica</i> Lam.
Moraceae	Tropaeolaceae
* <i>Ficus benjamina</i> L.	* <i>Tropaeolum majus</i> L.
Myrtaceae	Ulmaceae
* <i>Eucalyptus</i> sp.	* <i>Ulmus</i> sp.
Nyctaginaceae	Urticaceae
* <i>Mirabilis jalapa</i> L.	* <i>Parietaria judaica</i> L.
Oxalidaceae	
* <i>Oxalis pes-caprae</i> L.	
Phytolaccaceae	
* <i>Phytolacca icosandra</i> L.	
Plumbaginaceae	
* <i>Limonium sinuatum</i> (L.) Mill.	
Poaceae	
* <i>Avena fatua</i> L.	
* <i>Arundo donax</i> L.	
* <i>Bromus diandrus</i> Roth	
* <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	
* <i>Ehrharta erecta</i> Lam.	
<i>Festuca octoflora</i> Walter	