



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"



## **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD-OAXACA**

**Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos  
Naturales (Biodiversidad del Neotrópico)**

### **DIVERSIDAD DE ÁRBOLES EN PAISAJES URBANOS Y RURALES DEL ESTADO DE OAXACA**

## **T E S I S**

Que para obtener el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

P R E S E N T A:

**BIÓL. CITLALI PAOLA MARTÍNEZ LÓPEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. MATTHIAS RÖS**

Oaxaca de Juárez, Oax. a 24 de agosto del 2020



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México, a  de  del

El Colegio de Profesores de Posgrado de  en su Sesión   
(Unidad Académica)

No.  celebrada el día  del mes  de  , conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	<b>Martínez</b>	Apellido Materno:	<b>López</b>	Nombre (s):	<b>Citlali Paola</b>
-------------------	-----------------	-------------------	--------------	-------------	----------------------

Número de registro:

del Programa Académico de Posgrado:

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente: 1.- Se designa al aspirante el tema de tesis

Objetivo general del trabajo de tesis:

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director:  2° Director:

No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

2° Director de Tesis (en su caso)

\_\_\_\_\_  
Dr. Matthias Rös

\_\_\_\_\_  
Presidente del Colegio

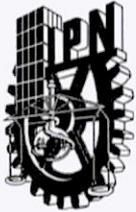
Aspirante



\_\_\_\_\_  
Martínez López Citlali Paola

\_\_\_\_\_  
Dr. Isidro Salvador Belmonte Jiménez

CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de  siendo las  horas del día  del mes  del  se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado del:  para examinar la tesis titulada:  del estado de Oaxaca del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Martínez	Apellido Materno:	López	Nombre (s):	Citlali Paola
-------------------	----------	-------------------	-------	-------------	---------------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 5 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**  **NO**  **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

#### JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:

El porcentaje de similitud fue de 5% en el programa de Turnitin.

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

La estudiante presentó una tesis original y de alta calidad, para la cual colectó datos en campo, obteniendo resultados novedosos.

#### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Dr. Matthias Rös  
Director de Tesis  
Nombre completo y firma

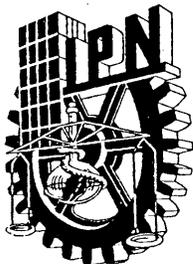
Dr. Rafael Felipe del Castillo Sánchez  
Nombre completo y firma

M. en C. Graciela Eugenia González Pérez  
Nombre completo y firma

2º Director de Tesis (en su caso)  
Nombre completo y firma

Dr. José Antonio Santos Moreno  
Nombre completo y firma

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez  
Nombre completo y firma  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**  
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
C.I.I.D.I.R.  
UNIDAD OAXACA  
I.P.N.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de Santa Cruz Xoxocotlán, Oax., el día 24 del mes agosto del año 2020, la que suscribe BIOL. CITLALI PAOLA MARTÍNEZ LÓPEZ alumna del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES, con número de registro B180010, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del DR. MATTHIAS RÖS y cede los derechos del trabajo titulado: “DIVERSIDAD DE ÁRBOLES EN PAISAJES URBANOS Y RURALES DEL ESTADO DE OAXACA” al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección electrónica: [cimau28@gmail.com](mailto:cimau28@gmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

---

Biol. Citlali Paola Martínez López

## AGRADECIMIENTOS

*Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca por permitirme desarrollar académicamente a través de los conocimientos brindados durante mi formación.*

*Agradezco a CONACYT por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.*

*A mi director de tesis especialmente con admiración, Dr. Matthias Rös, le agradezco su experiencia, consejos, paciencia, amistad, confianza, ánimos y preocupación durante mi desarrollo académico.*

*A los miembros de jurado, Dr. Rafael F. del Castillo Sánchez, M.C. Gladys Isabel Manzanero Medina y M.C. Graciela Eugenia González Pérez por las valiosas contribuciones que favorecieron a este proyecto.*

*A los revisores de tesis, Dr. Antonio Santos Moreno y al Dr. Marcelo García Guerrero por el tiempo que otorgaron a esta investigación.*

*A las autoridades y habitantes de los municipios de Oaxaca de Juárez, Santo Domingo Tehuantepec, Huajuapán de León y San Pedro Mixtepec por las facilidades otorgadas sin las que no hubiera sido posible llevar a cabo este proyecto.*

*A los familiares y amigos que me brindaron alojamiento y apoyo en la fase de campo.*

*A los amigos de la vida por siempre estar presentes.*

## DEDICATORIA

*A mi padre, gracias por enseñarme a ser una persona de bien y por siempre inspirarme a amar y aprender de la naturaleza.*

*A mi madre, gracias por darme tus alas para volar y por brindarme siempre tu amor incondicional.*

*A Violeta, Lilitiana e Ixchel, gracias por guiar mi camino confiando en mis decisiones y por no dejarme sola cuando más lo necesité.*

*A la nueva luz que llegará a iluminar nuestras vidas. Mi changuita, espero que pequeñas acciones hagan mejor el mundo en el que vivirás.*

*Al Dr. Alan Montaña Contreras, por siempre estar al pendiente de mis pasos en la biología y a Ricardo Pineda por ser parte de la familia que quiero y admiro.*

*A mi pequeña Cielo, gracias por enseñarme a ver siempre el lado divertido de la vida, no sé qué hubiera hecho sin tí.*

*Al amor de todos mis días, gracias por esta nueva aventura. Sigamos llenando nuestra vida de recuerdos...*

# ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	vii
SUMARY.....	ix
I.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.1.1 Paisajes relictuales.....	2
1.1.2 Árboles en paisajes urbanos.....	3
1.1.3 Árboles en paisajes rurales. ....	6
1.1.4 Especies nativas e introducidas.....	7
1.1.5 La diversidad como factor clave en el arbolado.....	8
1.1.6 Uso de tecnologías en el inventario de árboles.....	11
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	14
II. METODOLOGÍA.....	15
2.1 Descripción del área de estudio.....	15
2.2 Estimación de la abundancia de organismos leñosos presentes en el área de estudio.....	18
2.3 Determinación de la riqueza de especies leñosas presentes.....	18
2.4 Determinación y comparación de la diversidad.....	20
2.5 Identificación de las especies leñosas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010.....	21
2.6 Registro de organismos asociados.....	22
III. RESULTADOS.....	23
3.1 Visión general de la distribución de las especies.....	23
3.1.1 Familias, especies y géneros registrados en los paisajes urbanos y rurales.....	25

3.1.2 Abundancia de árboles en lo paisajes urbanos y rurales.....	28
3.1.3 Especies nativas e introducidas en los paisajes urbanos y rurales.....	43
3.1.4 Registro de organismos asociados y factores de riesgo.....	59
3.1.5 Empleo de la herramienta Google Street View.....	61
3.1.6 Especies registradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.....	62
3.2 Comparación de la diversidad.....	63
3.2.1 Curvas de abundancias totales y relativas.....	69
3.2.2 Factor de inequidad (IF) e Inequidad Logarítmica Relativa (RLI).....	
3.2.3 Similitud entre los paisajes urbanos y rurales.....	70
3.2.4 Diversidad beta.....	72
IV. DISCUSIÓN.....	77
4.1 Diversidad del arbolado en paisajes urbanos y rurales.....	77
4.2 Distribución de las especies nativas e introducidas en los paisajes urbanos y rurales.....	80
4.3 Implicaciones en el estudio del arbolado urbano y rural.....	84
V. CONCLUSIÓN.....	91
VI. LITERATURA CONSULTADA.....	94
VII. ANEXOS.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Sitios de estudio dentro de las ocho regiones fisiográficas del estado de Oaxaca.....	16
2	Distribución de las especies registradas en los cuatro sitios de acuerdo con su presencia exclusiva en los paisajes urbanos, rurales o ambos.....	23
3	Distribución de las especies en las cuatro regiones fisiográficas analizadas .....	24
4	Familias registradas en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca .....	25
5	Géneros registrados en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca .....	26
6	Número de especies registradas en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca.....	27
7	Abundancia de árboles en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca .....	28
8	Distribución de los árboles registrados en el paisaje urbano de Tehuantepec en las celdas de 6.25 ha .....	29
9	Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Tehuantepec en las celdas de 6.25 ha .....	30
10	Distribución de los árboles registrados en el paisaje urbano de Huajuapán en las celdas de 6.25 ha.....	31
11	Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Huajuapán en las celdas de 6.25 ha .....	32

12	Distribución de los árboles registrados en el paisaje urbano de Puerto Escondido en las celdas de 6.25 ha.....	34
13	Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Puerto Escondido en las celdas de 6.25 ha .....	35
14	Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Oaxaca en las celdas de 6.25 ha .....	36
15	Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Oaxaca en las celdas de 6.25 ha.....	37
16	Árboles externos y árboles internos en los paisajes urbanos y rurales.....	38
17	Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Tehuantepec en las celdas de 6.25 ha.....	39
18	Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Huajuapán en las celdas de 6.25 ha.....	40
19	Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Puerto Escondido en las celdas de 6.25 ha.....	41
20	Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Oaxaca en las celdas de 6.25 ha.....	42
21	Distribución de las especies nativas e introducidas de acuerdo con su presencia exclusiva en paisajes urbanos, rurales y ambos.....	43
22	Abundancia de árboles nativos e introducidos de acuerdo con su presencia exclusiva en paisajes urbanos, rurales y ambos.....	44
23	Número de especies nativas e introducidas presentes en los paisajes rurales.....	45
24	Número de especies nativas e introducidas presentes en los paisajes urbanos.....	46
25	Abundancia de árboles nativos e introducidos en los paisajes urbanos.....	47
26	Abundancia de árboles nativos e introducidos en los paisajes rurales.....	47
27	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Tehuantepec.....	51
28	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Tehuantepec.....	52
29	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Huajuapán.....	53
30	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Huajuapán.....	54

31	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Puerto Escondido.....	55
32	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Puerto Escondido.....	56
33	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Oaxaca.....	60
34	Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Oaxaca.....	58
35	Abundancia de árboles en los que se registró daños a banquetas y bardas en su lugar de crecimiento.....	60
36	Abundancia de árboles en los que se registró daños causados por muérdagos de las especies <i>Struthanthus</i> sp y <i>Psittacanthus</i> sp.....	61
37	Árboles previamente registrados con la herramienta Google Street View y los árboles registrados en campo.....	62
38	Perfiles de diversidad alfa de árboles de paisajes urbanos y rurales.....	64
39	Curvas de rango abundancias en los paisajes urbanos y rurales basadas en el número de individuos.....	67
40	Curvas de rango abundancias en los paisajes urbanos y rurales basadas en la abundancia relativa de las especies.....	68
41	Diagrama de similitud con valores del índice Jaccard entre los paisajes urbanos y rurales.....	70
42	Diagrama de similitud con valores del índice Morisita-Horn entre los paisajes urbanos y rurales.....	71
43	Perfil de diversidad beta de los paisajes urbanos y rurales.....	72
44	Perfiles de diversidad beta de los paisajes urbanos y rurales....	74
45	Perfiles de diversidad $\beta$ en las celdas de 6.25 ha.....	75

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Especies más abundantes en los paisajes urbanos.....	48
2	Especies más abundantes en los paisajes rurales.....	49
3	Plantas hemiparásitas asociadas a árboles de especies nativas e introducidas en los paisajes urbanos y rurales de Puerto Escondido, Oaxaca y Huajuapán	62
4	Valores de diversidad de orden $q=0, 1$ y $2$ en los paisajes urbanos .....	65
5	Valores de diversidad de orden $q=0, 1$ y $2$ en los paisajes rurales .....	65
6	Valores del factor logarítmico de inequidad relativa en los paisajes urbanos .....	69
7	Valores del factor logarítmico de inequidad relativa en los paisajes rurales .....	69
8	Valores de diversidad beta entre paisajes urbanos y rurales.....	73
9	Valor de diversidad beta dentro de las ventanas de $1\text{km}^2$ de estudio para los paisajes urbanos.....	75
10	Valor de diversidad beta dentro de las ventanas de $1\text{km}^2$ de estudio para los paisajes rurales.....	75

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos y rurales.....	110
2	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes rurales .....	111
3	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos.....	112
4	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos y rurales de Tehuantepec.....	113
5	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos y rurales de Huajuapán .....	114
6	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos y rurales de Puerto Escondido.....	115
7	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos y rurales de Oaxaca.....	116
8	Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos y rurales de Puerto Escondido.....	117

## RESUMEN

Este proyecto se presenta como el primer trabajo que registró y comparó la diversidad de árboles en paisajes urbanos y rurales de Oaxaca. El diseño de muestreo se basó en el empleo de ventanas de estudio de 1 km<sup>2</sup> en cuatro regiones fisiográficas del estado de Oaxaca, en los paisajes de Huajuapán, Tehuantepec, Puerto Escondido y Oaxaca. Los resultados de los análisis de la diversidad alfa y beta fueron expresados en términos de diversidad verdadera. Se registró una diversidad de especies alta en los paisajes urbanos, incluso mayor que en los paisajes rurales. En todos los paisajes se presentaron pocas especies con alta dominancia. La alta diversidad de especies en ciudades se atribuyó a la presencia de una gran cantidad de especies introducidas y a la preservación de especies nativas. Los paisajes urbanos presentaron mayor proporción de especies introducidas y en los paisajes rurales se registró mayor proporción de especies nativas. Se encontró una mayor similitud entre los paisajes urbanos que entre sus paisajes rurales cercanos. En todos los paisajes, el establecimiento de ciertas especies está notablemente influenciado por las necesidades humanas y reflejan aún especies características de su región. Se registró la presencia de plagas o plantas hemiparásitas en especies nativas como *Swietenia humilis*, *Fraxinus uhdei* y en especies introducidas como *Terminalia catappa*, *Schinus molle* y *Citrus limon*. La especie *Guaiacum coulteri*, registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como amenazada se registró en el paisaje de Tehuantepec. En el estado de Oaxaca se requiere una mejor comprensión de la composición, distribución y patrones de diversidad actual de los árboles en paisajes urbanos y rurales.

## SUMMARY

This project is presented as the first work that recorded and compared the diversity of trees in relictual landscapes of Oaxaca. The sampling design was based on the use of study windows of one km<sup>2</sup> in four different physiographic regions of the state of Oaxaca, in the landscapes of Huajuapán, Tehuantepec, Puerto Escondido and Oaxaca. The results of the alpha and beta diversity analyzes were expressed in terms of true diversity. High species diversity was recorded in urban landscapes, even higher than in rural landscapes. Few species with high dominance appeared in all the landscapes. The high diversity of species in cities was attributed to the presence of many introduced species and to the preservation of native species. Urban landscapes had a higher proportion of introduced species and rural landscapes recorded a higher proportion of native species. Greater similarity was found between urban landscapes than between its nearby rural landscapes. In all landscapes, the establishment of certain species is notably influenced by human needs and still reflects species characteristic of their region. The presence of pests or hemi parasitic plants was recorded in native species such as *Swietenia humilis*, *Fraxinus uhdei* and, in introduced species such as *Terminalia catappa*, *Schinus molle* and, *Citrus limon*. *Guaiacum coulteri*, registered in NOM-059-SEMARNAT-2010 as threatened, was registered in the Tehuantepec landscape. In the state of Oaxaca, a better understanding of the current composition, distribution, and diversity patterns of trees in urban and rural landscapes is required.

## I. INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización y su rápida expansión ha generado consecuencias ambientales y cambios en la composición arbórea de los paisajes cercanos (García, 2008). La preocupación por entender los patrones de diversidad de árboles en los paisajes urbanos y rurales ha ido en aumento a nivel global (Blood *et al.*, 2016). Su relevancia radica en la importancia de reducir los riesgos ante enfermedades y escenarios futuros causados por el cambio climático (Kendal *et al.*, 2014; Morgenroth *et al.*, 2016) asegurando que los paisajes sean funcionales, autosuficientes y resilientes (Schewenius, 2016).

Los árboles en paisajes relictuales (McIntyre & Hobbs, 1999), como los urbanos y rurales, tienen un alto valor ecológico, social y cultural (Alanís, 2005; Chambers & Leach, 1987; López, 2013) por ello se requiere una mejor comprensión de su condición actual a nivel regional. En Oaxaca se han descrito doce regiones fisiográficas con diferentes características topográficas, hidrográficas, geológicas y geomorfológicas (García *et al.*, 2004). En ellas, los estudios acerca del arbolado urbano son escasos, mientras que investigaciones comparativas que reflejen la relación que existe entre los árboles de paisajes urbanos y paisajes adyacentes solo han sido realizados en países como Alemania (Kühn *et al.*, 2004; Wania *et al.*, 2006; Knapp *et al.*, 2009) y Estados Unidos (McKinney, 2002; Quigley, 2004; Blood *et al.*, 2016). En estos se ha señalado que las áreas urbanas presentan mayor número de especies que paisajes sus paisajes rurales debido a la

presencia de especies introducidas por el humano y a los diferentes tipos de suelo.

Debido a que la comprensión acerca de los patrones y diversidad de las especies en estos paisajes es poca, se pretendió identificar qué paisajes relictuales de diferentes regiones fisiográficas del estado de Oaxaca presentaron mayor diversidad de árboles. Mediante la aplicación de una metodología de análisis de índices de diversidad verdadera (Jost, 2006, 2007), la cual no ha sido incorporada en los estudios de arbolado, y mediante el empleo de herramientas digitales como *Google Street View*, se estableció una comparación con base en la diversidad de las especies para determinar el grado de similitud entre los paisajes y si la presencia de especies introducidas o nativas está determinada de acuerdo con las características de cada paisaje.

## **1.1 ANTECEDENTES**

### **1.1.1 Paisajes relictuales**

La expansión demográfica y la urbanización generan fragmentación en paisajes y pérdida de la vegetación original. De acuerdo con McIntyre & Hobbs (1999), el concepto de fragmentación no es suficiente para reflejar los diferentes grados de impacto que el ser humano ocasiona. Consideran cuatro estados del paisaje: intacto, variegado, fragmentado y relictual. Los paisajes urbanos o terrenos con

actividad agrícola, bosques manejados y remanentes de vegetación nativa (paisajes rurales) cuentan con las características definidas para un paisaje relictual. En ellos, la retención de la vegetación original es menor al 10% y son mayores los efectos de las actividades económicas y del desarrollo agrícola o urbano.

### 1.1.2 Árboles en paisajes urbanos

Generalmente, en las ciudades se encuentran espacios abiertos y públicos con vegetación arbórea y arbustiva. El arbolado se puede clasificar como: a) de alineación (presente en banquetas de calles y avenidas de forma lineal); b) de áreas verdes (camellones, glorietas, jardines públicos, cementerios); c) de espacios restringidos (dentro de edificios públicos y privados); d) histórico (especies catalogadas por algún organismo especializado) y e) notable (ejemplares relacionados con acontecimientos históricos del lugar) (Chávez, 1997; Lockhart & Gómez, 2009).

De acuerdo con Zhao *et al.* (2017), las personas tienen un rango alto de preferencia por árboles de tronco ancho con una copa densa y con hojas moderadamente largas. Generalmente los árboles son establecidos basándose en sus atributos estéticos o en los límites económicos y no directamente por sus beneficios ecológicos. Además, una o pocas especies atractivas o con bajo costo suelen ser establecidas en los centros urbanos lo que provoca homogeneidad en el arbolado.

Suelen crecer en condiciones de estrés debido a la disminución de la infiltración de agua al sistema radical causada por el pavimento y la compactación del suelo (Pimienta-Barrios *et al.*, 2012). Son vulnerables debido a la contaminación atmosférica, excesiva radiación solar, daños por vandalismo y sitios de plantación incorrectos que reducen su longevidad (Zaragoza, 2015). Además, las podas anuales modifican su desarrollo normal al hacerlos compatibles con el reducido espacio disponible (Ceballos, 1997).

Los árboles urbanos son una herramienta clave en el combate del calentamiento global y brindan múltiples beneficios ambientales, ecológicos, económicos y sociales:

- Interceptan o absorben contaminantes gaseosos como Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>) y partículas hidrosolubles en la superficie húmeda de sus hojas (Santiago-Ramos, 2008), incluso su capacidad de acumular metales pesados los señala como importantes indicadores de calidad ambiental (Alcalá *et al.*, 2008).
- Mejoran la temperatura del aire mediante el control de la radiación solar y la evapotranspiración (Rivas, 2001)
- Su presencia y atractivo visual genera espacios de ambiente agradables que reducen los niveles de estrés de los habitantes (Oliver, 2013).
- Se ha reportado que hogares de Estados Unidos con áreas verdes aumentan su valor económico de venta entre 5 y 20% (ISA, 2007).

- Follajes densos reducen la exposición de la piel de los habitantes a rayos UV (Kuchelmeister, 2000; Sorensen *et al.*, 1998).
- En zonas residenciales o carreteras pueden reducir los niveles de ruido 5-10dB (Nowak *et al.*, 1997; Sorensen *et al.*, 1998).
- Áreas verdes reducen la velocidad de la esorrentía de una tormenta, favorecen la infiltración de agua de lluvia a los mantos freáticos y reducen los daños por inundaciones (González, 2011).
- Proveen hábitat a fauna silvestre, local o migratoria (Rubio, 1995).

Los inventarios de arbolado urbano son el primer paso para determinar con qué especies se cuenta, dónde se encuentran y su estado de salud. Esta información se puede emplear como herramienta educativa o para abogar por un mayor financiamiento y apoyo a programas de reforestación urbana programas forestales urbanos (Zamudio, 2001). Los estudios en el estado de Oaxaca han sido implementados principalmente en avenidas, parques y calles de la capital (Velásquez, 1995; Chávez, 1997; Santiago, 1997; Ruíz, 2005; Ignacio, 2006; García, 2006; Jarquín 2004; Suárez y Quiroz, 2008) mientras pocos han realizado una comparación entre los paisajes circundantes (Martinez-Lopez *et al.*, 2017).

Godefroid & Koedam (2007) han señalado que es necesario estudiar a los paisajes urbanos considerándolos como áreas heterogéneas. Estos deberían ser catalogados al momento de ser estudiados, ya que son multidimensionales y altamente variables a través del espacio. Existen ciudades con mayor porcentaje de áreas edificadas, con áreas industriales, zonas ribereñas o diferentes tipos de suelo. Además, es necesario tomar en cuenta factores antropogénicos como

preferencias personales y el nivel socioeconómico para entender los patrones de diversidad de árboles en estos paisajes.

### 1.1.3 Árboles en paisajes rurales

Los paisajes rurales son un factor importante en la conservación ya que las áreas protegidas del mundo no serán suficientes por sí mismas para asegurar el futuro de la biodiversidad (Ranganathan y Daily, 2007). En estos paisajes, árboles y arbustos han sido empleados en programas de restauración y reforestación asociándolos con la protección de cultivos agrícolas y animales dentro de sistemas de agroforestería y silvopastoril. Ofrecen productos de consumo humano y servicios ecosistémicos para la conservación del suelo, agua y aire (Vázquez, 1999; Amico, 2006).

El planteamiento del desarrollo urbano como categoría positiva o equivalente de progreso social ha relegado a los paisajes rurales como negativos o residuales (Bustillos, 2004). El interés por su conservación y restauración solo ha sido tema ampliamente estudiado en zonas con pérdidas catastróficas de árboles rurales. Close y Davidson (2004) reportaron que, en Australia, en las mesetas de Nueva Inglaterra y en tierras centrales de Tasmania, se ha dado el declive de árboles aislados presentes en pastos o parches donde el sotobosque nativo ha sido pastado. Para su conservación, recomiendan cercados que excluyan al ganado o pastoreo rotacional para evitar la compactación del suelo y permitir periodos de recuperación más largos. En estos paisajes, señalaron que son necesarios

remanentes de enlace que permitan el movimiento de fauna silvestre y el aumento de su diversidad para favorecer la polinización y dispersión de semillas.

Su importancia radica en aspectos ecológicos, sociales y económicos. Proporcionan alimento (frutos, semillas, fibras) para consumo humano, forraje para el ganado, leña para viviendas, cercas o corrales y carbón vegetal. Especies fijadoras de nitrógeno contribuyen a la calidad del suelo y árboles establecidos a la orilla de cultivos, ríos o arroyos como el sauce (*Salix* sp.), el aliso (*Alnus* sp.) y el ciprés calvo (*Taxodium* sp.) actúan como soporte del cauce o como cortinas de viento (Amico, 2006).

#### 1.1.4 Especies nativas e introducidas

Desde hace décadas, existe una tendencia por establecer especies arbóreas introducidas en las zonas urbanas. Su expansión se aceleró debido a su rápido crecimiento, fácil propagación y menor costo (Ceballos, 1997). Aunado a esto, existen preferencias personales, influencias sociales o falta de conocimiento de los beneficios de especies nativas (Alanís, 2005).

Se ha señalado que especies nativas están adaptadas ecológicamente, crecen fácilmente, proveen hábitat y/o alimentación a fauna silvestre, tienen bajos costos de mantenimiento y su empleo refleja la cultura regional (Alanís, 2005). Sin embargo, existen pocos o nulos estudios que involucren a las especies nativas de regiones específicas. Por lo tanto, se tiene desconocimiento de las épocas de

floración o fructificación de muchas especies nativas, sus características morfológicas o los tiempos de latencia, viabilidad, patrones de capacidad y la velocidad germinativa de sus diásporas (Niembro, 2001).

En paisajes urbanos de México, se ha registrado mayor porcentaje de especies introducidas que nativas (Benavides y Segura, 1996; Alanís, 2005; Madrigal-Sánchez y Gómez, 2007; Falfán y MacGregor-Fors, 2016; Román-Guillén *et al.*, 2019). Establecer especies con enfermedades o plagas puede causar el desplazamiento de flora y fauna nativa (De Camino, 2005). En ciudades mexicanas como Morelia, Michoacán se reportaron 35 especies introducidas de un total de 67 (Madrigal-Sánchez, y Gómez, 2007), en Monterrey, Nuevo León 61 de 115 (Alanís, 2004) y en Xalapa, Veracruz 73 de 131 (Falfán y MacGregor-Fors, 2016).

#### 1.1.5 La diversidad como factor clave en el arbolado

La diversidad arbórea es un factor clave para la formación de paisajes sustentables y resilientes (Schewenius, 2016) ya que se prevén pérdidas catastróficas causadas por el ataque de especies dañinas como el muérdago y afectaciones por el cambio climático (De la Paz *et al.*, 2006).

La combinación de factores ambientales, la composición de diferentes tipos de uso de suelo y la disponibilidad comercial de las especies tienen el potencial de afectar la diversidad (Morgenroth *et al.*, 2016). En el caso de las zonas rurales,

estudios han demostrado que cuentan con menor riqueza de especies en comparación con zonas urbanizadas (McKinney, 2002; Kühn *et al.*, 2004; Knapp *et al.*, 2009; Wania *et al.*, 2009; Martínez-Lopez *et al.*, 2017).

Debido a su importancia, se han desarrollado múltiples índices y metodologías para su medición con la finalidad de describir sus componentes, hacer comparaciones y generar teorías. Los índices de diversidad como Shannon-Wiener y Gini-Simpson han sido empleados tradicionalmente, sin embargo, la interpretación del significado de sus resultados se ha realizado sin un entendimiento adecuado (Moreno *et al.*, 2011).

Una estrategia de medición que aborda su estudio a partir de la riqueza y abundancia de las especies fue propuesta por Halffter y Rös (2012). Emplea ventanas como unidad de estudio y su aplicación es posible en estudios de comparación entre paisajes modificados. Presenta la ventaja de mostrar un panorama completo de la heterogeneidad de un paisaje continuo y los resultados son expresados en los términos de “diversidad verdadera” propuestos por Jost (2006, 2007). De acuerdo con la escala que se esté analizando ( $\alpha$  o  $\beta$ ), los resultados se expresan como número de “especies o comunidades efectivas o equivalentes”, lo cual permite comparar los resultados. En este sentido, se asume que de todas las comunidades con X especies, la más diversa es aquella donde todas las especies tienen exactamente la misma abundancia. La diversidad es analizada de acuerdo con el orden de  $q$  (generalmente 0, 1 y 2), el cual refleja diferente sensibilidad ante especies comunes, raras o abundantes.

La diversidad  $\beta$  “verdadera” está basada en el número de comunidades “virtuales” que podrían reconocerse si en todas ellas la composición de especies fuera distinta, pero mantuvieran la misma diversidad  $\alpha$  promedio observada entre las comunidades. La diversidad  $\beta$  mínima posible es una comunidad efectiva, cuando todas las comunidades son exactamente iguales, mientras que el número máximo posible es igual al número de comunidades totales  $N$ , cuando todas ellas son completamente diferentes en su composición de especies (Jost, 2006, 2007; Calderón-Patrón *et al.*, 2012).

Las investigaciones que incluyan los árboles ubicados en paisajes urbanos y circundantes permitirán entender las implicaciones que conllevan actividades antropogénicas. Es necesario ampliar el conocimiento sobre si el efecto que tienen estas actividades se refleja en la homogenización de los paisajes urbanos y periurbanos o bien si los paisajes urbanos son adecuados para la sobrevivencia de especies nativas en comparación con otros sitios (Blood *et al.*, 2016). Estudios que involucren los árboles de paisajes rurales o periurbanos solo han sido realizados en zonas como Cantón Cayambe, Ecuador (Puma, 2011), Ohio, Estados Unidos (Quigley, 2004; Blood *et al.*, 2016) y Halle, Alemania (Kühn *et al.*, 2004; Wania *et al.*, 2006).

### 1.1. 6 Uso de tecnologías en el inventario de árboles

Actualmente el potencial de los inventarios urbanos puede ser aprovechado completamente gracias a la tecnología y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Permiten optimizar el tiempo invertido en la captura, manejo y análisis de la información y la creación de mapas (Dwyer y Miller, 1999; Ugidos, 2013).

Para complementar, Berland y Lange (2017) emplearon el programa *Google Earth*® (función *Google Street View*™) en el inventario arbóreo realizado en Ohio, Estados Unidos. Esta herramienta provee imágenes satelitales panorámicas a nivel del suelo. Más del 93% de 597 árboles observados en su estudio coincidieron con los identificados en campo con base en su locación, género y DAP (principalmente árboles de talla grande). También, representó una reducción de riesgos de seguridad comparado con un trabajo completamente de campo y menores costos.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El crecimiento constante de los paisajes urbanos y el cambio acelerado de tipo de suelo en paisajes rurales involucra cambios en la calidad del hábitat de la vida silvestre, en los recursos disponibles y en las condiciones de vida de sus habitantes. Aunque en todos los ecosistemas los organismos arbóreos tienen un papel ecológico de gran importancia, en paisajes relictuales, donde permanece menos del 10% de la cobertura vegetal original, representan uno de los soportes más significativos.

Asegurar la diversidad de árboles en los paisajes urbanos y rurales permitirá formar paisajes capaces de tolerar escenarios futuros. Reconocer los patrones de diversidad actual es el primer paso para la planeación y el manejo de la vegetación de paisajes urbanos y paisajes aledaños, ya que los efectos de las actividades antropogénicas no son aislados.

Es necesaria la creación de planes de manejo del arbolado que involucren información actualizada mediante el monitoreo del estado actual de los árboles presentes y la identificación de las especies más adecuadas para los sitios de plantación.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo general

Comparar la diversidad arbórea entre paisajes urbanos y rurales en cuatro regiones fisiográficas del estado de Oaxaca

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la riqueza y abundancia de especies de árboles presentes en dos paisajes (urbano y rural) de cuatro regiones fisiográficas del estado de Oaxaca.
- Estimar la diversidad de los organismos arbóreos presentes en las diferentes escalas de estudio (celdas, ventanas, regiones fisiográficas).
- Identificar las diferencias entre paisajes urbanos y rurales considerando las especies nativas o introducidas presentes
- Registrar la frecuencia de organismos asociados a cada árbol (hongos, plagas o plantas parásitas)
- Reconocer las especies que se encuentran registradas bajo un estatus de conservación de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.

## 1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Qué paisajes relictuales de diferentes regiones fisiográficas del estado de Oaxaca presentan mayor diversidad de árboles en el estado de Oaxaca, los paisajes urbanos o los rurales?

¿Los paisajes urbanos presentan mayor diversidad de árboles que los paisajes rurales debido a una mayor proporción de especies introducidas?

¿Los paisajes urbanos aún preservan especies nativas o amenazadas?

¿Cuál es el grado de similitud composicional que existe entre los paisajes urbanos y sus paisajes rurales cercanos?

¿La composición de especies de los paisajes urbanos de diferentes regiones fisiográficas del estado de Oaxaca se ha homogenizado o aún refleja especies propias de cada región?

¿Las imágenes que proporciona la herramienta *Google Street View* pueden ser útiles en los censos de arbolado urbano en el estado de Oaxaca?

## II. METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio

Las actividades de la presente investigación fueron desarrolladas estableciendo una ventana de 1 km<sup>2</sup> de área en un paisaje urbano y otra rural con base en la estrategia para medir la diversidad en paisajes modificados propuesta por Halffter & Rös (2013). La ventana del paisaje urbano fue ubicada tomando como referencia el centro de la ciudad. Las ventanas rurales respectivas fueron establecidas a menos de cinco km de distancia con la finalidad de reflejar en ellas los paisajes rurales adyacentes a la ciudad en los que las actividades humanas tienen influencia. El muestreo se realizó en los siguientes sitios (Figura 1):

1. La ventana del paisaje urbano de Oaxaca se localizó en la ciudad de Oaxaca de Juárez (región Valles Centrales de Oaxaca). Se localiza en la parte central del Estado, en las coordenadas 96°43' de longitud oeste y 17°04' de latitud norte, a una altura de 1550 msnm. Su temperatura media anual es de 20.5°C y precipitación anual de 651.3mm. Su población es de 255 029 habitantes. La ventana rural se ubicó entre los municipios de Tlaxiaco de Cabrera y Santo Domingo Tomaltepec.<sup>1</sup>.
2. La ventana del paisaje urbano de Huajuapán (región Montañas y Valles del Occidente) se localiza en la parte noroeste del Estado, en las coordenadas 97°16' de longitud oeste y 17°48' de latitud norte, a una altura de 1,650 msnm. Su temperatura media anual es de 20.2°C y su precipitación media es 735.4

1. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20553a.html>

mm. Su población es de 77547 habitantes. La ventana rural se ubicó al sur en la localidad de Santa María Xochixtlapilco perteneciente al municipio de Huajuapán de León.<sup>1</sup>

3. El paisaje urbano de Puerto Escondido (región Planicie Costera del Pacífico) se localiza en las coordenadas 7°05' de longitud oeste y 16°59' de latitud norte, a una altura 60 msnm. Su temperatura media anual de 24.6°C y su precipitación media anual es de 703.9 mm. La ventana rural se ubicó al sur de la comunidad de Bajos de Chila que pertenece al municipio de San Pedro Mixtepec Distrito 22<sup>1</sup>.

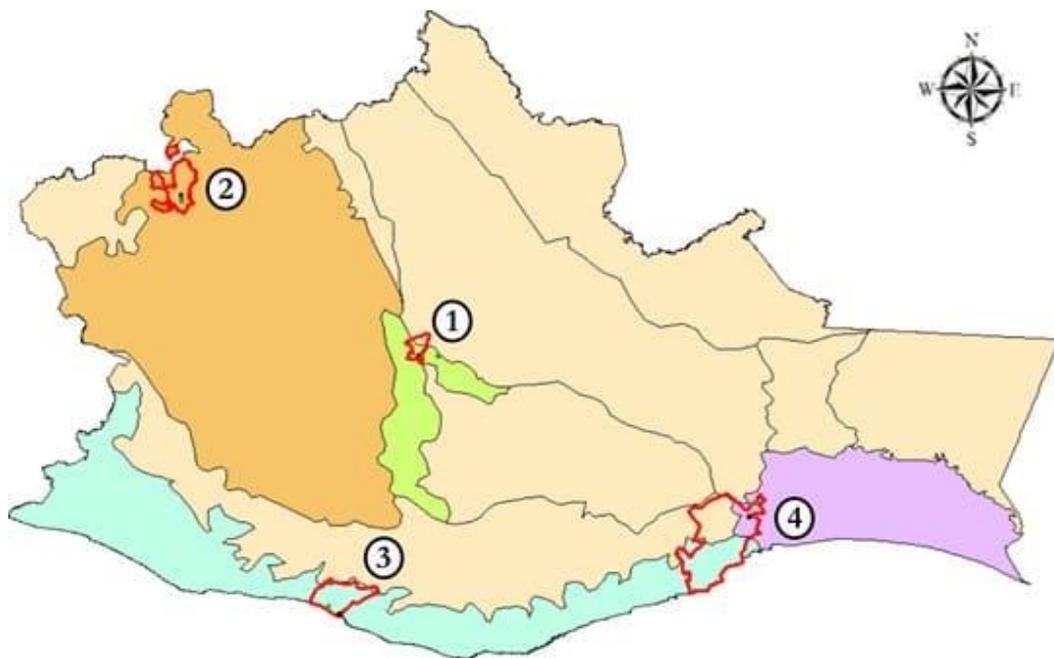


Figura 1. Sitios de estudio dentro de las ocho regiones fisiográficas del estado de Oaxaca. 1) Oaxaca (región Valles Centrales de Oaxaca), 2) Huajuapán (región Montañas y Valles del Occidente), Puerto Escondido (región Planicie Costera del Pacífico), Tehuantepec (región Planicie Costera de Tehuantepec).

4. El paisaje urbano de Tehuantepec (región Planicie Costera de Tehuantepec) se localiza en el municipio de Santo Domingo Tehuantepec a 16°17' de latitud norte y 95°25' de latitud oeste a una altura de 55 msnm. Su temperatura media anual de 28.2°C y precipitación media aproximada es de 874.9 mm. con lluvias en primavera, verano y otoño. El paisaje rural se ubicó a un costado de la comunidad de Santa María Mixtequilla<sup>1</sup>.

El empleo de la estrategia de muestreo mediante ventanas permite reflejar la heterogeneidad de los paisajes urbanos y rurales y la comparación de su diversidad (Halffter y Rös, 2013). Cada ventana fue dividida en 16 celdas de 6.25 ha. La ventana rural fue establecida tomando en cuenta las características descritas por McIntyre & Hobbs (1999) para un paisaje relictual. El paisaje rural fue definido como área sin edificaciones ni procesos de urbanización en el que se encontraron áreas de pastoreo y zonas de cultivo. En ellos, los árboles son encontrados como cercas de protección, cortinas rompevientos o como organismos aislados.

Para este estudio, se consideró como un árbol a cualquier especie leñosa y arborescente con un solo tronco principal, o con varios tallos, que tienen una copa más o menos definida. A pesar de no ser considerados estrictamente árboles, esta definición incluye a organismos de la familia *Arecaceae* ya que su apariencia semeja el hábito de crecimiento columnar de los árboles y no presentan ramificaciones después de 1 metro de altura (FAO, 2010). Solo los árboles a partir de tres metros de altura o tres centímetros de diámetro a la altura del pecho (DAP) fueron incluidos. En los paisajes urbanos, se censaron solo los árboles ubicados sobre banquetas de vialidades (calles, avenidas, glorietas, camellones). Los

árboles ubicados en áreas verdes (parques, jardines públicos y privados, panteones) no fueron incluidos para identificación, solo su abundancia fue registrada a partir de la visualización de sus copas en imágenes satelitales y fueron definidos como árboles internos. En los paisajes rurales se registraron los árboles establecidos a la orilla de terrenos con cultivos, caminos, en riberas de ríos y las propiedades privadas a las que nos permitieron el acceso.

## **2.2 Estimación de la abundancia de organismos leñosos presentes en el área de estudio**

Se realizó un mosaico de imágenes satelitales *Google Earth*® para cada ventana con ayuda del programa SAS Planet191221<sup>2</sup>. En el paisaje rural, se llevó a cabo la digitalización de los individuos reconocidos tomando en cuenta las copas visibles de los árboles sobre las imágenes obtenidas. En el paisaje urbano, se realizó la identificación previa a nivel de familia, género o especie cuando fue posible con el programa *Google Earth Pro*® herramienta *Street View*. La fecha de las imágenes analizadas en la herramienta *Street View* de *Google Earth*® en Puerto Escondido y Huajuapán fueron agosto 2012 y para Tehuantepec, octubre 2012.

## **2.3 Determinación de la riqueza de especies leñosas presentes**

Con ayuda de un mapa impreso de los árboles previamente identificados y un mapa virtual .kml de la aplicación *Google My Maps*, al que se agregaron el archivo .shape de los puntos que representan los árboles previamente identificados y las ventanas de estudio, se realizaron recorridos a pie para verificar su presencia.

2. [https://bitbucket.org/sas\\_team/sas.planet.bin/downloads/](https://bitbucket.org/sas_team/sas.planet.bin/downloads/)

En esta fase de campo se llevó a cabo la confirmación de la identificación de la especie y su ubicación. Los árboles fueron georreferenciados con un GPS Garmin eTrex10, registrados con un número de identificación específico (ID) para después convertirlos en un archivo .shape vectorial de puntos en el programa ArcGIS® versión 10.3. El periodo de campo se realizó de enero 2019 a julio 2019. Aquellos que presentaron estructuras reproductivas fueron identificados con ayuda de guías de campo (Rodríguez y Cohen, 2003; Zurita y Elizondo, 2009; CONABIO, 2012; Ibarra-Manríquez *et al.*, 2015) y literatura especializada como Calderón y Rzedowski (2001) y los Fascículos de la Flora de Tehuacán-Cuicatlán<sup>3</sup>. Estas fueron clasificadas como introducidas y nativas. Además, se contó con el apoyo de habitantes que se encontraban en los sitios de estudio, del M. C. Ernesto Hernández Santiago del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), del Ing. César Chávez Rendón del Jardín Etnobotánico de Oaxaca y de compañeros colegas del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Oaxaca (CIIDIR). Para la verificación del nombre científico, la autoridad taxonómica y retroalimentar la información se empleó la página del *Missouri Botanical Garden*<sup>4</sup>, la página de Naturalista<sup>5</sup> y las fichas informativas virtuales del proyecto “Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación”<sup>6</sup>. Las especies y sus datos de abundancia fueron registrados con la información de ID, celda, ventana, familia, género y especie identificada en campo y especie identificada en *Google Earth*.

3. [http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras\\_tehuacan/florastehuacan.htm](http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/floras_tehuacan/florastehuacan.htm)

4. <https://www.tropicos.org/home>

5. <https://www.naturalista.mx/>

6. [http://ixmati.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/inicio.pdf](http://ixmati.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/inicio.pdf)

## 2.4 Determinación y comparación de la diversidad

Los análisis de diversidad están basados en las fórmulas de diversidad propuestas por Jost (2007). Los valores de diversidad obtenidos fueron comparados a escala de celdas de 6.25 ha, entre ventanas de 1 km<sup>2</sup> presentes en la zona urbana y rural y finalmente entre zonas fisiográficas.

Se empleó la siguiente fórmula general de diversidad verdadera para obtener los perfiles de diversidad en sus diferentes órdenes:

$${}^qD = \left( \sum_{i=1}^s p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Donde:

D= Número efectivo o equivalente de especies

S= Riqueza de especies

Pi= Abundancia relativa

q= Orden de la diversidad, expresada en tres órdenes: q=0, q=1 y q=2.

El orden q=0 es insensible a las abundancias de las especies, es decir, es el número de especies (riqueza de especies). En el orden q=1, todas las especies son incluidas con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad. Y en el orden q=2 se da mayor peso a las especies más comunes o abundantes. El análisis de los datos se realizó en el programa estadístico PAST Versión 3.16 y el programa

R Studio v1.3.1056 (Rstudio, 2016) con el paquete Entropart (Marcon y Hérault, 2015)

Con los datos de abundancias totales y relativas se realizaron curvas de rango-abundancia. Para reconocer qué comunidad es la menos equitativa en valores fáciles de interpretar e independientes de la riqueza, se empleó el Factor de Inequidad Relativa (IF 0,2) y el Factor Logarítmico de Inequidad (RLI 0,2), que son medidas de dominancia basadas en los valores de orden  $q=0$  y  $q=2$  (Jost , 2010). Para identificar la similitud composicional entre los diferentes sitios de estudio se empleó el análisis de diversidad beta verdadera mediante  $\beta=\gamma/\alpha$  para obtener el número de comunidades efectivas o equivalentes. Además, se realizaron los diagramas clúster de similitud de los índices Jaccard y Morisita-Horn con el algoritmo de aglomeración de grupos pareados o ligamento promedio de la media aritmética (UPGMA), con la finalidad de responder preguntas acerca de la semejanza que existe entre los paisajes urbanos y rurales. El índice Jaccard considera el número de especies mientras que el de Morisita-Horn considera las abundancias.

## **2.5 Identificación de las especies leñosas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010.**

El listado de especies registradas en la zona de estudio fue comparado con los listados de las diferentes categorías de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) con la finalidad de identificar si algún paisaje, urbano o rural, contribuye a la conservación de las especies.

## **2.6 Registro de organismos asociados**

Se registró la presencia de organismos y se realizaron fotografías durante la toma de medidas e identificación de los organismos leñosos y arborescentes en los paisajes urbanos y rurales. Para el caso de plagas, se siguieron los pasos de diagnóstico propuestos en el folleto acerca de los problemas causados por plagas y enfermedades (ISA, 2006) y se empleó la guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles (Boa, 2008) en el reconocimiento e interpretación de síntomas y daños.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Visión general de la distribución de las especies

En total, se registraron 9824 árboles pertenecientes a 42 familias, 92 géneros y 116 especies en las cuatro regiones fisiográficas. En todos los paisajes, el número de especies fue m varió entre los paisajes urbanos, rurales o ambos (Figura 2). El mayor número de especies se presentó en Oaxaca (59 especies) seguido por Tehuantepec (58 especies), Puerto Escondido (56 especies) y finalmente, Huajuapán (41 especies).

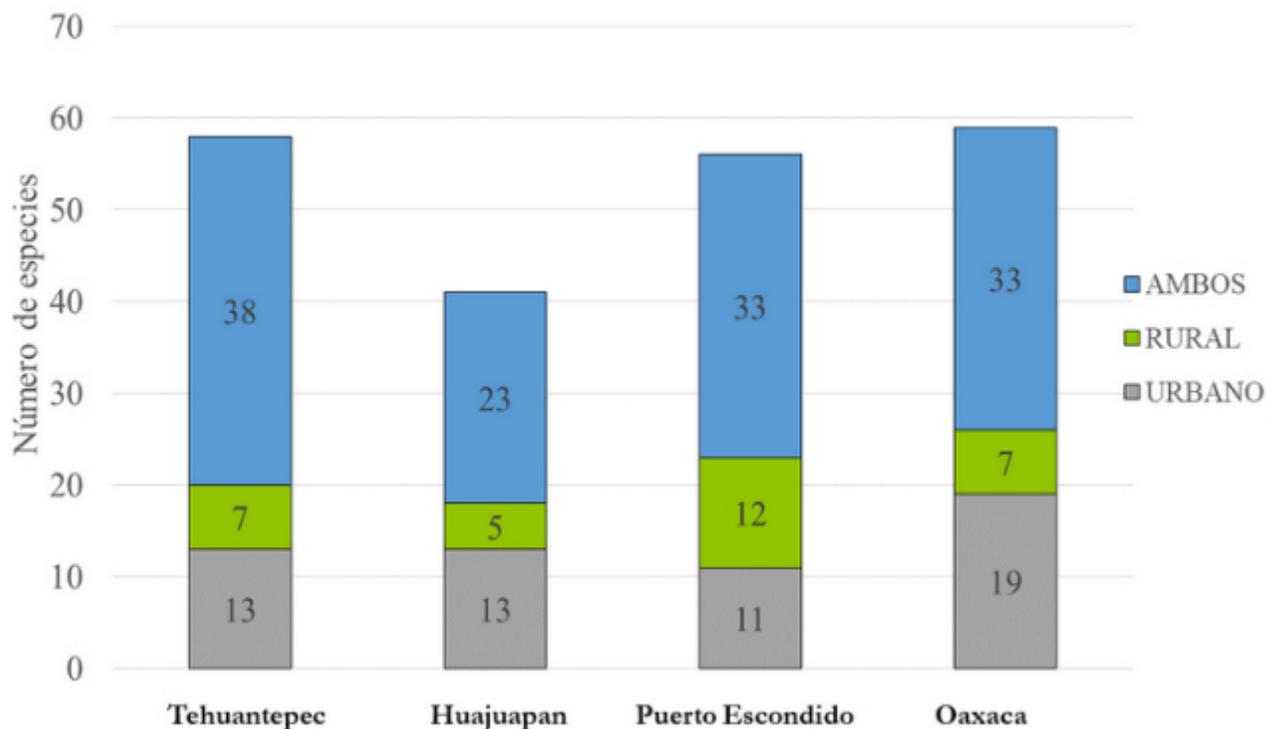


Figura 2. Distribución de las especies registradas en los cuatro sitios de acuerdo con su presencia exclusiva en los paisajes urbanos, rurales o ambos.

Casi el 50% de las especies se restringieron a una sola región fisiográfica y solo el 10% de las especies se distribuyeron en las cuatro regiones (Figura 3). De este 10%, tres especies fueron nativas como *Pithecellobium dulce* (guamúchil), *Leucaena leucocephala* (Guaje) y *Ehretia tinifolia* (Mandimbo) y el resto correspondió a especies introducidas como *Bauhinia variegata* (Pata de vaca), *Cupressus sempervirens* (Ciprés), *Terminalia catappa* (Almendro) y *Citrus limon* (Limón). De las especies que se registraron en una sola región, los paisajes de Oaxaca presentaron la mayor riqueza, seguida por Tehuantepec, Huajuapán y Puerto Escondido.

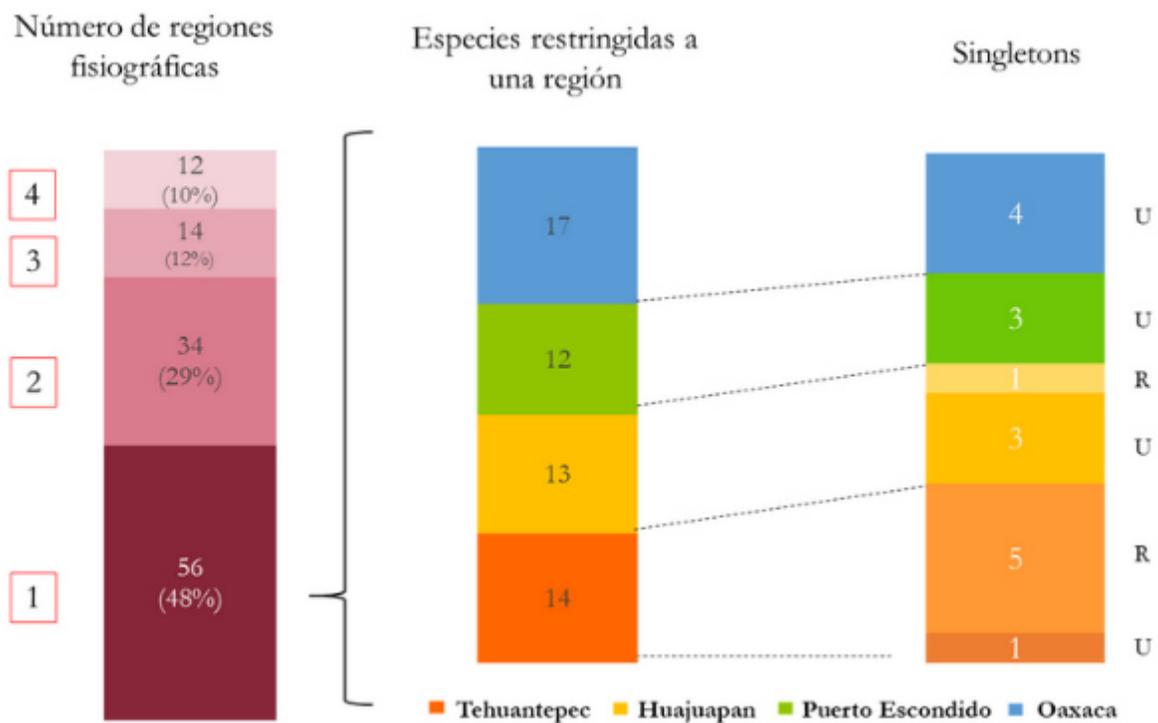


Figura 3. Distribución de las especies en las cuatro regiones fisiográficas analizadas.

### 3.1.1 Familias, especies y géneros registrados en los paisajes urbanos y rurales

En general, el número de familias, géneros y especies registradas en los paisajes urbanos fue mayor que los paisajes rurales. En cuanto el número de familias, en el paisaje urbano de Oaxaca se registró el mayor número con 25 familias mientras que en el paisaje rural de Huajuapán se registró el menor con ocho familias (Figura 4).

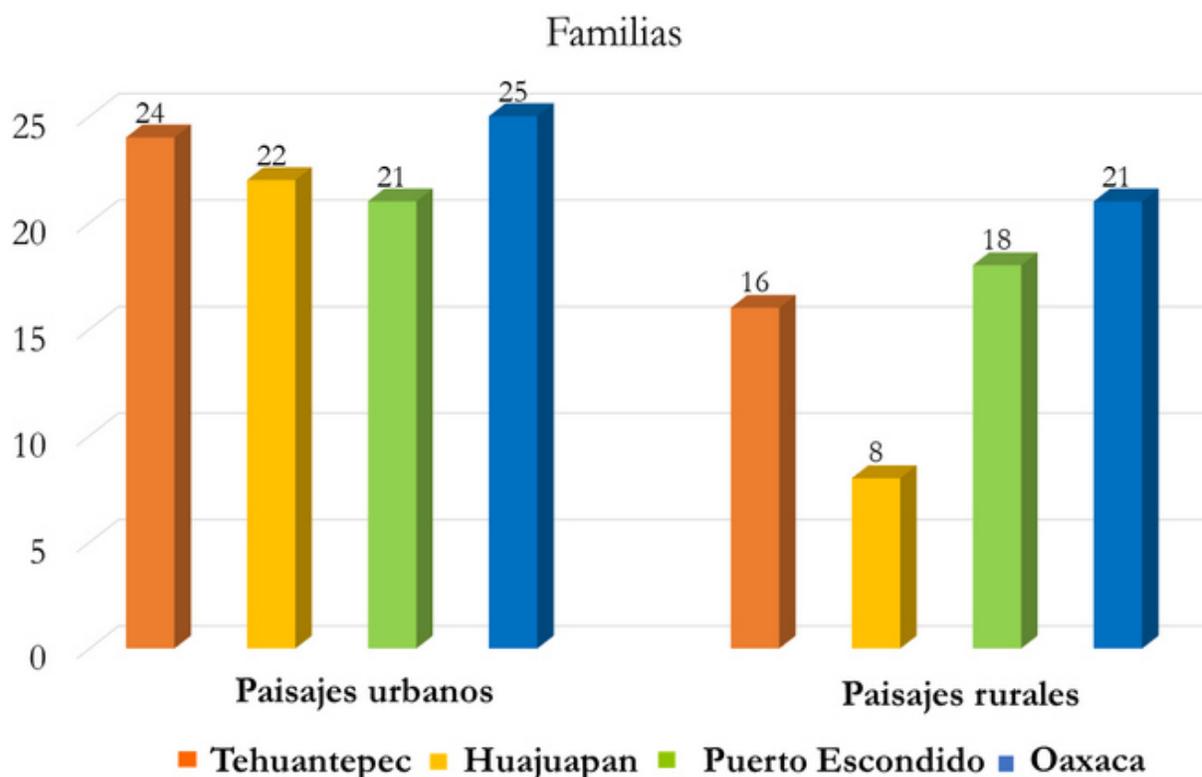


Figura 4. Familias registradas en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca

El mayor número de géneros registrados se reportó para el paisaje urbano de Tehuantepec con 43 y el menor en el paisaje rural de Huajuapán con 13 (Figura 5). El mismo caso se registró en cuanto al número de especies ya que en el paisaje

urbano Tehuantepec se registraron 47 especies y en el paisaje rural de Huajuapán 13 especies (Figura 6)

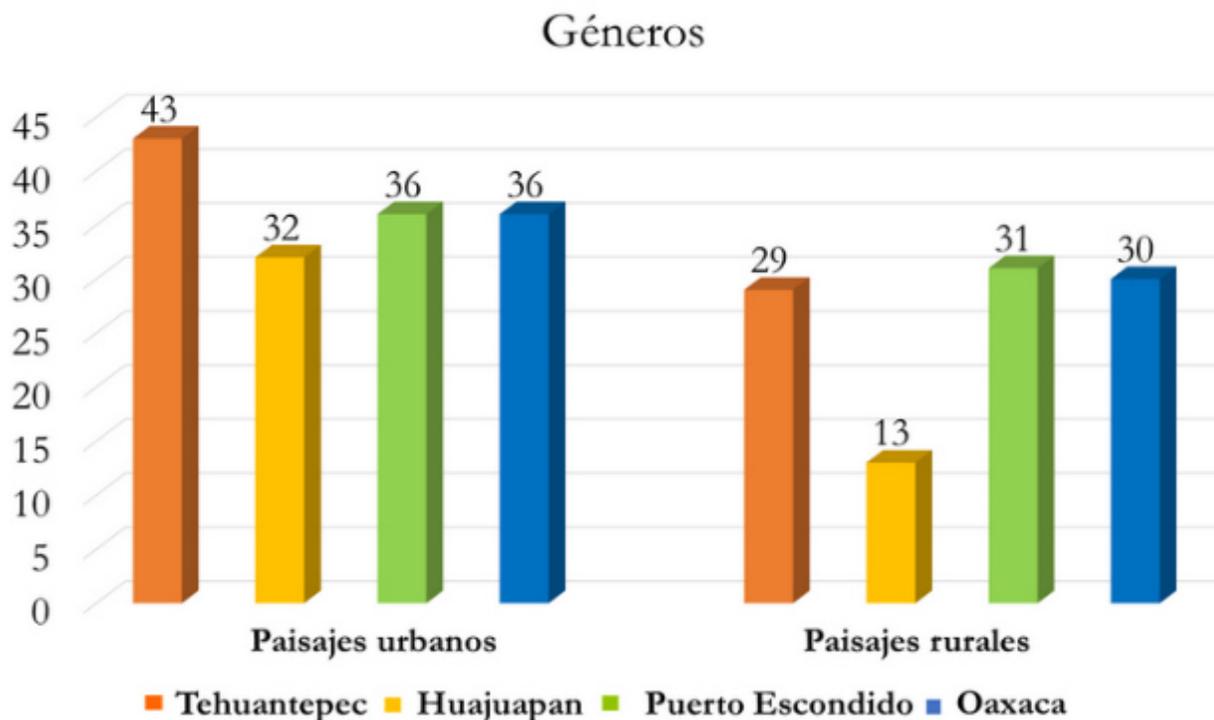


Figura 5. Géneros registrados en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca

Las especies más abundantes en el paisaje urbano de Tehuantepec fueron *Terminalia catappa* (Almendra), *Melicoccus bijugatus* (Guaya) y *Ficus benjamina* (Ficus). Para el paisaje rural, las especies más abundantes fueron *Cocos nucifera* (Palmera de coco), *Pithecellobium dulce* (Guamúchil) y *Mangifera indica* (Mango). Esta última especie es sembrada en relación con las palmeras de coco linealmente a las orillas de terrenos cultivados como cercas vivas y para el aprovechamiento de los frutos.

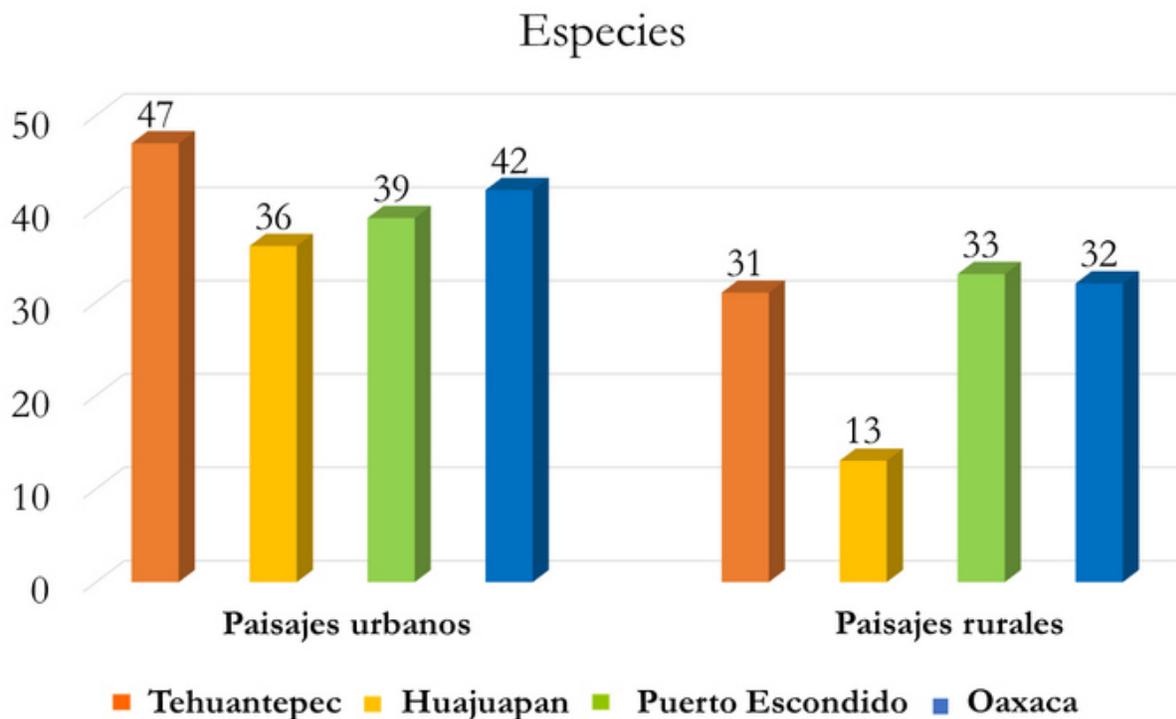


Figura 6. Número de especies registradas en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca

En el paisaje urbano de Huajuapán la especie más abundante fue *Ficus benjamina* (Ficus), seguida por *Cupressus sempervirens* (Ciprés) y *Ehretia tinifolia* (Mandimbo). En el paisaje rural, las especies más abundantes fueron *Prosopis juliflora* (Mezquite), *Acacia bilimekii* (Espino) e *Ipomoea arborescens* (Casahuate).

En el paisaje urbano de Puerto Escondido, las más abundantes fueron *Terminalia catappa* (Almendro), *Cocos nucifera* (Palmera de coco) y *Azadirachta indica* (Árbol Neem). En el paisaje rural, la especie más abundante fue *Guazuma ulmifolia* (Caulote), seguida por *Jatropha curcas* (Piñón) y *Cordia dentata* (Zazañil). En este paisaje, los árboles son empleados como cercas vivas o son sembrados linealmente alrededor de terrenos cultivados.

Por otro lado, en el paisaje urbano de Oaxaca las especies más abundantes fueron *Fraxinus uhdei* (Fresno), *Tabebuia rosea* (Macuil rosa) y *Tabebuia donnell-smithii* (primavera). Para el paisaje rural las especies más abundantes fueron *Pithecellobium dulce* (Guamúchil), *Ipomoea murucoides* (Casahuate) y *Heliocarpus terebinthinaceus* (Yaco).

### 3.1.2 Abundancia de árboles en los paisajes urbanos y rurales

En general, todas las ventanas de los paisajes rurales presentaron mayor abundancia de árboles que los paisajes urbanos (Figura 7). De los paisajes urbanos, Puerto Escondido registró la mayor abundancia de árboles y la menor se registró en

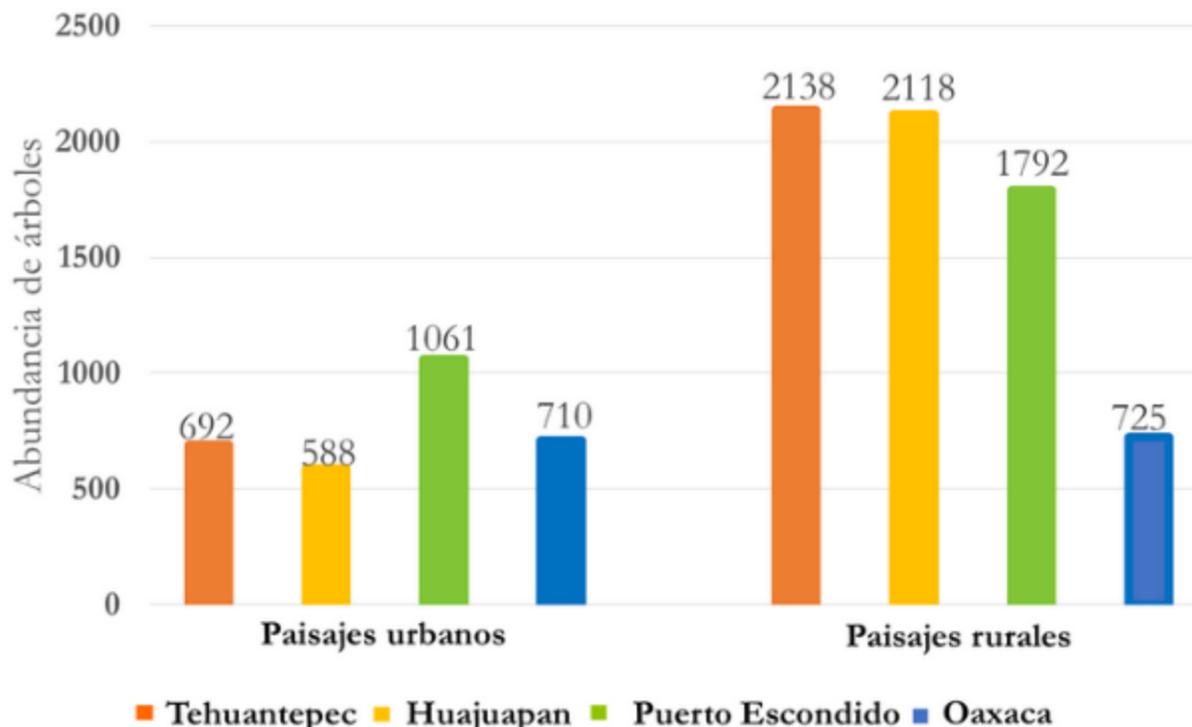


Figura 7. Abundancia de árboles en los paisajes urbanos y rurales del estado de Oaxaca

Huajuapán. Por su parte, en los paisajes rurales, Tehuantepec registró la mayor abundancia mientras que la menor lo fue en Oaxaca.

En Tehuantepec, la mayor abundancia de árboles en el paisaje urbano se presentó en la celda 4, con 100 organismos pertenecientes a 27 especies y el menor fue la celda 12, con 17 árboles pertenecientes a 8 especies (Figura 8). Por su parte, el paisaje rural presentó la mayor abundancia en la celda 3, con 285 árboles

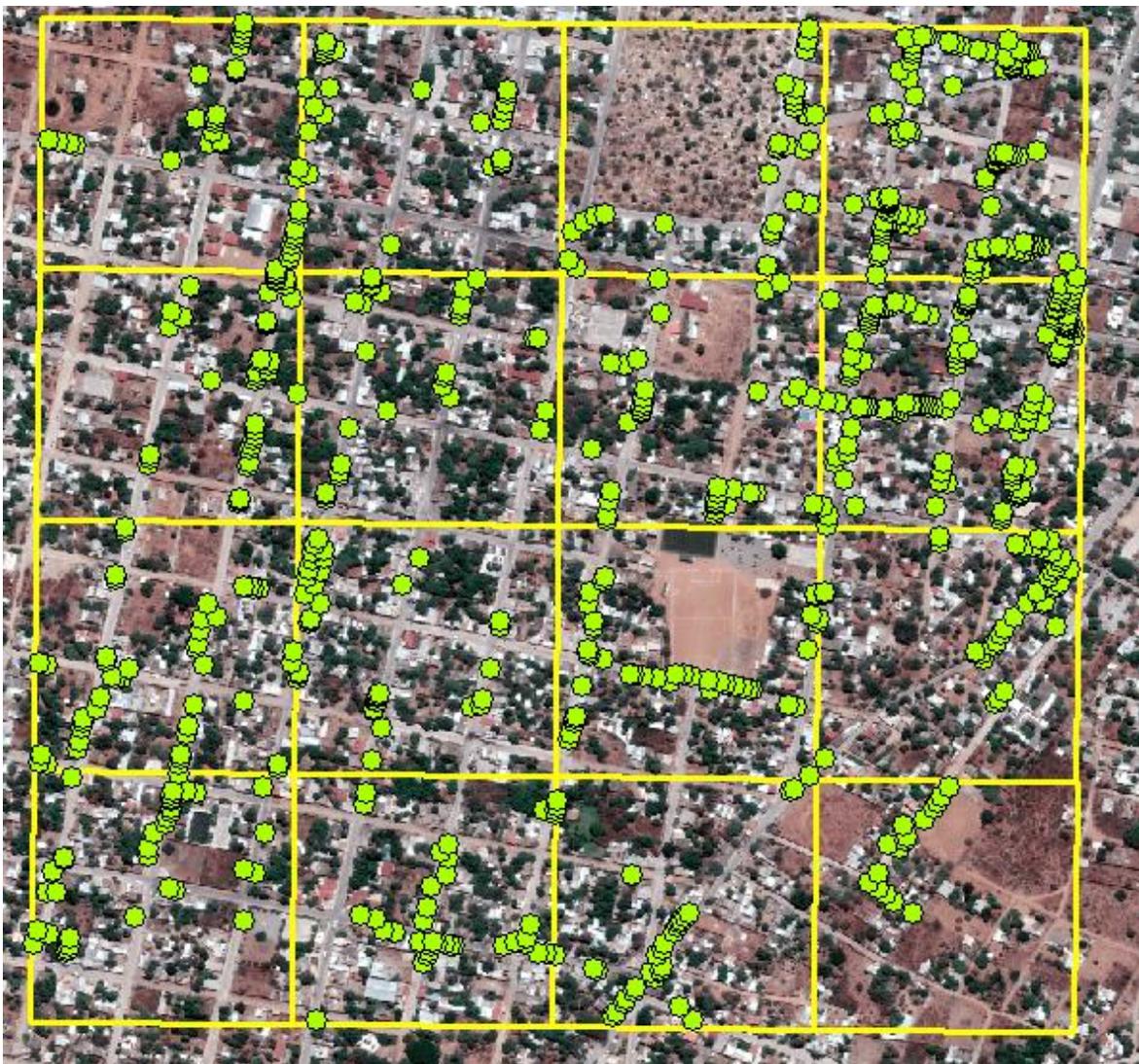


Figura 8. Distribución de los árboles registrados en el paisaje urbano de Tehuantepec en las celdas de 6.25 ha.

pertenecientes a 10 especies y el menor, la celda11, con 25 árboles de 4 especies (Figura 9).



Figura 9. Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Tehuantepec en las celdas de 6.25 ha.

Para Huajuapán, la mayor abundancia de árboles en el paisaje urbano se presentó en la celda 11, con 85 árboles pertenecientes a ocho especies mientras que el menor fue la celda 7, con tres árboles de una especie (Figura 10). Por su parte, el paisaje rural presentó la mayor abundancia en la celda 4, con 261 árboles pertenecientes a seis especies y la menor abundancia en la celda 5 con 48 árboles de seis especies (Figura 11).

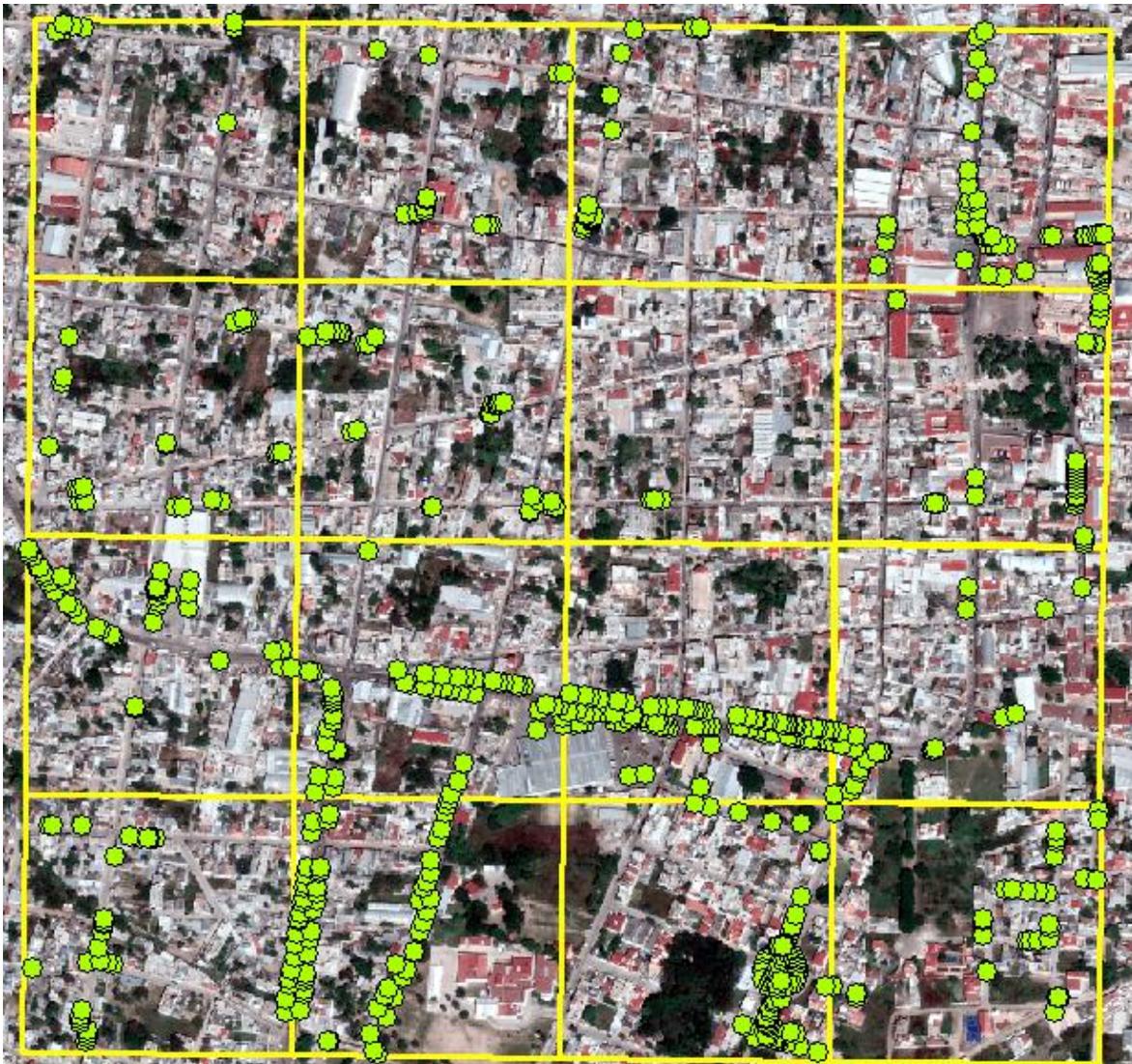


Figura 10. Distribución de los árboles registrados en el paisaje urbano de Huajuapán en las celdas de 6.25 ha.



Figura 11. Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Huajuapán en las celdas de 6.25 ha.

En Puerto Escondido, la mayor abundancia de árboles en el paisaje urbano se presentó en la celda 1, con 229 organismos pertenecientes a 17 especies y el menor fue la celda 8, con 17 árboles de siete especies (Figura 12). Por su parte, el paisaje rural presentó la mayor abundancia en la celda 8, con 229 árboles pertenecientes a 13 especies y el menor, la celda 14, con 18 árboles de tres especies (Figura 13).

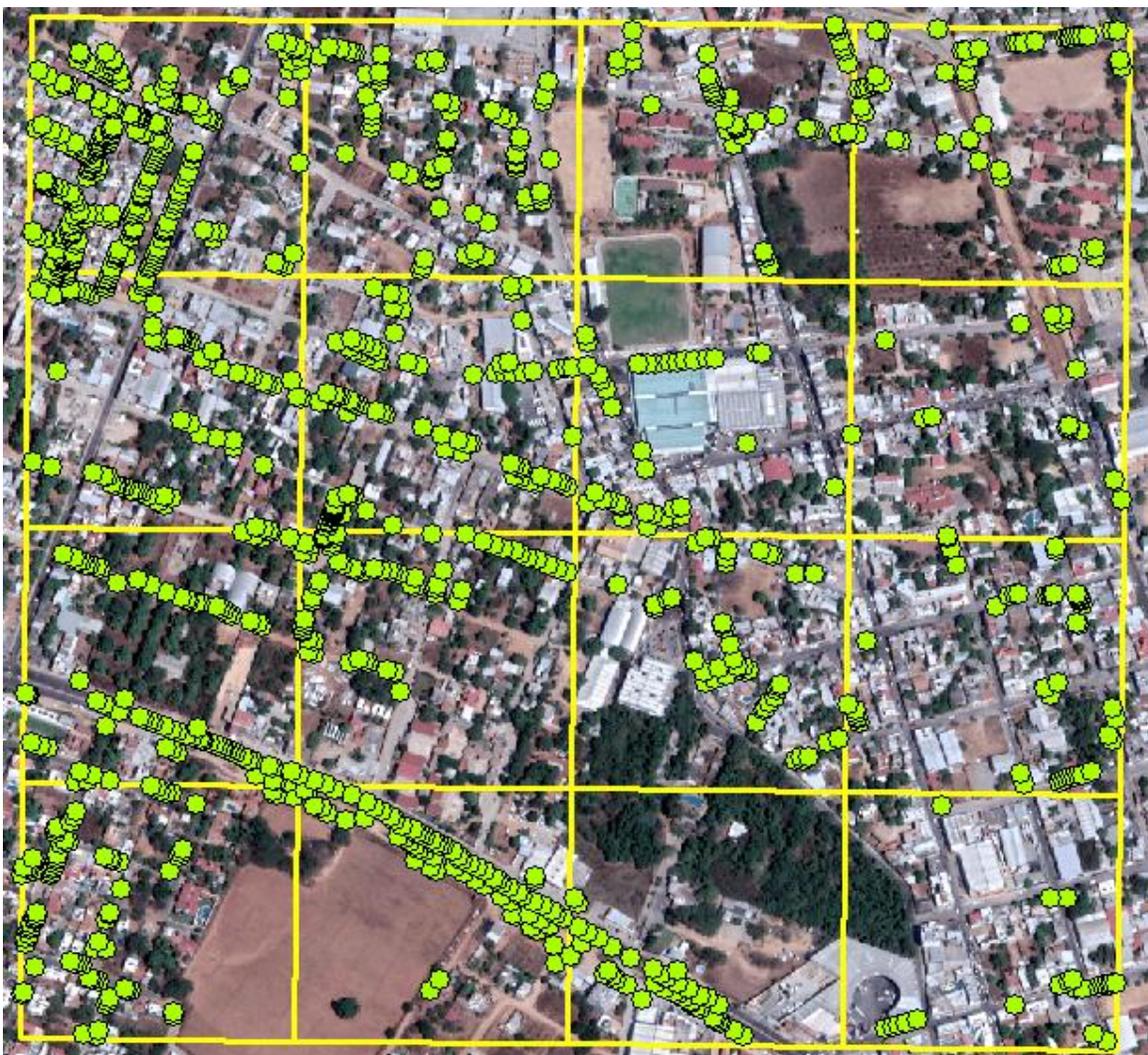


Figura 12. Distribución de los árboles registrados en el paisaje urbano de Puerto Escondido en las celdas de 6.25 ha.

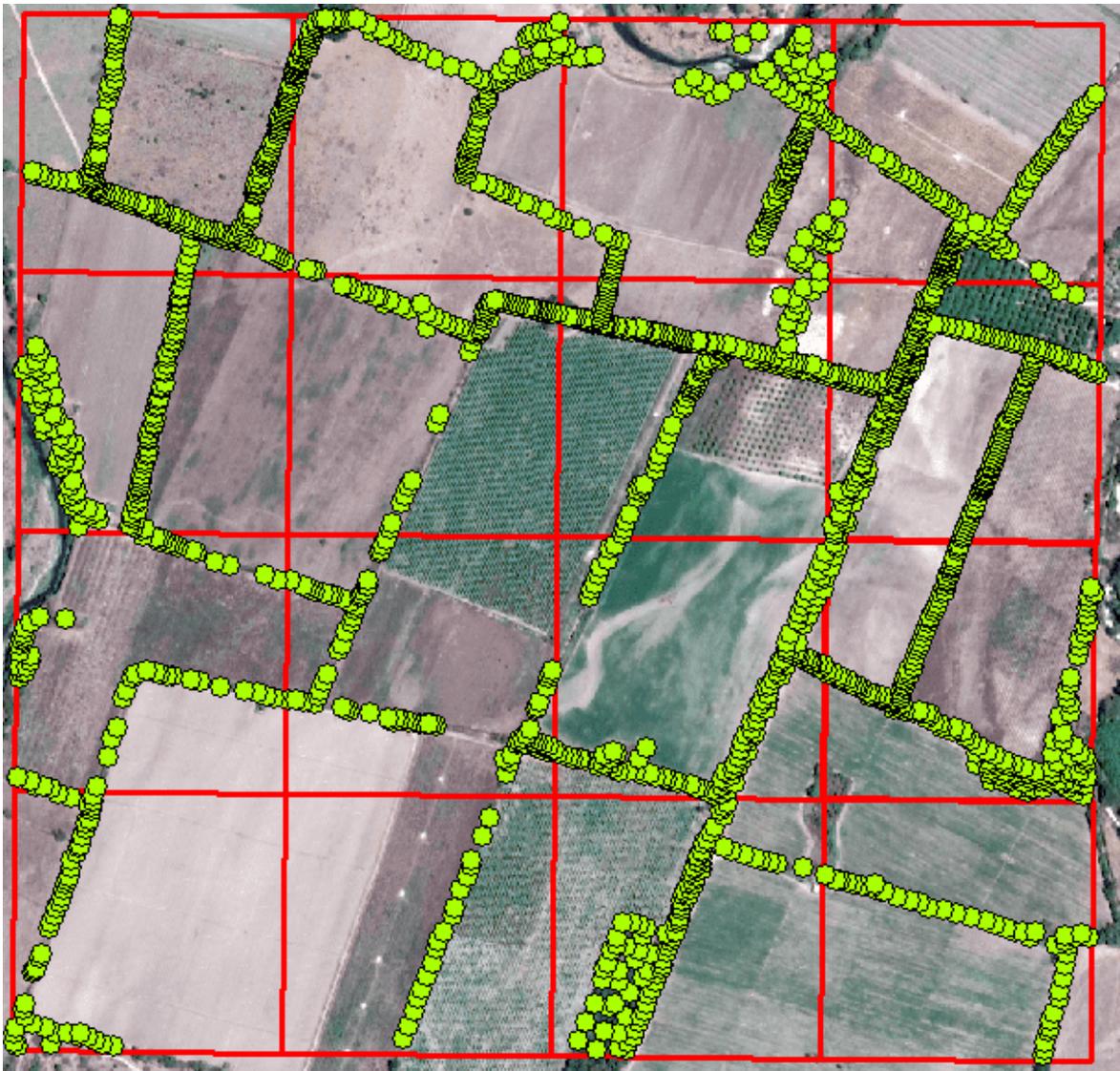


Figura 13. Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Puerto Escondido en las celdas de 6.25 ha.

Finalmente, en el paisaje urbano de Oaxaca, la mayor abundancia de árboles se presentó en la celda 2, con 87 organismos pertenecientes a 24 especies y el menor fue la celda 13, con un árbol de la especie *Ficus microcarpa* (Figura 14). Por su parte, el paisaje rural presentó la mayor abundancia en la celda 5, con 118 árboles

pertenecientes a ocho especies y el menor, la celda10, con cinco árboles de dos especies (Figura 15).

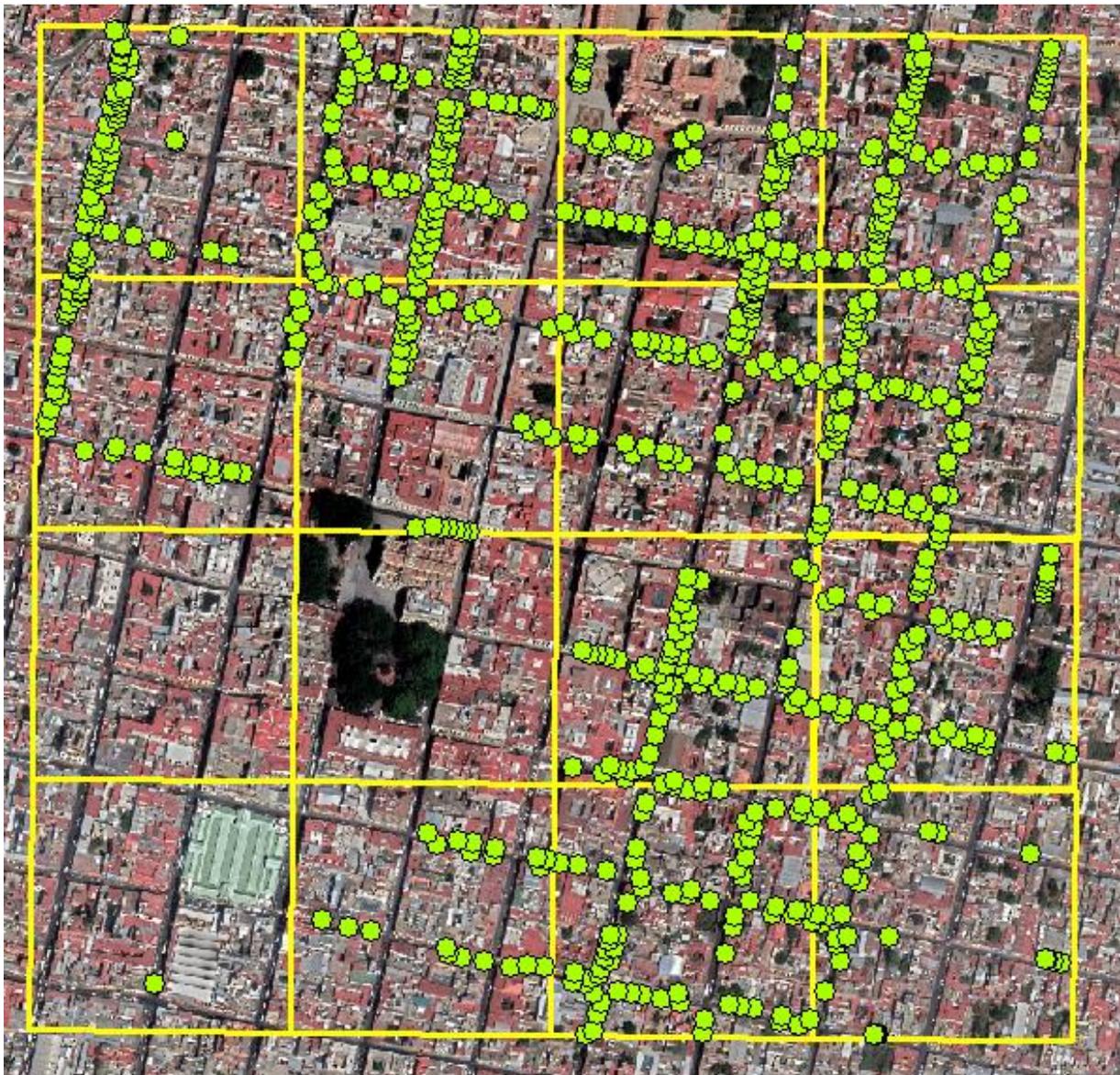


Figura 14. Distribución de los árboles registrados en el paisaje urbano de Oaxaca en las celdas de 6.25 ha.

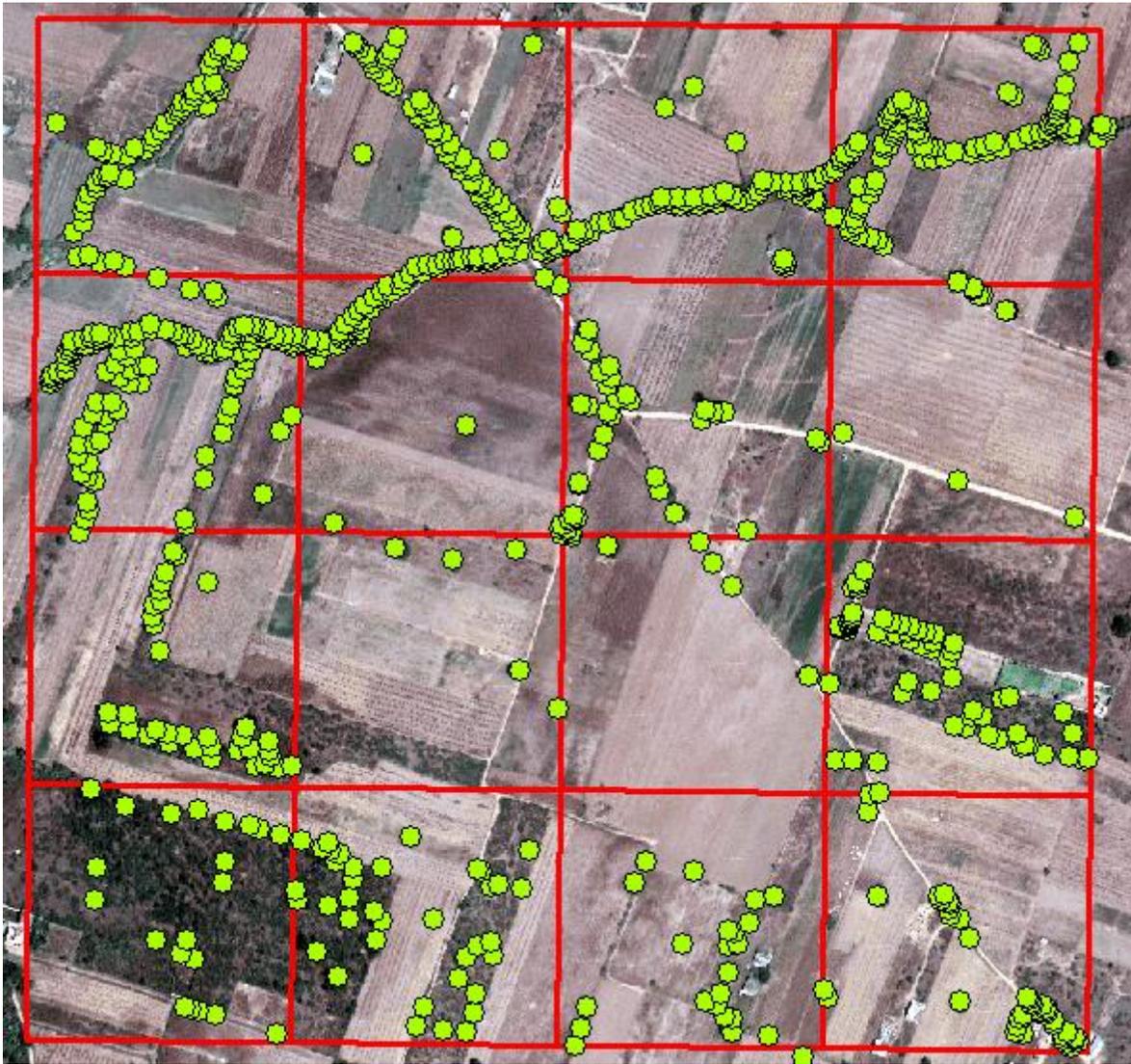


Figura 15. Distribución de los árboles registrados en el paisaje rural de Oaxaca en las celdas de 6.25 ha.

Por otro lado, debido a que no siempre es viable acceder a los árboles pertenecientes a propiedades privadas, se llevó a cabo el marcaje en los paisajes urbanos de los árboles internos visibles en imágenes satelitales. De los paisajes rurales, solo en Puerto Escondido no fue posible acceder a un terreno privado cerrado donde se avistaron especies de árboles frutales. Por lo tanto, si se considera la abundancia de los árboles internos, los paisajes urbanos cuentan ahora con mayor abundancia de árboles en comparación con los paisajes rurales (Figura 16).

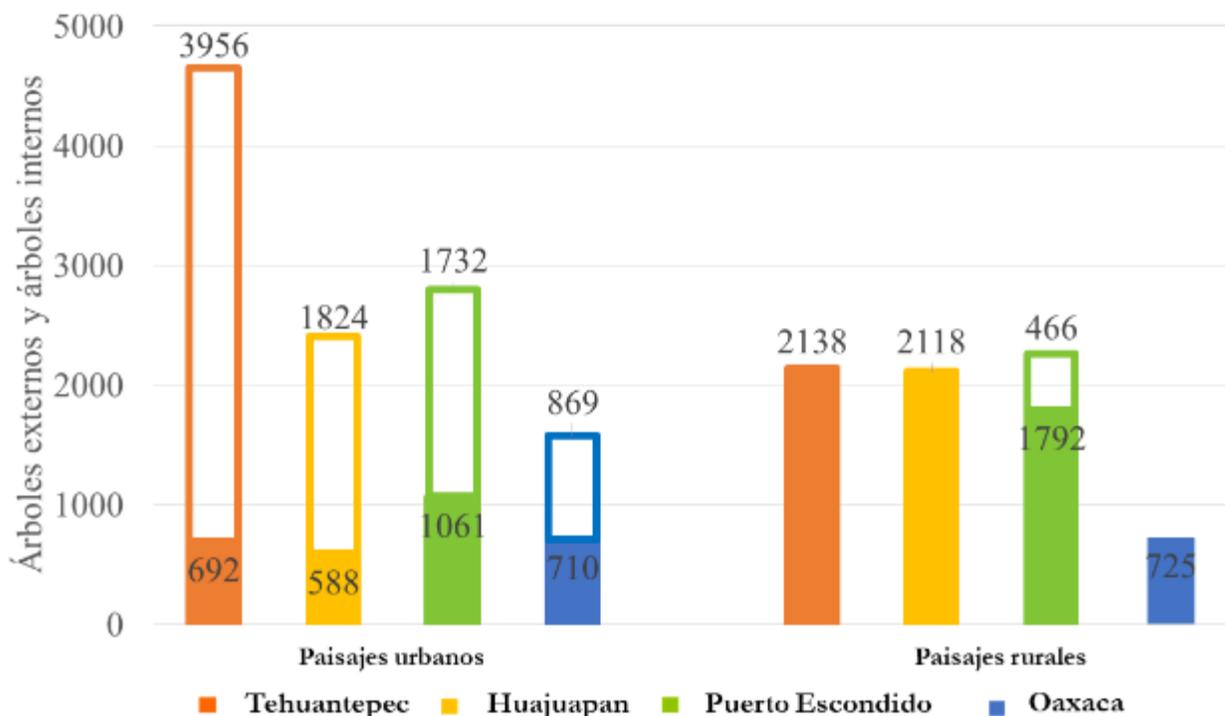


Figura 16. Árboles externos y árboles internos en los paisajes urbanos y rurales.

En cuanto a la distribución de los árboles internos dentro de las celdas de 6.25 ha en Tehuantepec, Puerto Escondido y Huajuapán, se observa una distribución uniforme a lo largo de todas las celdas (Figura 17, 18 y 19) mientras que, en el paisaje de Oaxaca se observan celdas con mayor y otros con menor abundancia de árboles (Figura 20).

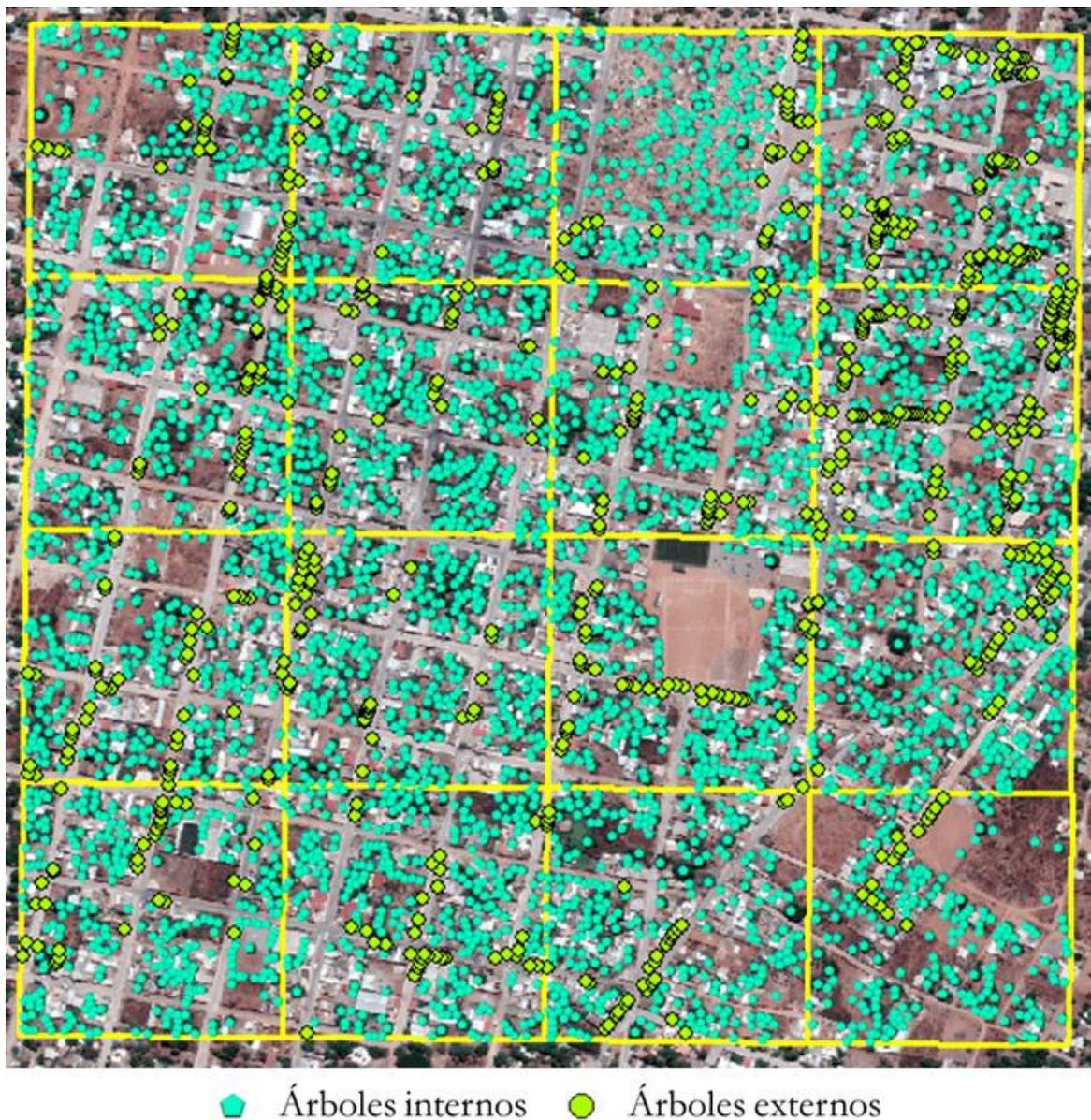


Figura 17. Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Tehuantepec en las celdas de 6.25 ha.

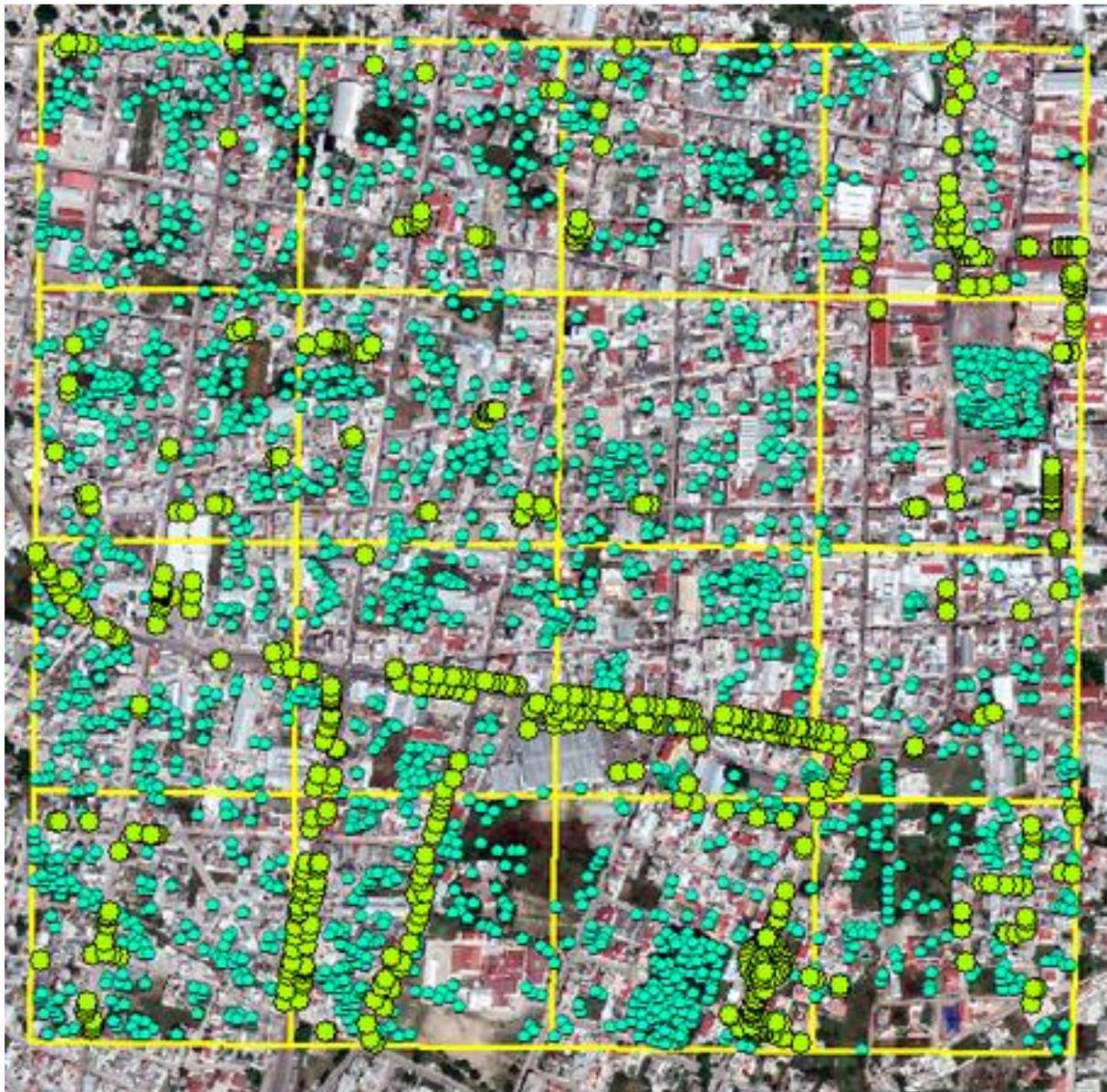


Figura 18. Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Huajuapán en las celdas de 6.25 ha.



◆ Árboles internos    ● Árboles externos

Figura 19. Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Puerto Escondido en las celdas de 6.25 ha.

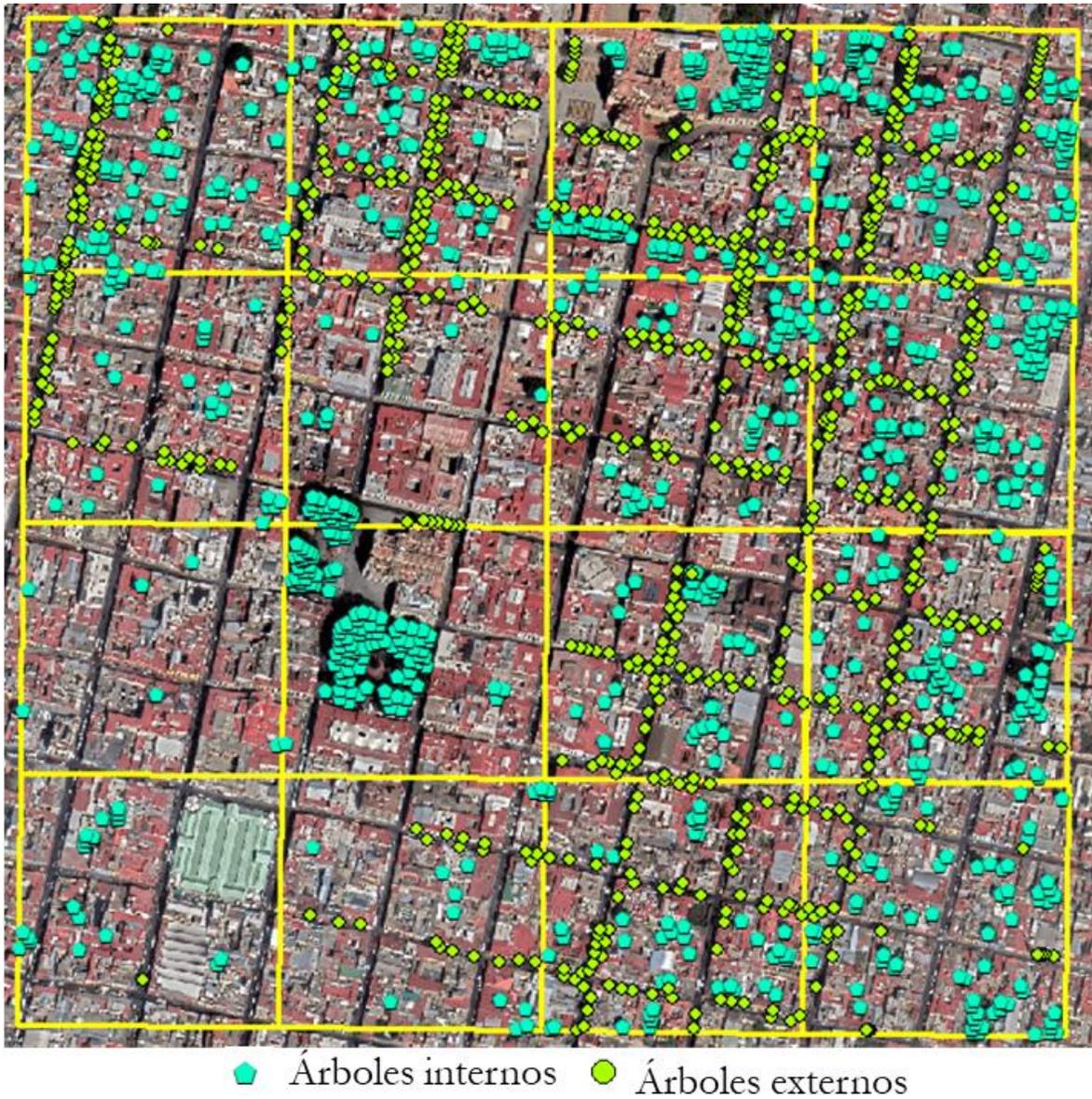


Figura 20. Distribución de los árboles internos y externos registrados en el paisaje urbano de Oaxaca en las celdas de 6.25 ha.

### 3.1.3 Especies nativas e introducidas en los paisajes urbanos y rurales

Del total de especies reportadas en las cuatro regiones, el porcentaje de especies introducidas exclusivas de los paisajes urbanos (18.4%) fue mayor que el porcentaje de nativas (12.9%). Caso contrario en las especies encontradas solo en los paisajes rurales donde el porcentaje de nativas (16.4%) fue mayor que el de introducidas (6.9%). Para las especies que se presentaron en ambos paisajes, los porcentajes fueron ligeramente mayores en las especies introducidas (Figura 21).

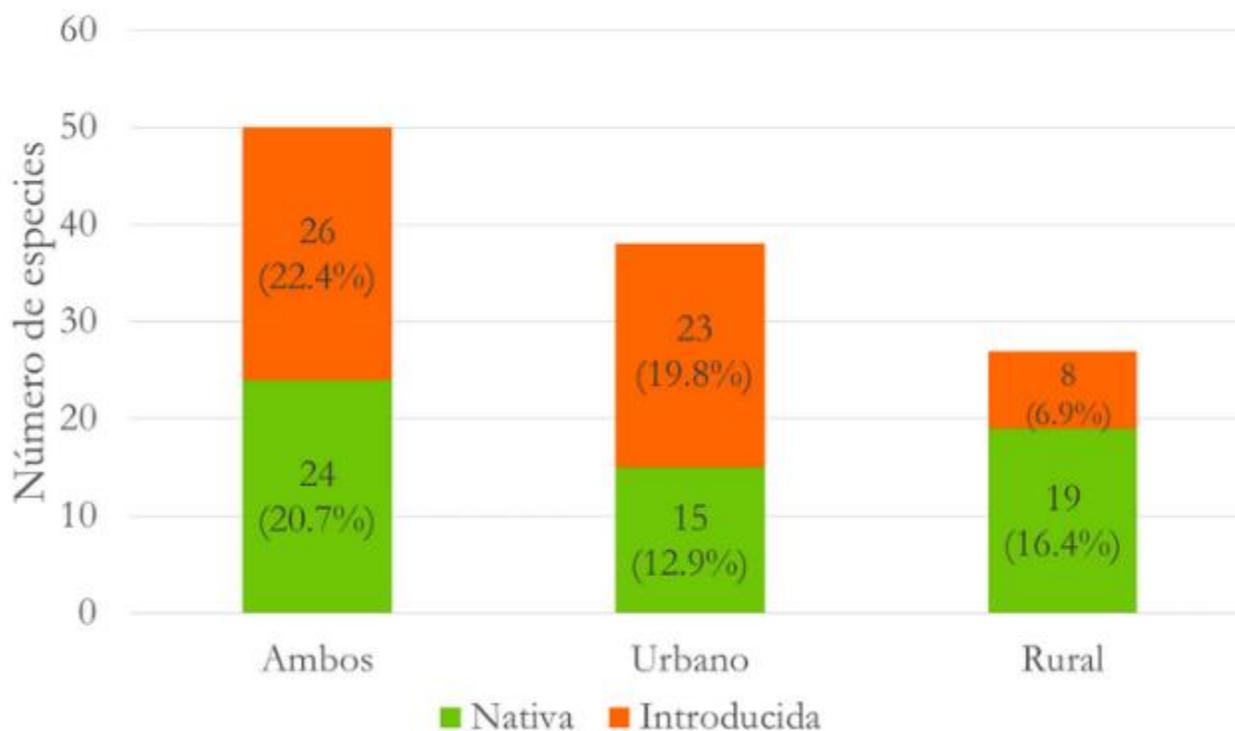


Figura 21. Distribución de las especies nativas e introducidas de acuerdo con su presencia exclusiva en paisajes urbanos, rurales y ambos.

En cuanto a la abundancia en los paisajes rurales, más del 80% de los árboles registrados perteneció a especies nativas. Por su parte, los paisajes urbanos presentaron más del 60% de los árboles de especies nativas mientras que el resto pertenecieron a especies introducidas. Finalmente, la abundancia de árboles nativos fue casi similar a la de los introducidos con una tendencia mayor a la de los nativos en los árboles que se presentaron en ambos paisajes (Figura 22).

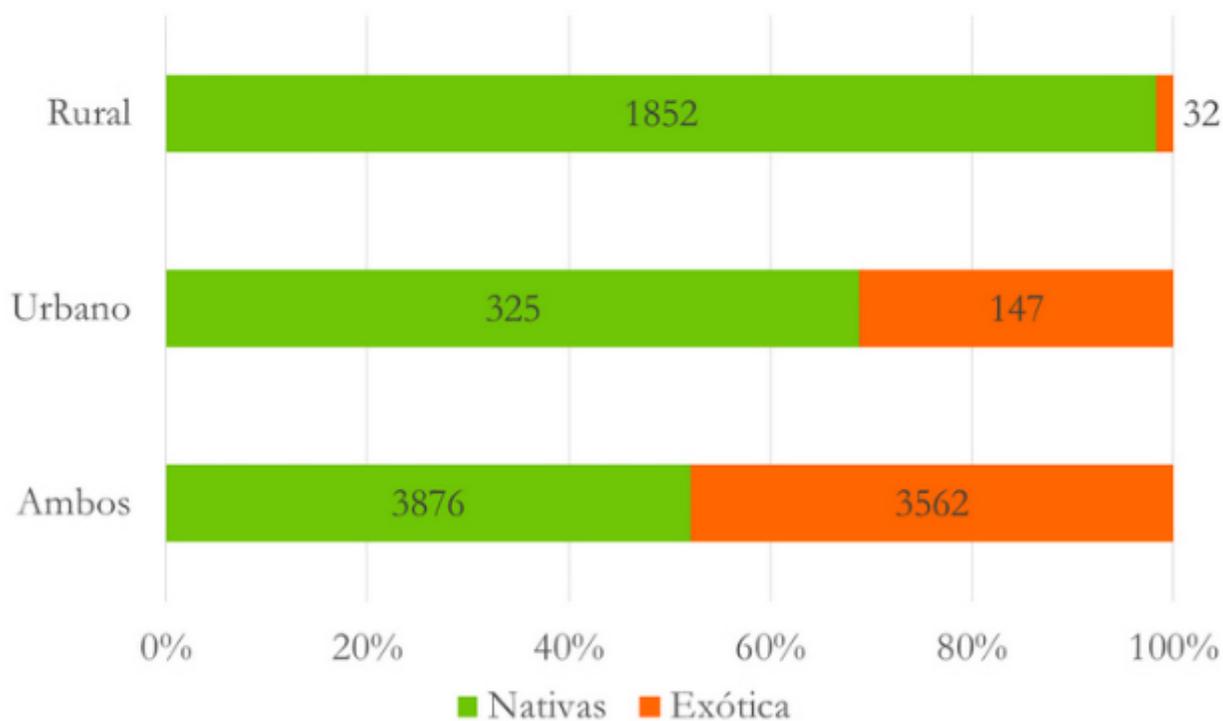


Figura 22. Abundancia de árboles nativos e introducidos de acuerdo con su presencia exclusiva en paisajes urbanos, rurales y ambos.

En general, en los paisajes urbanos, se registró mayor número de especies introducidas que nativas en todos los paisajes urbanos (Figura 23). En Tehuantepec, Huajuapán y Oaxaca se reportaron 24 especies introducidas, mientras que en Puerto Escondido se registró el menor número con 20 especies.

Por otro lado, en todos los paisajes rurales se presentó mayor número de especies nativas. Tehuantepec presentó la mayor riqueza de especies nativas y la menor se registró en Huajuapán (Figura 24).

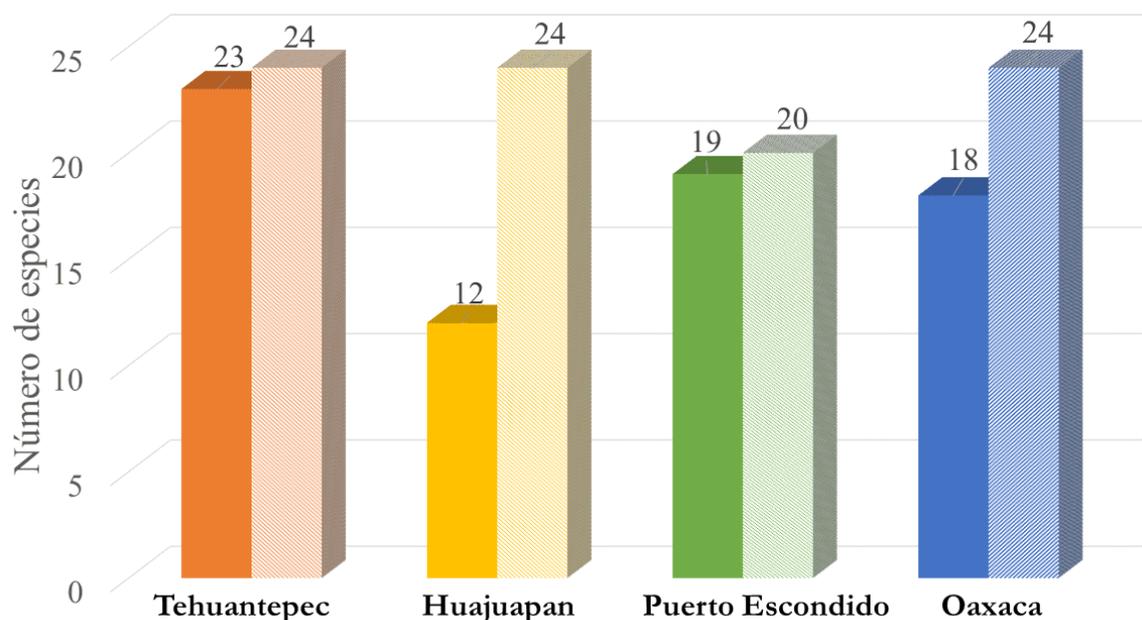


Figura 23. Número de especies nativas e introducidas presentes en los paisajes rurales. Color sólido representa especies nativas y color trama a rayas a las especies introducidas.

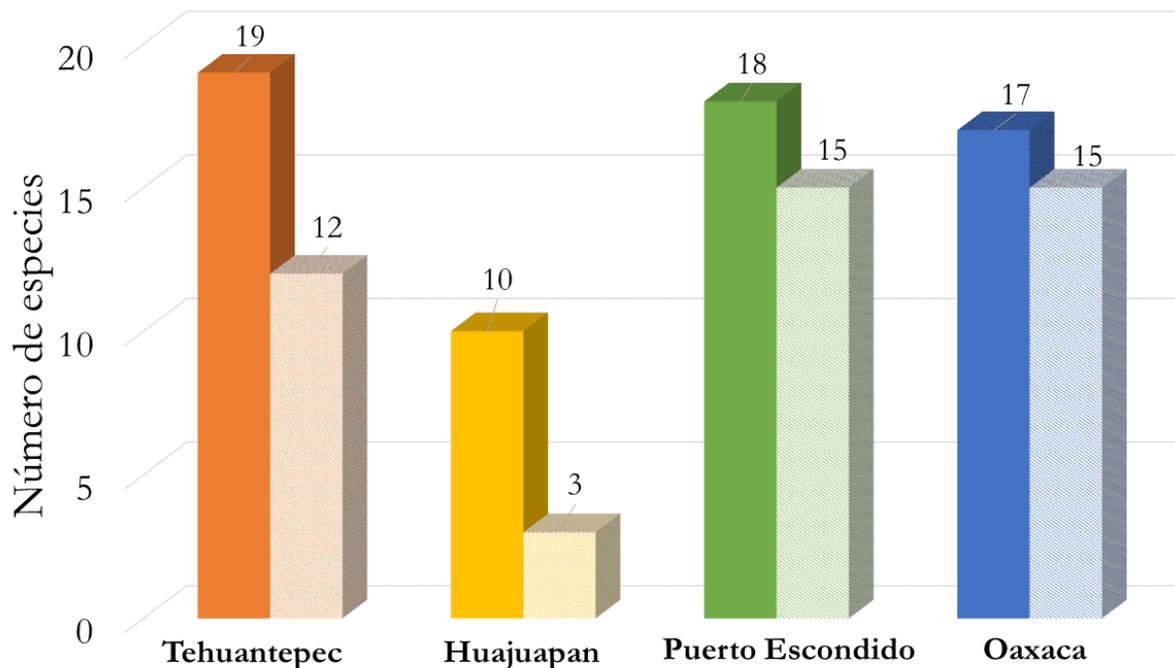


Figura 24. Número de especies nativas e introducidas presentes en los paisajes urbanos. Color sólido representa especies nativas y color trama a rayas a las especies introducidas.

Finalmente, en cuanto a la abundancia de las especies en los paisajes rurales, se registró más del 80% de árboles de especies nativas en comparación con los paisajes urbanos, excepto en Tehuantepec, donde se presentó más del 60% de árboles introducidos. Por otro lado, la abundancia de árboles nativos fue menor en todos los paisajes urbanos, con más del 60% del arbolado representado por especies introducidas, excepto en Oaxaca, donde se presentó más del 60% de árboles nativos (Figura 25 y 26).

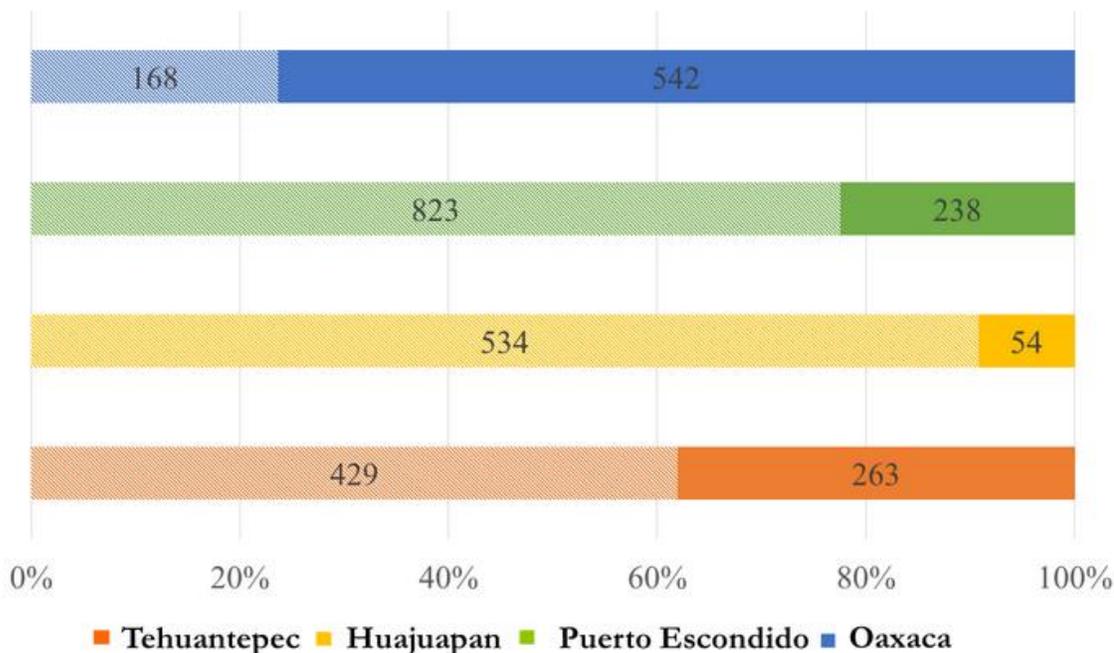


Figura 25. Abundancia de árboles nativos e introducidos en los paisajes urbanos. . Color sólido representa especies nativas y color trama a rayas a las especies introducidas.

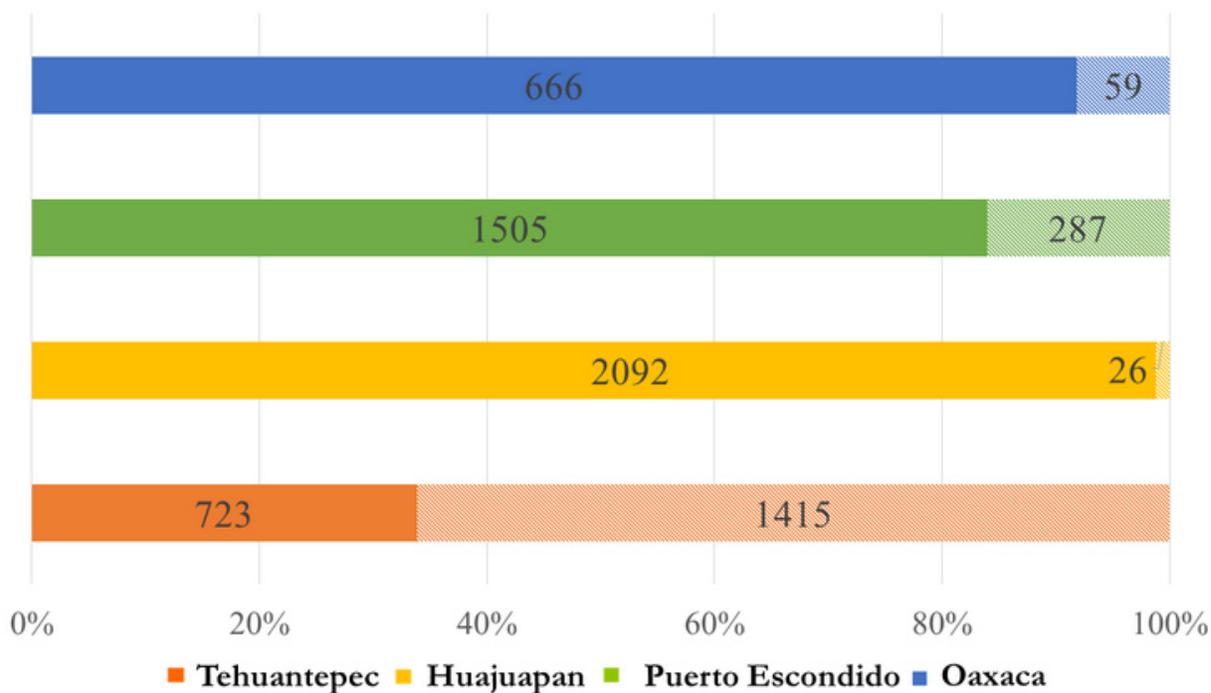


Figura 26. Abundancia de árboles nativos e introducidos en los paisajes rurales. Color sólido representa especies nativas y color trama a rayas a las especies introducidas.

Las especies con mayor abundancia relativa variaron entre paisajes urbanos y rurales. Sin embargo, la especie *Ficus benjamina* se registró como una de las diez especies más abundantes en todos los paisajes urbanos (Cuadro 1), mientras que en todos los paisajes rurales lo fue la especie *Pithecellobium dulce* (Cuadro 2).

Cuadro 1. Abundancias relativas de las especies más abundantes en los paisajes urbanos

Tehuantepec		Huajuapán		Puerto Escondido		Oaxaca	
<b>Combretaceae</b>		<b>Moraceae</b>		<b>Combretaceae</b>		<b>Oleaceae</b>	
<i>Terminalia catappa</i> Introducida	(0.244)	<i>Ficus benjamina</i> Introducida	(0.398)	<i>Terminalia catappa</i> Introducida	(0.336)	<i>Fraxinus uhdei</i> Nativa	(0.324)
<b>Sapindaceae</b>		<b>Cupressaceae</b>		<b>Arecaceae</b>		<b>Bignoniaceae</b>	
<i>Melicoccus bijugatus</i> Nativa	(0.098)	<i>Cupressus sempervirens</i> Introducida	(0.270)	<i>Cocos nucifera</i> Introducida	(0.153)	<i>Tabebuia rosea</i> Nativa	(0.265)
<b>Moraceae</b>		<b>Boraginaceae</b>		<b>Meliaceae</b>		<b>Bignoniaceae</b>	
<i>Ficus benjamina</i> Introducida	(0.065)	<i>Ehretia tinifolia</i> Nativa	(0.041)	<i>Azadirachta indica</i> Introducida	(0.092)	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Nativa	(0.048)
<b>Bignoniaceae</b>		<b>Moraceae</b>		<b>Anacardiaceae</b>		<b>Moraceae</b>	
<i>Tabebuia rosea</i> Nativa	(0.065)	<i>Ficus microcarpa</i> Introducida	(0.037)	<i>Mangifera indica</i> Introducida	(0.063)	<i>Ficus benjamina</i> Introducida	(0.035)
<b>Anacardiaceae</b>		<b>Bignoniaceae</b>		<b>Bignoniaceae</b>		<b>Proteaceae</b>	
<i>Mangifera indica</i> Introducida	(0.049)	<i>Jacaranda mimosifolia</i> Introducida	(0.036)	<i>Tabebuia rosea</i> Nativa	(0.045)	<i>Grevillea robusta</i> Introducida	(0.030)
<b>Rutaceae</b>		<b>Fabaceae</b>		<b>Moraceae</b>		<b>Fabaceae</b>	
<i>Citrus limon</i> Introducida	(0.046)	<i>Delonix regia</i> Introducida	(0.026)	<i>Ficus benjamina</i> Introducida	(0.036)	<i>Bauhinia variegata</i> Introducida	(0.028)
<b>Meliaceae</b>		<b>Arecaceae</b>		<b>Malpighiaceae</b>		<b>Apocynaceae</b>	
<i>Azadirachta indica</i> Introducida	(0.043)	<i>Phoenix canariensis</i> Introducida	(0.026)	<i>Byrsonima crassifolia</i> Nativa	(0.035)	<i>Plumeria rubra</i> Nativa	(0.024)
<b>Moringaceae</b>		<b>Casuarinaceae</b>		<b>Fabaceae</b>		<b>Arecaceae</b>	
<i>Moringa oleifera</i> Introducida	(0.032)	<i>Casuarina equisetifolia</i> Introducida	(0.019)	<i>Leucaena leucocephala</i> Nativa	(0.032)	<i>Phoenix dactylifera</i> Introducida	(0.024)
<b>Bignoniaceae</b>		<b>Cupressaceae</b>		<b>Meliaceae</b>		<b>Boraginaceae</b>	
<i>Tecoma stans</i> Nativa	(0.030)	<i>Cupressus macrocarpa</i> Introducida	(0.015)	<i>Swietenia humilis</i> Nativa	(0.029)	<i>Ehretia tinifolia</i> Nativa	(0.024)
<b>Cupressaceae</b>		<b>Punicaceae</b>		<b>Rutaceae</b>		<b>Fabaceae</b>	
<i>Cupressus sempervirens</i> Introducida	(0.026)	<i>Punica granatum</i> Introducida	(0.014)	<i>Citrus limon</i> Introducida	(0.020)	<i>Leucaena leucocephala</i> Nativa	(0.020)

Cuadro 2. Abundancias relativas de las especies más abundantes en los paisajes rurales

Tehuantepec		Huajuapán		Puerto Escondido		Oaxaca	
<b>Arecaceae</b> <i>Cocos nucifera</i> Introducida	(0.416)	<b>Fabaceae</b> <i>Prosopis juliflora</i> Nativa	(0.491)	<b>Malvaceae</b> <i>Guazuma ulmifolia</i> Nativa	(0.270)	<b>Fabaceae</b> <i>Pithecellobium dulce</i> Nativa	(0.488)
<b>Fabaceae</b> <i>Pithecellobium dulce</i> Nativa	(0.186)	<b>Fabaceae</b> <i>Vachellia bilimekii</i> Nativa	(0.298)	<b>Euphorbiaceae</b> <i>Jatropha curcas</i> Nativa	(0.237)	<b>Convolvulaceae</b> <i>Ipomoea murucoides</i> Nativa	(0.166)
<b>Anacardiaceae</b> <i>Mangifera indica</i> Introducida	(0.153)	<b>Convolvulaceae</b> <i>Ipomoea arborescens</i> Nativa	(0.119)	<b>Boraginaceae</b> <i>Cordia dentata</i> Nativa	(0.085)	<b>Malvaceae</b> <i>Heliocarpus terebinthinaceus</i> Nativa	(0.121)
<b>Rutaceae</b> <i>Citrus limon</i> Introducida	(0.053)	<b>Fabaceae</b> <i>Pithecellobium dulce</i> Nativa	(0.058)	<b>Fabaceae</b> <i>Caesalpinia eriostachys</i> Nativa	(0.076)	<b>Solanaceae</b> <i>Cestrum</i> sp Nativa	(0.041)
<b>Malvaceae</b> <i>Guazuma ulmifolia</i> Nativa	(0.037)	<b>Salicaceae</b> <i>Salix humboldtiana</i> Nativa	(0.014)	<b>Meliaceae</b> <i>Azadirachta indica</i> Introducida	(0.071)	<b>Cupressaceae</b> <i>Cupressus</i> sp Nativa	(0.022)
<b>Malpighiaceae</b> <i>Byrsonima crassifolia</i> Nativa	(0.033)	<b>Bignoniaceae</b> <i>Jacaranda mimosifolia</i> Introducida	(0.008)	<b>Fabaceae</b> <i>Pithecellobium dulce</i> Nativa	(0.061)	<b>Bignoniaceae</b> <i>Jacaranda mimosifolia</i> Introducida	(0.019)
<b>Fabaceae</b> <i>Tamarindus indica</i> Introducida	(0.022)	<b>Burseraceae</b> <i>Bursera bipinnata</i> Nativa	(0.005)	<b>Arecaceae</b> <i>Cocos nucifera</i> Introducida	(0.044)	<b>Anacardiaceae</b> <i>Schinus molle</i> Introducida	(0.018)
<b>Anacardiaceae</b> <i>Spondias purpurea</i> Nativa	(0.021)	<b>Salicaceae</b> <i>Populus</i> sp Introducida	(0.003)	<b>Fabaceae</b> <i>Vachellia cornigera</i> Nativa	(0.034)	<b>Malpighiaceae</b> <i>Byrsonima crassifolia</i> Nativa	(0.012)
<b>Fabaceae</b> <i>Acacia</i> sp Nativa	(0.020)	<b>Juglandaceae</b> <i>Juglans</i> sp Introducida	(0.001)	<b>Fabaceae</b> <i>Leucaena leucocephala</i> Nativa	(0.022)	<b>Sapindaceae</b> <i>Dodonaea viscosa</i> Nativa	(0.010)
<b>Fabaceae</b> <i>Leucaena leucocephala</i> Nativa	(0.015)	<b>Bignoniaceae</b> <i>Tecoma stans</i> Nativa	(0.001)	<b>Fabaceae</b> <i>Caesalpinia pulcherrima</i> Nativa	(0.020)	<b>Myrtaceae</b> <i>Psidium guajava</i> Nativa	(0.008)

Finalmente, en cuanto a la distribución de los árboles nativos e introducidos en los paisajes urbanos dentro de las celdas de 6.25ha. Se observa que en el paisaje urbano de Tehuantepec (Figura 27) y el paisaje rural (Figura 28) se presentó una amplia distribución de árboles introducidos a lo largo de las celdas.

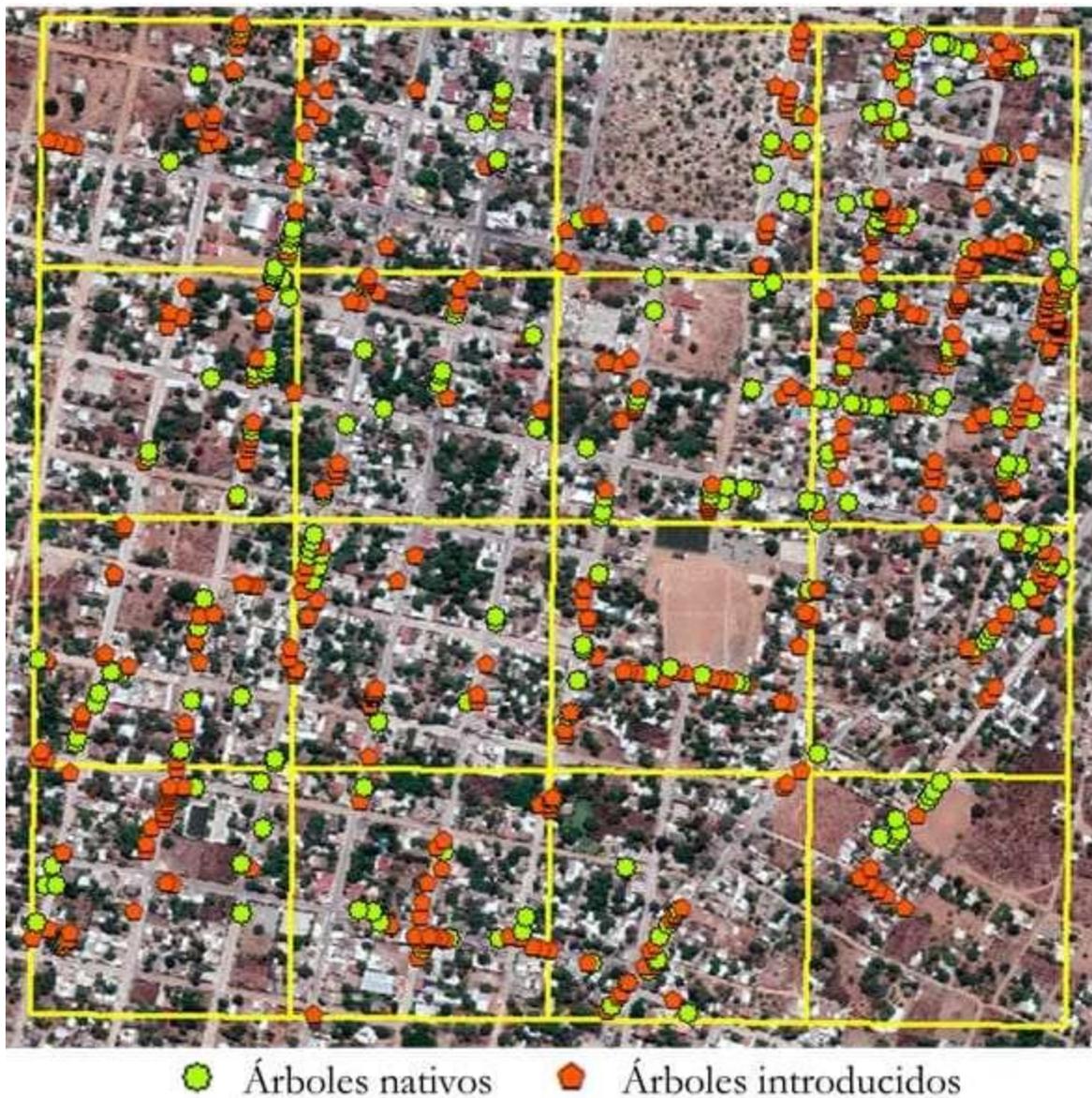


Figura 27. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Tehuantepec.



● Árboles nativos      ● Árboles introducidos

Figura 28. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Tehuantepec.

En Huajuapán, al contrario, es notable la mayor distribución de especies introducidas en el paisaje urbano (Figura 29) que en el paisaje rural (Figura 30).

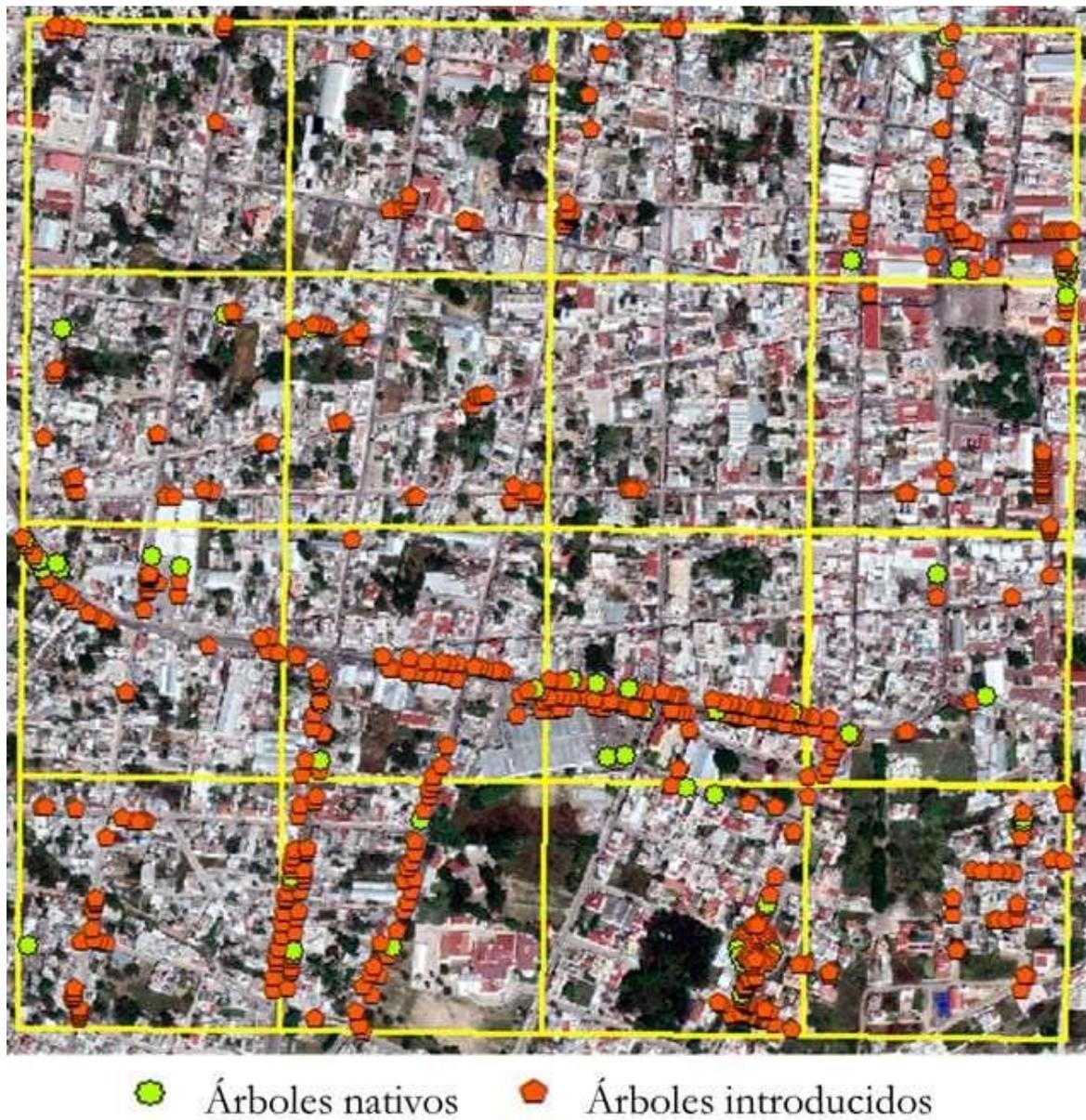


Figura 29. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Huajuapán.



● Árboles nativos      ● Árboles introducidos

Figura 30. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Huajuapán.

Del mismo modo, en el paisaje urbano de Puerto Escondido (Figura 31) se visualiza mayor distribución de los árboles introducidos a lo largo de las celdas en comparación con su paisaje rural (Figura 32).

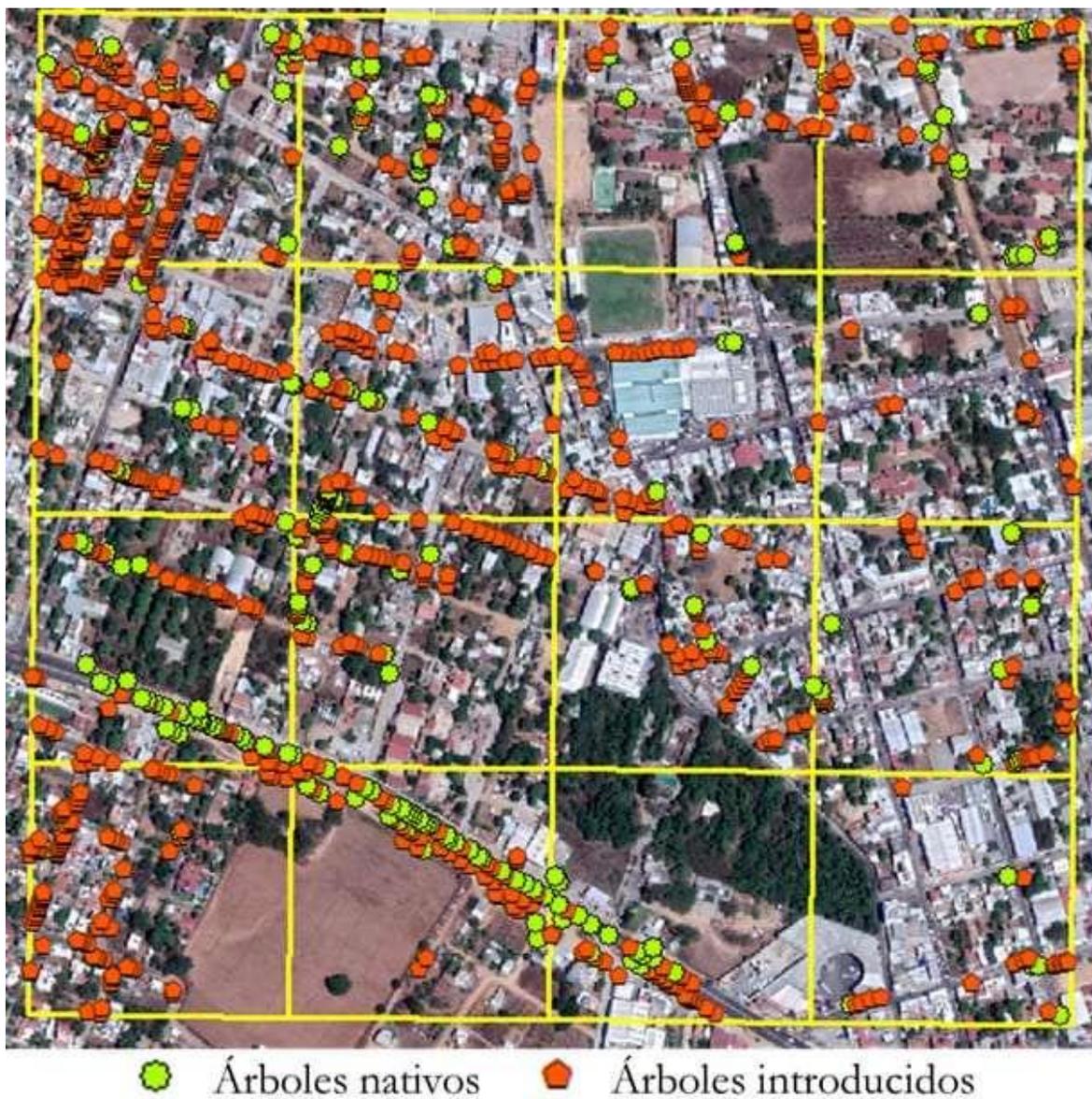


Figura 31. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Puerto Escondido.

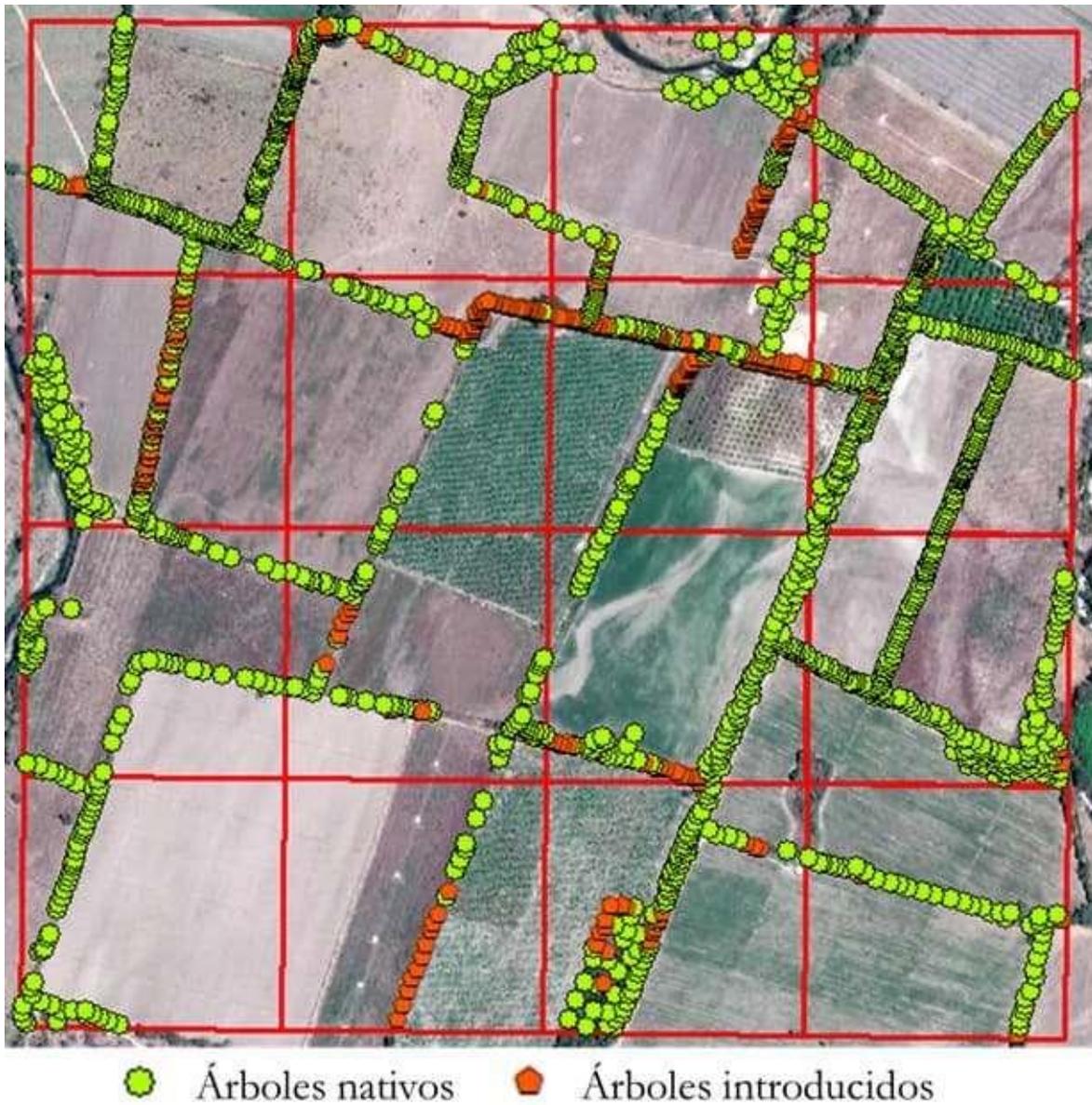


Figura 32. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Puerto Escondido.

Finalmente, en el paisaje urbano de Oaxaca algunas calles muestran mayor abundancia de árboles introducidos mientras que en otras se presenta mayor abundancia de nativos (Figura 33). Caso contrario se registró en el paisaje rural

(Figura 34), donde se presentó gran abundancia de árboles nativos, especialmente a la orilla de un arroyo que se registró en la ventana.

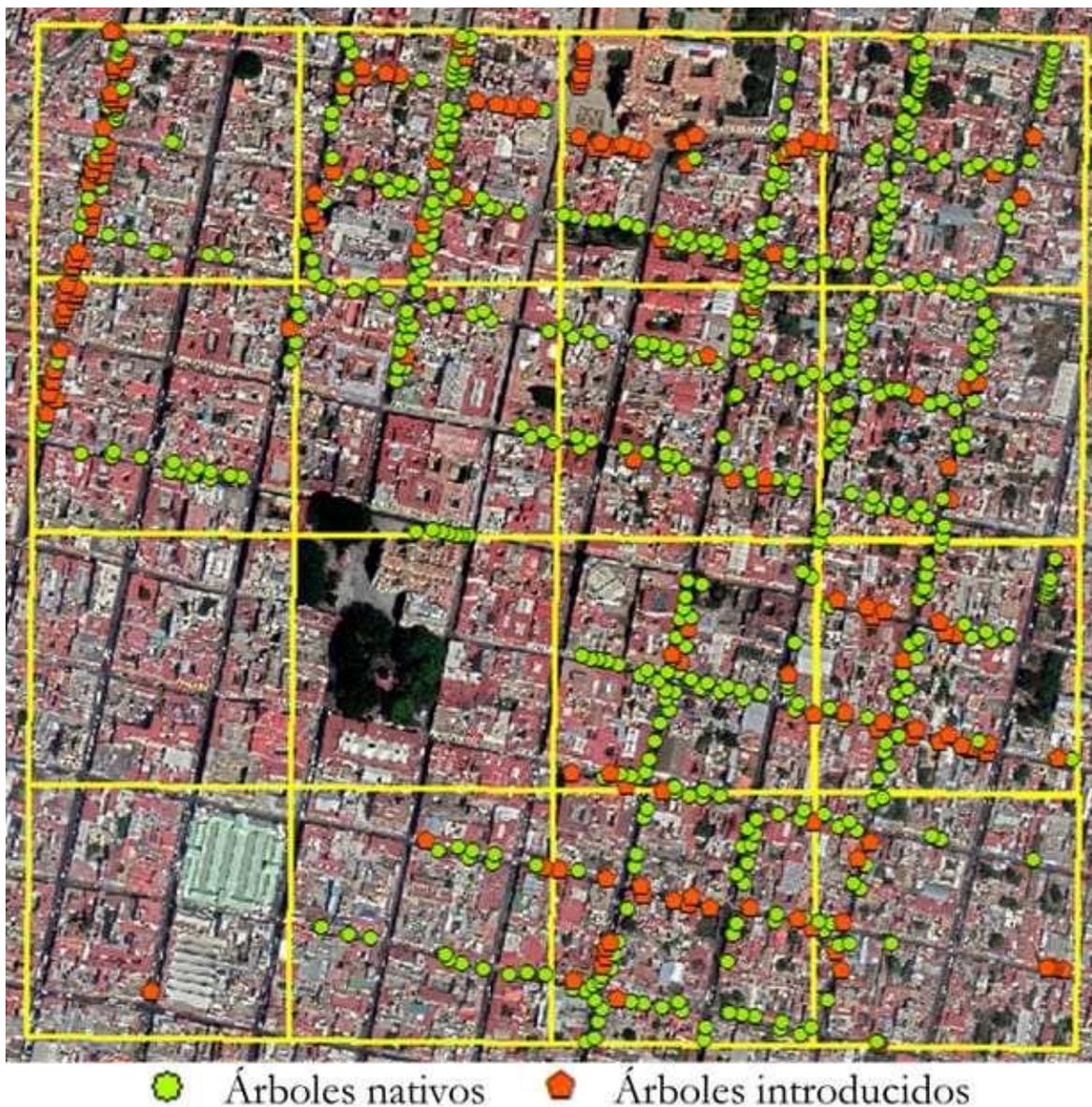


Figura 33. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje urbano de Oaxaca.

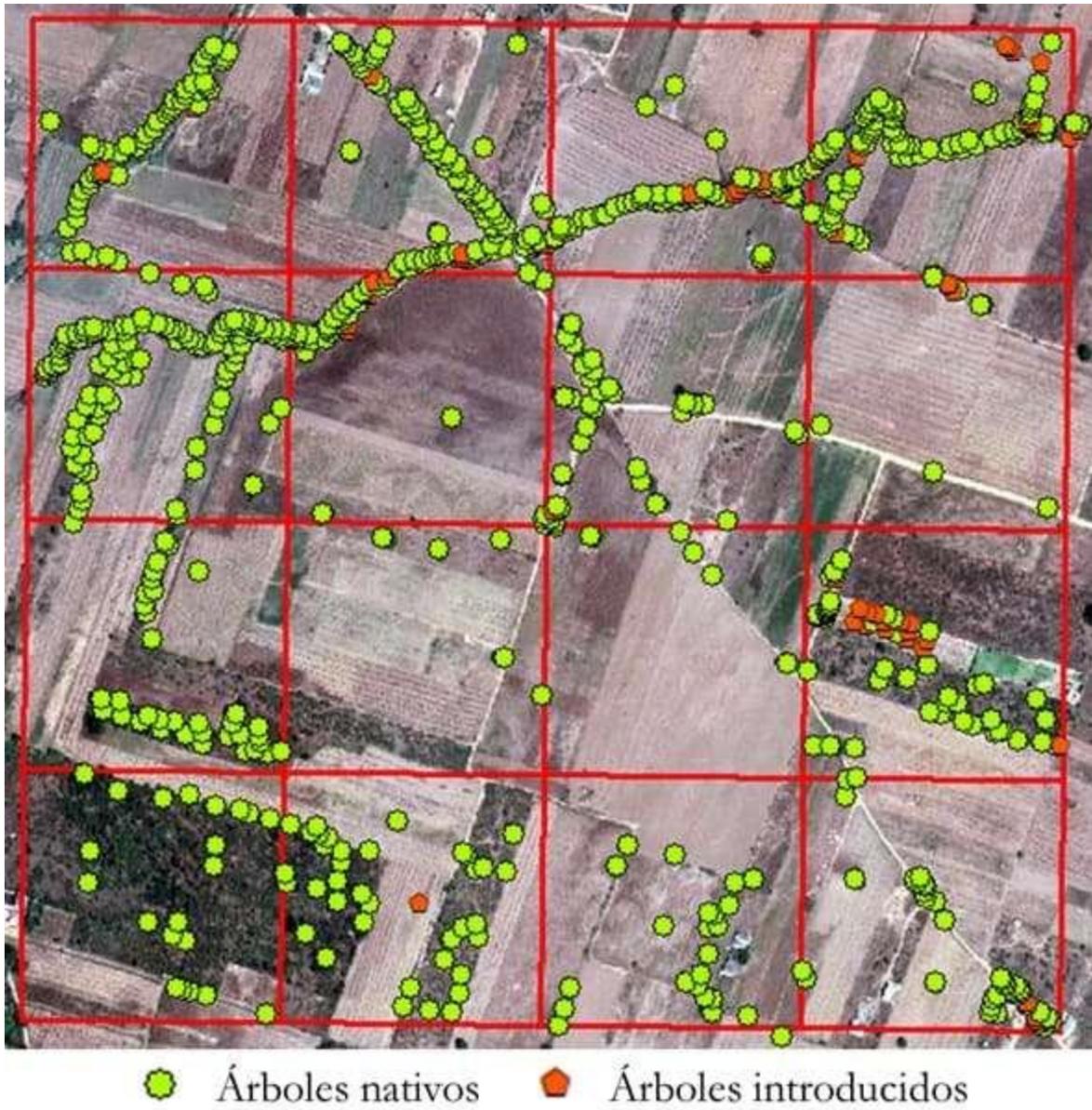


Figura 34. Distribución de los árboles nativos e introducidos en celdas de 6.25 ha en el paisaje rural de Oaxaca.

### 3.1.4 Registro de organismos asociados y factores de riesgo

En todos los paisajes urbanos se registraron daños a estructuras causados por el crecimiento de las raíces de árboles en espacios reducidos. Esta situación se presentó en las especies más abundantes de los paisajes y en general fue causado por especies introducidas (Figura 35). En Tehuantepec, los árboles de especies como *Ficus benjamina*, *Terminalia catappa*, *Tamarindus indica* y *Tabebuia rosea* presentaron espacios muy reducidos de siembra o bien, con asfalto rodeando el pie en los árboles. En el paisaje de Oaxaca, se registraron daños a banquetas y obstrucción de cableado eléctrico por 30 árboles de las especies como *Tabebuia rosea*, *Fraxinus udehi*, *Tabebuia donnell-smithii*, *Ficus benjamina*, *Grevillea robusta* y *Bauhinia variegata*. Estas especies son las más abundantes y en la ciudad

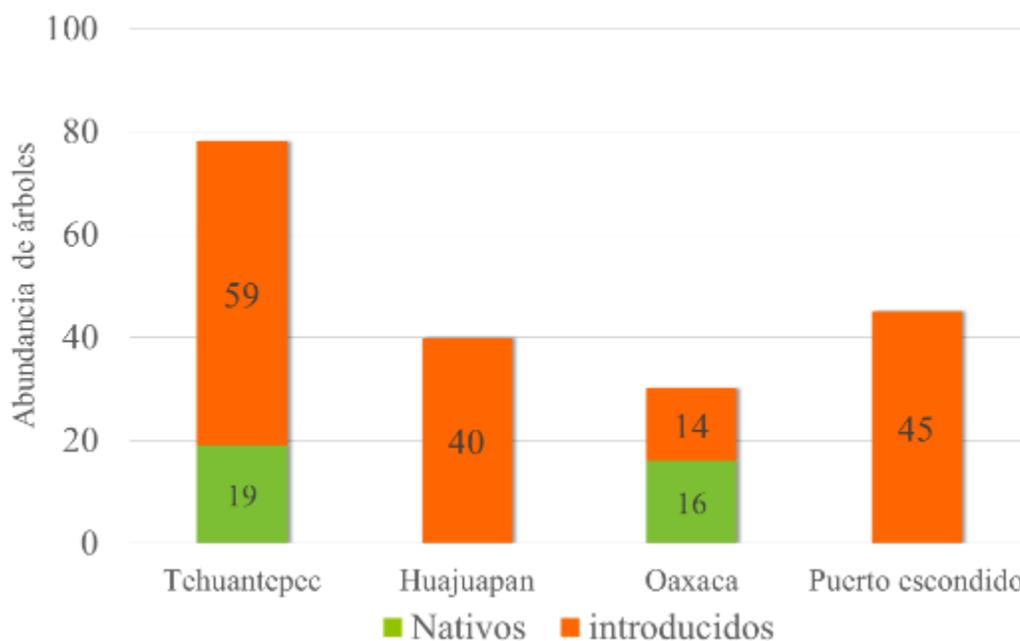


Figura 35. Abundancia de árboles en los que se registró daños a banquetas y bardas en su lugar de crecimiento.

representan el 73% del total de árboles presentes. En Huajuapán, este tipo de daños se registró en las especies introducidas *Ficus benjamina*, *Jacaranda mimosifolia*, *Delonix regia* y *Casuarina equisetifolia* mientras que en Puerto Escondido se presentó en las especies introducidas *Mangifera indica*, *Terminalia catappa* y *Ficus benjamina*.

En el paisaje urbano de Tehuantepec, se registraron afectaciones por la palomilla blanca (*Aleurothrixus* sp) en 14 árboles registrados de la especie *Citrus limon* (Limón) de los cuales ocho se ubicaron principalmente en el noroeste de la ventana, cerca del panteón de Dolores y el resto distribuidos en otras celdas. De igual forma, en el paisaje urbano de Puerto Escondido, esta plaga se presentó en tres de 21 árboles registrados de la especie *Citrus limon* (Limón), de los cuales dos se ubicaron al centro de la ventana y uno en el noreste de la ventana en la primera celda.

La presencia de plantas hemiparásitas se registró en árboles de especies nativas e introducidas en los paisajes de Puerto Escondido, Oaxaca y Huajuapán (Figura 36). En el paisaje urbano de Puerto Escondido se registró la presencia del muérdago *Struthanthus* sp asociada con especies introducidas *Terminalia catappa* (almendro), *Ficus benjamina* (ficus), *Mangifera indica* (mango) y a la especie nativa *Swietenia humilis* (árbol del zopilote) en la que se presentó el mayor porcentaje de árboles afectados. Estas especies se encuentran entre las diez más abundantes de ese paisaje. En el paisaje urbano de Oaxaca, se registró asociada con la especie nativa *Fraxinus udehi*, que es la especie más abundante en el paisaje. También, se reportó la presencia de otra especie de muérdago, *Psittacanthus* sp, en el paisaje rural de Oaxaca, asociado a árboles de las dos especies más abundantes en el paisaje, las

especies nativas *Pithecellobium dulce* (Guamúchil) y *Heliocarpus terebinthinaceus* (Yaco). Además, se presentó en la especie nativa *Sapindus saponaria* (Jaboncillo) y la especie introducida *Schinus molle* (Pirú). Finalmente, para el paisaje rural de Huajuapán se registró la presencia otra especie de muérdago, *Phoradendron* sp asociada a un individuo de la especie *Vachellia bilimekii*.

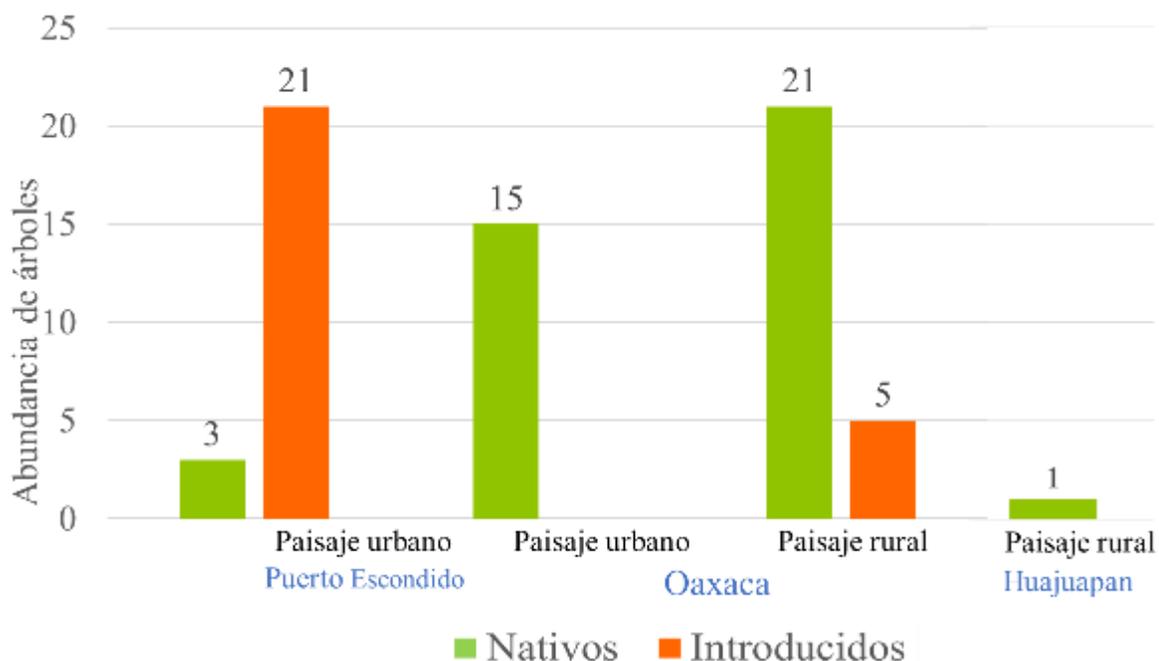


Figura 36. Abundancia de árboles en los que se registró daños causados por muérdagos de las especies *Struthanthus* sp y *Psittacanthus* sp.

El porcentaje de los árboles afectados por *Struthanthus* sp fue más alto en la especie nativa *Swietenia humilis* (9.7%) que representa el 0.28% del arbolado total del paisaje urbano de Puerto Escondido (Cuadro 3). Por otro lado, *Psittacanthus* sp afectó mayor porcentaje de árboles de la especie introducida *Schinus molle* (38%), la cual representa el 1.8% del arbolado total del paisaje rural de Oaxaca. Y, por último, la especie *Phoradendron* sp. solo se presentó en la especie *Vachellia*

*bilimekii*, la segunda especie más abundante del paisaje rural de Huajuapán y que representa el 30% del arbolado total.

Cuadro 3. Plantas hemiparásitas asociadas a árboles de especies nativas e introducidas en los paisajes urbanos y rurales de Puerto Escondido, Oaxaca y Huajuapán

Plantas hemiparásitas	Especie	Estatus	Paisaje	Sitio	% Árboles afectados
<b><i>Struthanthus</i> sp</b>	<i>Swietenia humilis</i>	Nativa	Urbano	Puerto Escondido	9.7
	<i>Mangifera indica</i>				1.5
	<i>Terminalia catappa</i>	Introducida			5.3
	<i>Ficus benamina</i>				2.6
	<i>Fraxinus uhdei</i>			Oaxaca	7
<b><i>Psittacanthus</i> sp</b>	<i>Schinus molle</i>	Introducida	Rural	Oaxaca	38
	<i>Sapindus saponaria</i>	Nativa			17
	<i>Pithecellobium dulce</i>				5
	<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i>				2
<b><i>Phoradendron</i> sp</b>	<i>Vachellia bilimekii</i>	Nativa	Rural	Hujuapán	0.16

Para el paisaje urbano de Huajuapán, en *Cupressus sempervirens* (Ciprés) se registraron características de deterioro en el 18% de los árboles de esta especie ya presentaron ramas caídas y con un color marrón claro. Los árboles de esta especie se encuentran distribuidos en prácticamente todas las celdas de la ventana.

Finalmente, en el paisaje rural de Tehuantepec, se registró la presencia de termitas (Isópteros) en 23 árboles (7%) de la especie *Mangifera indica*. Además, aunque no se registraron como parte de este estudio, se registraron 10 tocones de *Phoenix dactylifera* en el paisaje urbano de Oaxaca las cuales no han sido retiradas de su sitio. Estos organismos fueron reportados en diversos medios de información por ser atacadas en años anteriores por escarabajos del género *Rhynchophorus* sp. los

cuales afectaron y provocaron la muerte de más de 200 palmeras. En otras ciudades de México como Guadalajara igualmente se han reportado severos daños a causa de estos escarabajos (Segura *et al.*, 1996; SADER, 2019).

### 3.1.5 Empleo de la herramienta *Google Street View*

En todos los paisajes urbanos, la herramienta *Google Street View* permitió reconocer la ubicación y ya sea la familia, género o especie de más del 85% de los árboles presentes (Figura 37). En Tehuantepec, se registraron para el paisaje urbano 685 árboles previos y en la fase de campo un total de 692 árboles, es decir el 99% de los árboles. Para Huajuapán, se registraron 635 árboles previos y en

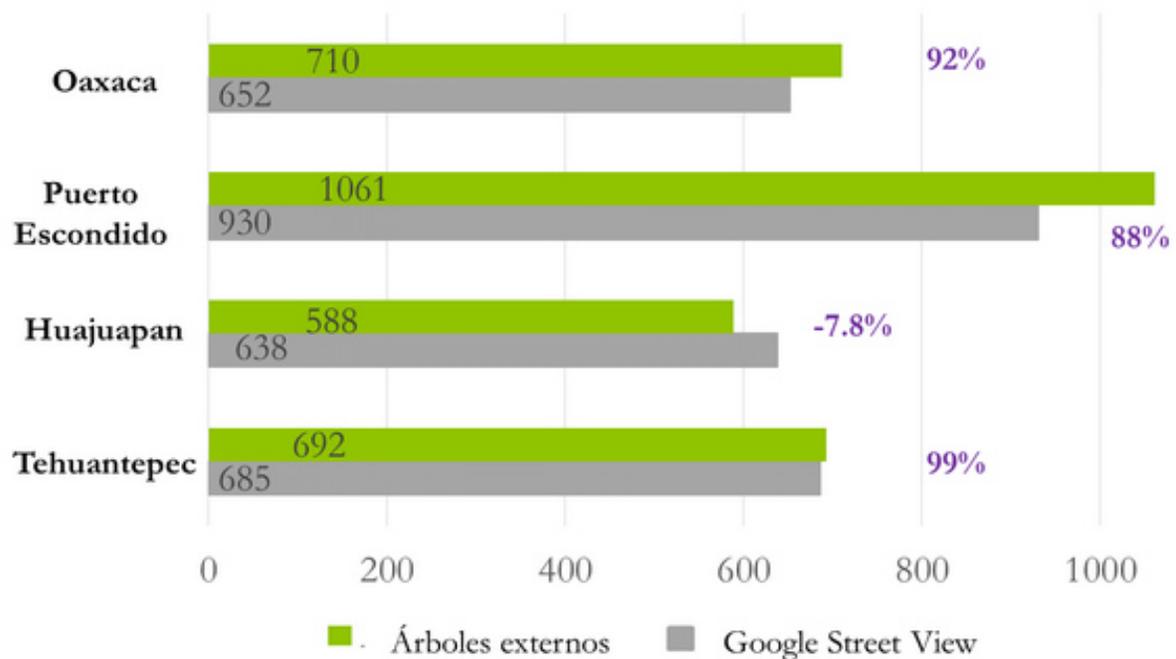


Figura 37. Árboles previamente registrados con la herramienta Google Street View y los árboles registrados en campo.

campo se registró una disminución a 549 árboles. Esto representa una disminución del 7.8% de los árboles que estaban establecidos a la fecha. Para el paisaje urbano de Puerto Escondido, se registró previamente el 88% de los árboles, es decir, 930 árboles y en la fase de campo se obtuvo un total de 1061. Finalmente, en Oaxaca fueron 652 árboles previamente registrados, el 92%, ya que en campo se registraron 710.

### 3.1.6 Especies registradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Solamente en el paisaje de Tehuantepec se registró la presencia de dos árboles pertenecientes a la especie *Guaiacum coulteri* de la familia Zygothylaceae, registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como endémica y en la categoría de Amenazada mediante el Método de Evaluación de Riesgo de las Especies Silvestres de México (MER; SEMARNAT 2002).

### 3.2 Comparación de la diversidad

Los perfiles de diversidad alfa reflejan una disminución en el número efectivo de especies en todos los paisajes en cuanto el valor de  $q$  aumentó. Los perfiles de diversidad alfa de los paisajes urbanos y rurales muestran al paisaje urbano de Tehuantepec como consistentemente más diverso en todos los órdenes de  $q$  mientras que el paisaje rural de Huajuapán como consistentemente menos diverso. (Figura 38; Cuadro 4 y 5).

En el orden de diversidad 0, los cuatro paisajes urbanos resaltan como más diversos que los de los paisajes rurales de Puerto Escondido, Oaxaca y Tehuantepec, que se presentan agrupados con una diversidad similar, y especialmente mayor que el paisaje rural de Huajuapán. En este orden, la diversidad varía entre 13 y 47 especies equivalentes.

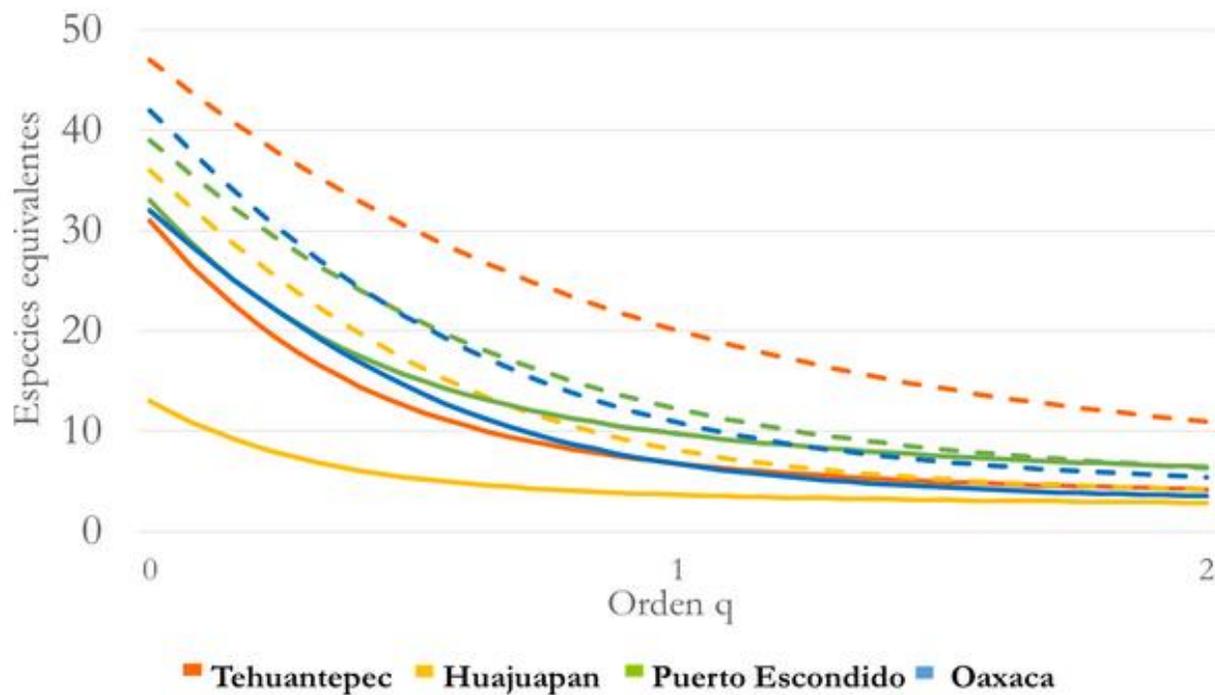


Figura 38. Perfiles de diversidad alfa de árboles de paisajes urbanos y rurales

En el orden 1, la diversidad osciló entre 3 y 20 especies equivalentes y todos los paisajes urbanos permanecieron con un valor más alto de diversidad a comparación de sus paisajes rurales. El paisaje urbano de Tehuantepec se mantuvo como el más diverso y el paisaje rural de Huajuapán se mantiene como el paisaje menos diverso.

Al expresar estas equivalencias, se puede decir que el paisaje urbano de Tehuantepec es tres veces mayor que su paisaje rural. Dicho de otra manera, el paisaje rural de Tehuantepec tiene 33.9% de la diversidad de su paisaje urbano. El paisaje urbano de Huajuapán tiene más del doble (2.2 veces) de la diversidad de su paisaje rural. Por su parte, Puerto Escondido es 1.3 veces y Oaxaca 1.6 más diverso que sus respectivos paisajes rurales. En este orden, el paisaje urbano de Puerto Escondido se muestra ahora con mayor diversidad que el de Oaxaca, el paisaje rural de Puerto Escondido como más diverso que el paisaje urbano de Huajuapán y el paisaje rural de Tehuantepec como más diverso que el de Oaxaca.

En el orden de diversidad 2, todos los paisajes urbanos permanecieron con valores más altos de diversidad a comparación de sus paisajes rurales, excepto en Puerto Escondido, donde se registró caso contrario. El paisaje urbano de Tehuantepec permanece como el más diverso y el paisaje rural de Huajuapán con el menor. El paisaje rural de Puerto Escondido se muestra ahora con mayor diversidad que el urbano de Puerto Escondido, el paisaje urbano de Oaxaca mayor que el paisaje rural de Tehuantepec y al paisaje urbano de Huajuapán como más diverso que el rural Oaxaca.

Cuadro 4. Valores de diversidad de orden  $q=0, 1$  y  $2$  en los paisajes urbanos y rurales

Orden	Tehuantepec		Huajuapán		Puerto Escondido		Oaxaca	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
0	47	31	36	13	39	33	42	32
1	20.02	6.78	8.09	3.67	12.18	9.73	10.85	6.71
2	10.95	4.20	4.19	2.88	6.36	6.44	5.43	3.52

En el orden 0, 1 y 2, los niveles de confianza de los paisajes rurales de Tehuantepec, Huajuapán y Oaxaca no se traslapan con los paisajes urbanos (Anexo 4, 5 y 7). Solo el paisaje rural de Puerto Escondido no es significativamente diferente a su paisaje urbano en el orden 0 y 2 (Anexo 6). Entre los paisajes rurales, el paisaje de Puerto Escondido, Oaxaca y Tehuantepec no son diferentes significativamente en el orden 0, mientras que en el orden 1 y 2 sí lo son. El paisaje rural de Huajuapán se refleja con los valores más bajos de diversidad en todos los órdenes de  $q$  (Anexo 2). Entre los paisajes urbanos, no se presenta ninguna diferencia significativa en el orden  $q$  0, mientras que en el orden 1 y 2, el paisaje de Tehuantepec se muestra con el valor más alto y Huajuapán con el valor más bajo (Anexo 3). En el orden 0, los niveles de confianza se traslapan entre los paisajes rurales y urbanos, excepto en el paisaje rural de Huajuapán, solo al aumentar el valor de  $q$  se presentan diferencias significativas (Anexo 8). En general, los paisajes urbanos muestran valores significativamente diferentes a los paisajes rurales (Anexo 1).

### 3.2.1 Curvas de rango abundancia

Los valores de abundancias totales variaron entre los paisajes urbanos y rurales. La especie con más abundancia se presentó en el paisaje rural de Huajuapán mientras que el valor más bajo se obtuvo en el paisaje urbano de Tehuantepec (Figura 39).

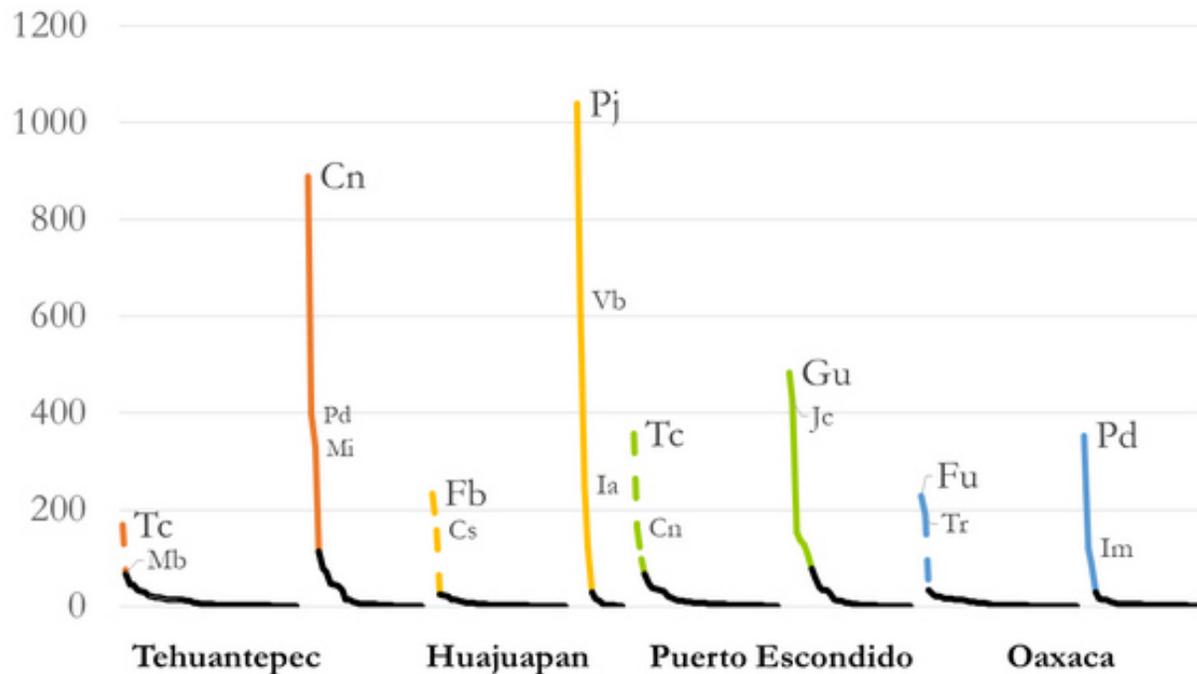


Figura 39. Curvas de rango abundancias en los paisajes urbanos y rurales basadas en el número de individuos. Paisajes urbanos en líneas punteadas y en líneas de color sólido, paisajes rurales. *Terminalia catappa* (Tc), *Melicoccus bijugatus* (Mb), *Cocos nucifera* (Cn), *Pithecellobium dulce* (Pd), *Mangifera indica* (Mi), *Ficus benjamina* (Fb), *Cupressus sempervirens* (Cs), *Prosopis juliflora* (Pj), *Vachellia bilimekii* (Vb), *Ipomoea arborescens* (Ia), *Guazuma ulmifolia* (Gu), *Jatropha curcas* (Jc), *Fraxinus uhdei* (Fu), *Tabebuia rosea* (Tr), *Ipomoea murucoides* (Im).

Por otro lado, en las curvas de abundancias relativas se muestra a todos los paisajes con una distribución desigual de las abundancias de las especies (Figura 40). En todos los paisajes, la abundancia se encuentra dominada por una o dos especies.

En el paisaje urbano de Tehuantepec, el 24% del total del arbolado está representado por la especie introducida *Terminalia catappa* mientras que, el resto

de las abundancias se distribuyó entre 23 especies nativas y 23 especies introducidas con porcentajes menores al 10%. En este paisaje, la especie nativa

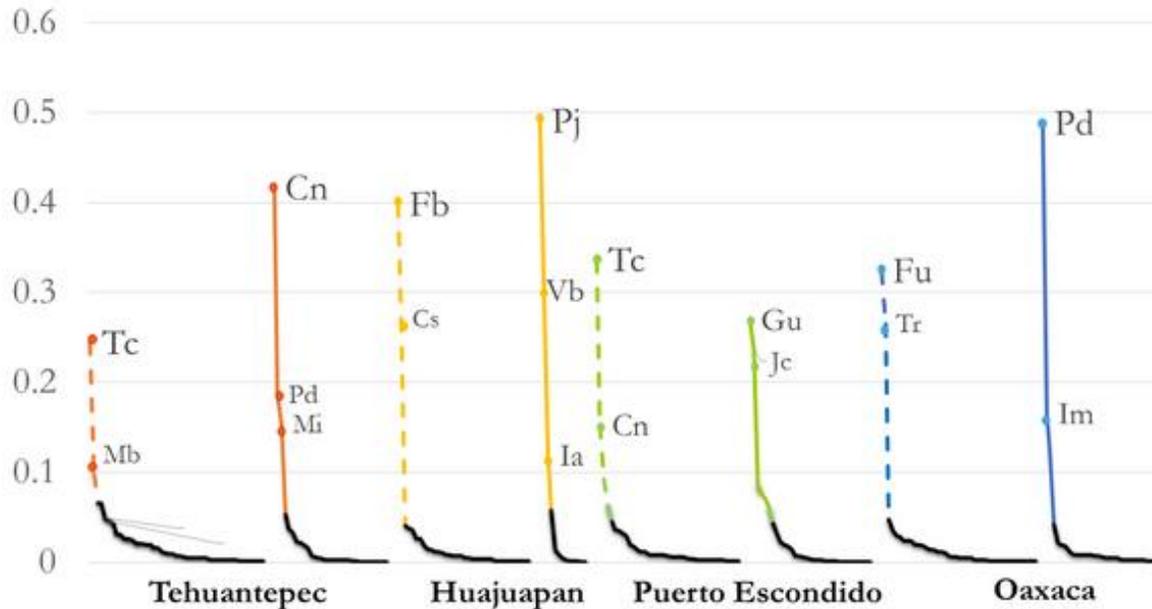


Figura 40. Curvas de rango abundancias relativas en los paisajes urbanos y rurales basadas en la abundancia relativa de las especies. Paisajes urbanos en líneas punteadas y en líneas de color sólido, paisajes rurales. *Terminalia catappa* (Tc), *Melicoccus bijugatus* (Mb), *Cocos nucifera* (Cn), *Pithecellobium dulce* (Pd), *Mangifera indica* (Mi), *Ficus benjamina* (Fb), *Cupressus sempervirens* (Cs), *Prosopis juliflora* (Pj), *Vachellia bilimekii* (Vb), *Ipomoea arborescens* (Ia), *Guazuma ulmifolia* (Gu), *Jatropha curcas* (Jc), *Fraxinus uhdei* (Fu), *Tabebuia rosea* (Tr), *Ipomoea murucoides* (Im).

*Guaiacum coulteri*, reportada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (NOM, 2010) como amenazada, se presentó con 2 individuos, lo que representa solo el 0.003% de la población total del paisaje. En el paisaje rural, la especie introducida *Cocos nucifera* representa el 42% del arbolado, la especie nativa *Pithecellobium dulce* y la especie introducida *Mangifera indica* se registraron con valores mayores al 10% mientras que el resto se distribuyó entre 19 especies nativas y 10 especies introducidas con valores menores al 5%.

El paisaje urbano de Huajuapán las especies introducidas dominan el paisaje. La especie *Ficus benjamina* es la más abundante con el 40% seguida por *Cupressus sempervirens* con 27%. 10 especies introducidas y una nativa, *Ehretia tinifolia*, se registraron con valores menores al 5% mientras que el resto, 12 especies introducidas y 11 nativas se presentaron con valores menores al 1%. En el paisaje rural, por el contrario, dominan las especies nativas. *Prosopis juliflora* representa el 49% de los árboles, *Vachellia bilimekii* el 30% e *Ipomoea arborescens* el 12%. El resto de las abundancias se distribuyó entre tres especies introducidas y siete nativas con abundancias menores al 6%.

Para el paisaje urbano de Puerto Escondido, el 34% del total del arbolado está representado por la especie introducida *Terminalia catappa* mientras que, el resto de las abundancias se distribuyó entre seis especies nativas y siete especies con abundancias menores al 10%. Con abundancias menores al 1% se registraron 13 especies nativas y 12 especies introducidas. En el paisaje rural, las especies nativas *Guazuma ulmifolia* y *Jatropha curcas* se registraron como las más abundantes con 27% y 24% respectivamente. Abundancias menores al 7% se presentaron en siete especies nativas y tres introducidas, mientras que el resto, doce especies introducidas y nueve especies nativas presentaron abundancias menores al 1%.

Finalmente, en el paisaje urbano de Oaxaca la especie nativa *Fraxinus uhdei* fue la más abundante con 32%, seguida por la especie nativa *Tabebuia rosea* con 26%. El resto de las abundancias se distribuyó entre nueve especies introducidas y seis especies nativas con abundancias menores al 5% y 10 especies nativas y 15 especies con abundancias menores al 1%. En el paisaje rural, la especie nativa más

abundante fue *Pithecellobium dulce* con 49% del total seguida por las especies nativas *Ipomoea murucoides* y *Heliocarpus terebinthinaceus* con 17% y 12% respectivamente. El resto de las abundancias se distribuyó entre 14 especies nativas y 15 especies introducidas con abundancias menores al 5%.

### 3.2.2 Factor de inequidad (IF) e Inequidad Logarítmica Relativa (RLI)

De acuerdo con los valores obtenidos del factor de inequidad (IF 0,2) y de inequidad logarítmica relativa (RLI 0,2), el paisaje rural de Oaxaca presenta el valor más alto debido a una mayor desproporción de la abundancia de las especies y el paisaje urbano de Tehuantepec como el más bajo debido a una mejor distribución o equitatividad de las especies (Cuadro 6 y 7).

Cuadro 6. Valores del factor logarítmico de inequidad relativa en los paisajes urbanos y rurales

	Tehuantepec		Huajuapán		Puerto Escondido		Oaxaca	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
<b>IF 0,2</b>	<b>4.29</b>	7.39	8.59	4.52	6.13	5.13	7.74	<b>9.10</b>
<b>RLI 0,2</b>	<b>0.38</b>	0.58	0.60	0.59	0.49	0.47	0.55	<b>0.64</b>

### 3.2.3 Similitud composicional entre los paisajes urbanos y rurales

El índice de Jaccard, que considera la similitud de especies entre paisajes refleja el valor más alto de similitud entre los paisajes urbanos de Tehuantepec y Puerto Escondido a pesar de estar a 268 km de distancia. (Figura 41). Ambos paisajes se encuentran entre 0 a 1400 msnm y en ellos se presentaron especies nativas como *Tabebuia rosea*, *Plumeria rubra*, *Ehretia tinifolia* y especies introducidas como *Terminalia catappa*,

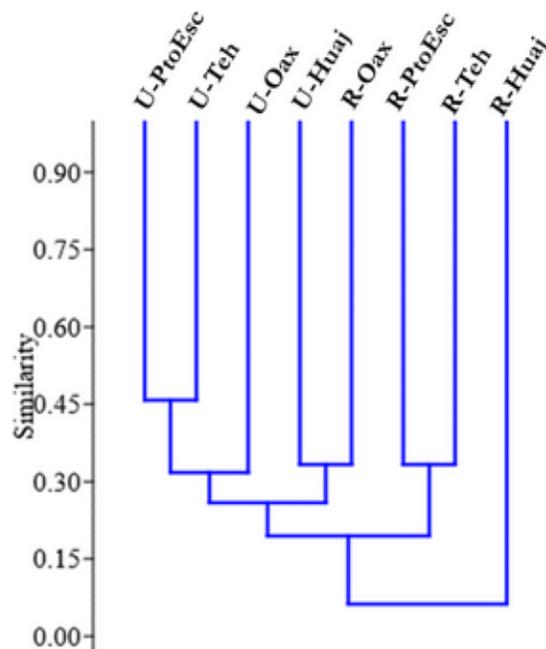


Figura 41. Diagrama de similitud con valores del índice Jaccard entre los paisajes urbanos y rurales

*Mangifera indica*, *Ficus benamina*, *Azadirachta indica* y *Moringa oleifera*. Aunque con valores menores el paisaje rural de Oaxaca con el paisaje urbano de Huajuapán se agrupó con mayor similitud debido a la presencia de especies introducidas como

*Jacaranda mimosifolia*, *Casuarina equisetifolia* y *Spathodea campanulata*. De igual forma, se agruparon los paisajes rurales Tehuantepec y Puerto Escondido debido a la presencia de especies nativas como *Pithecellobium dulce* y *Guazuma ulmifolia*. Además, por especies introducidas como *Cocos nucifera* y *Citrus limon*. Debido a que en El paisaje rural de Huajuapán presentó los valores más bajos de similitud con respecto a los otros paisajes. En este paisaje, se registró una baja diversidad de especies y solo las especies nativas *Pithecellobium dulce*, *Prosopis juliflora* y la especie introducida *Jacaranda mimosifolia* también se registraron en otros paisajes.

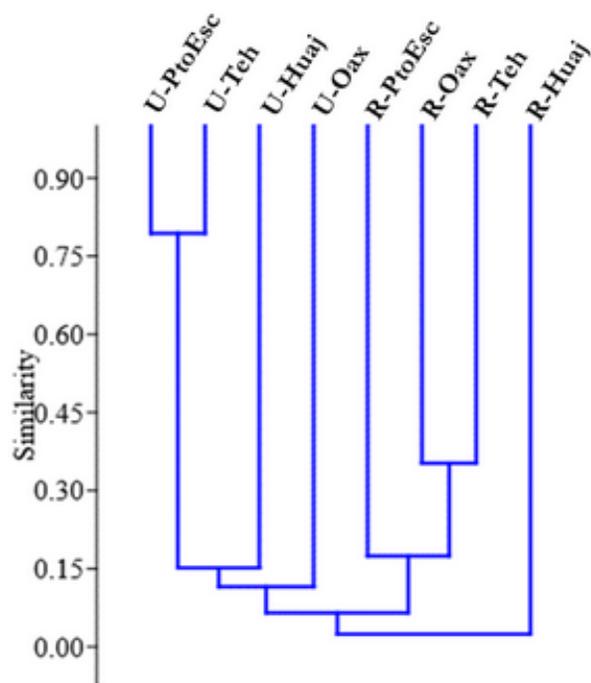


Figura 42. Diagrama de similitud con valores del índice Morisita-Horn entre los paisajes urbanos y rurales

Al considerar el índice de Morisita-Horn, se observa igualmente el valor más alto de similitud se registró entre los paisajes urbanos de Tehuantepec y Puerto Escondido

(Figura 42) ya que especies que compartieron como *Terminalia catappa*, *Mangifera indica* y *Tabebuia rosea* fueron abundantes en ambos paisajes. Aunque con valores más bajos ( $<0.45$ ), los paisajes rurales de Oaxaca y Tehuantepec se agruparon principalmente debido a la presencia de las especies nativas *Pithecellobium dulce* y *Byrsonima crassifolia* las cuales fueron abundantes en ambos paisajes.

Finalmente, aunque con valores bajos ( $<0.15$ ), los paisajes urbanos y rurales se agruparon, excepto el paisaje rural de Huajuapán el cual nuevamente presenta el valor más bajo de similitud debido al bajo registro de especies en ese paisaje.

#### 3.2.4 Diversidad beta

Los valores obtenidos al analizar la diversidad  $\beta$  entre todos los paisajes analizados ( $\beta_{\min}=1$ ;  $\beta_{\max}=8$ ) de igual manera muestra valores menores en  ${}^0\beta$  (3.40 comunidades equivalentes o efectivas) que en  ${}^1\beta$  (4.09 comunidades equivalentes o efectivas) y  ${}^2\beta$  (4.78 comunidades equivalentes o efectivas). El aumento de  $\beta$  demuestra que las especies con más abundancia en cada ventana son diferentes. Un alto número de especies son compartidas por lo que los valores de  $\beta$  no reflejan el valor máximo que el índice puede alcanzar de ocho comunidades efectivas (Figura 43).



Figura 43. Perfil de diversidad beta de los paisajes urbanos y rurales

La diversidad beta entre los paisajes urbanos y rurales ( $\beta_{\min}=1$ ;  $\beta_{\max}=2$ ) muestra que en el orden 0, se registra el valor más alto de diversidad beta para Huajuapán con 1.67 comunidades equivalentes mientras que el menor para Tehuantepec con 1.49 comunidades equivalentes (Cuadro 8; Figura 44). Valores más altos señalan que los paisajes urbano y rural no comparten especies y valores menores corresponden cuando estos son más similares. Cuando  $q$  aumenta a 1, los valores de beta aumentan, demostrando que hay especies comunes que no se comparten entre paisajes. Finalmente, en  $q$  2 dado que los valores son mayores, indica que las especies más abundantes no son compartidas entre paisajes. Los valores de Oaxaca y Huajuapán son más similares entre sí e igualmente para Puerto Escondido y Tehuantepec.

Cuadro 8. Valores de diversidad beta entre paisajes urbanos y rurales

Orden	Huajuapán	Oaxaca	Tehuantepec	Puerto Escondido
0	1.6	1.59	1.49	1.56
1	1.91	1.87	1.67	1.63
2	1.93	1.99	1.85	1.81

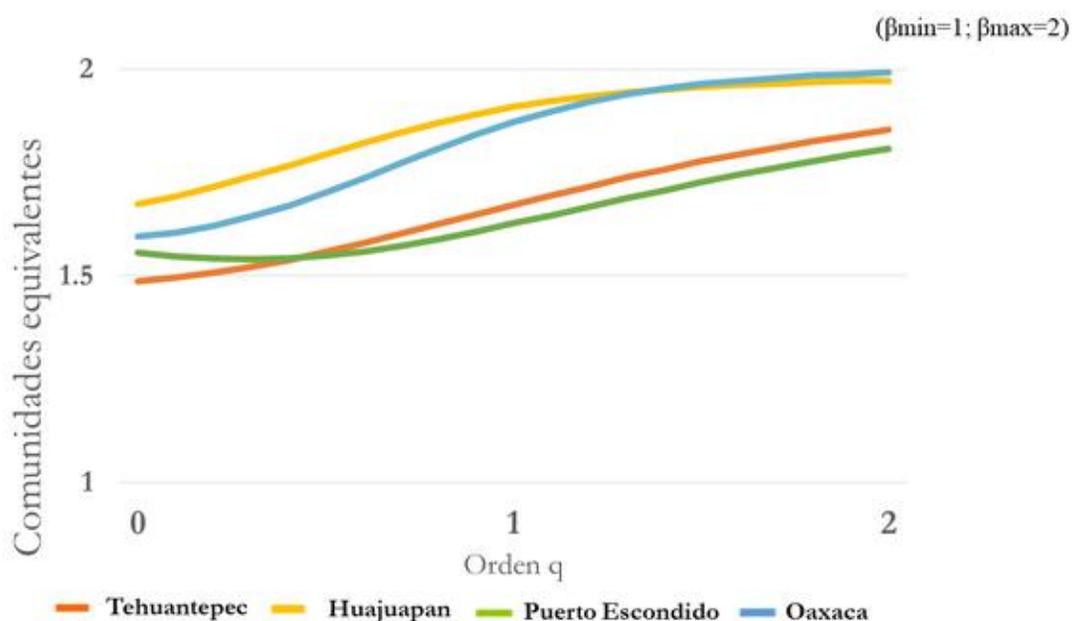


Figura 44. Perfiles de diversidad beta de los paisajes urbanos y rurales

Finalmente, la diversidad  $\beta$  de las 16 celdas de 6.25 ha ( $\beta_{\min}=1$ ;  $\beta_{\max}=16$ ) en los que están divididas las ventanas de los paisajes urbanos y rurales demostró valores más altos en  ${}^2\beta$  que en  ${}^1\beta$  y  ${}^0\beta$  (Figura 45). La disminución en el valor de  $\beta$  en cuanto el valor de orden  $q$  aumenta demuestra que las especies con más abundancia en cada celda son muy similares. El valor más alto en  ${}^0\beta$  los presentó el paisaje de Oaxaca mientras que el menor fue en Huajuapán. Sin embargo, un alto número de especies son compartidas entre las celdas por lo que los valores de  $\beta$  en general son bajos (Cuadro 9 y 10).

Cuadro 9. Valor de diversidad beta dentro de las ventanas de 1km<sup>2</sup> de estudio para los paisajes urbanos

Orden	Huajuapán	Oaxaca	Tehuantepec	Puerto Escondido
0	4.8	3.5	3.1	3.1
1	2.1	2.0	1.9	1.8
2	1.5	1.8	1.5	1.5

Cuadro 10. Valor de diversidad beta dentro de las ventanas de 1km<sup>2</sup> de estudio para los paisajes rurales

Orden	Huajuapán	Oaxaca	Tehuantepec	Puerto Escondido
0	2.5	5.0	3.2	3.6
1	1.3	1.7	1.6	2.1
2	1.2	1.4	1.3	2.0

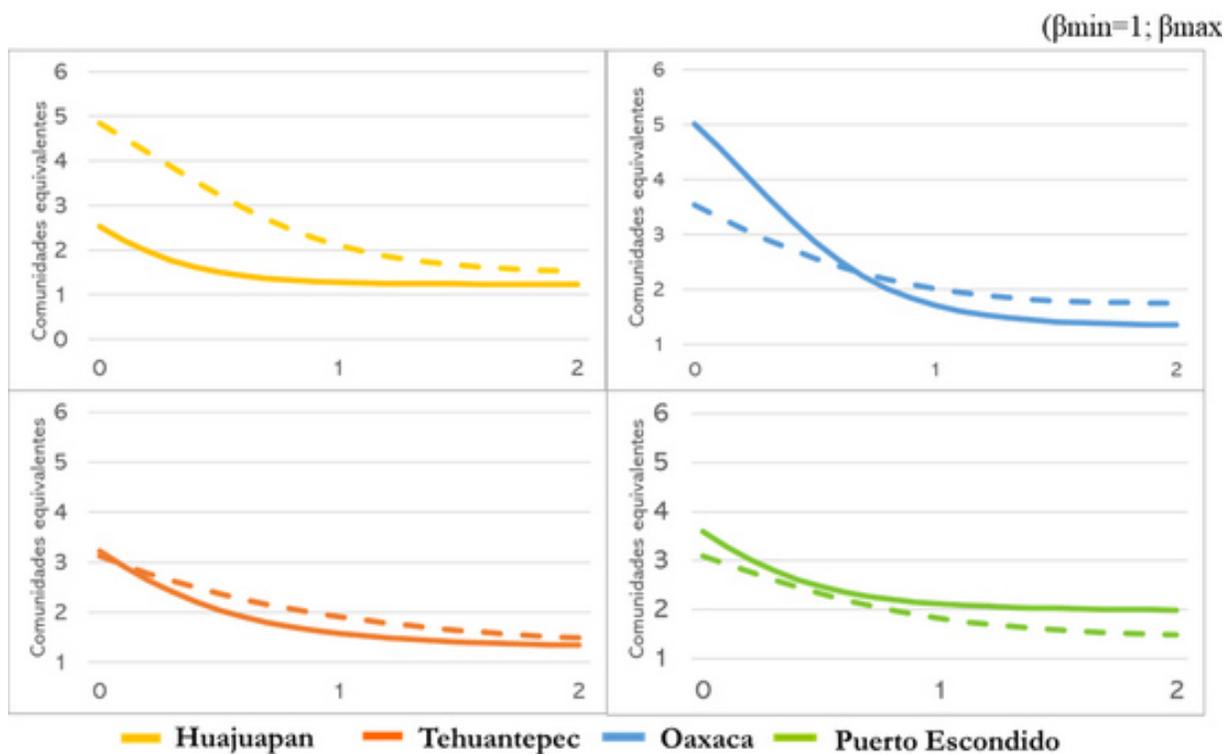


Figura 45. Perfiles de diversidad  $\beta$  en las celdas de 6.25 ha. Líneas punteadas representan a los paisajes urbanos y líneas de color sólido a los paisajes rurales.

## IV. DISCUSIÓN

### 4.1 Diversidad del arbolado en paisajes urbanos y rurales

Este proyecto se presenta como el primer trabajo que registró y comparó la diversidad de árboles en paisajes relictuales de Oaxaca. Se confirmaron patrones observados en otras ciudades del mundo, donde se ha registrado una riqueza de especies alta, incluso mayor que en paisajes naturales (Kühn *et al.*, 2004; Knapp *et al.*, 2009; McKinney, 2002; Wania *et al.*, 2006). La alta diversidad de especies en ciudades es atribuida a la presencia de una gran cantidad de especies introducidas, y la preservación de especies nativas (Kühn *et al.*, 2004; Wania *et al.*, 2006). Otro patrón típico de paisajes urbanos es la alta dominancia (Kendal *et al.*, 2014), que en este trabajo se presentó en todos los paisajes. Los paisajes urbanos presentaron mayor similitud entre ellos que entre sus paisajes rurales cercanos y reflejaron la presencia de especies propias de la región. En estos paisajes, el establecimiento de ciertas especies es notablemente influenciado por las necesidades humanas por lo que se requiere tener un mejor conocimiento sobre la composición y distribución de las abundancias de las especies antes de establecer nuevas campañas de reforestación. Además, es necesario que la naturaleza que existe en los paisajes rurales sea implementada en los paisajes urbanos como lo indicó Nilsson *et al.* (1997).

El estudio de la diversidad de árboles ha sido abordado desde diversos enfoques, por lo que las comparaciones entre paisajes de diferentes estudios pueden resultar

limitadas. Wania *et al.* (2006) reportó a los paisajes urbanos de Alemania central con valores de riqueza de árboles y plantas vasculares más altos que los de paisajes rurales, mientras que Blood *et al.* (2016) reportaron ocho paisajes urbanos de Estados Unidos con valores mayores de riqueza de especies y de índice de diversidad en comparación de sus entornos rurales. En este estudio, el diseño de ventanas (Hallfater & Rös, 2013) permitió analizar a los paisajes considerándolos como áreas heterogéneas que son altamente variables debido a la combinación de factores ambientales, la composición de diferentes tipos de uso de suelo y la disponibilidad de agua (Ceballos, 1997; Godefroid & Koedam (2007). Expresar los valores de diversidad verdadera en términos de especies equivalentes o efectivas (Jost, 2006; 2007) permitió comparar la magnitud de la diferencia entre las comunidades a diferentes escalas y dimensiones, ya que considera a las especies de acuerdo con su abundancia en la comunidad, a diferencia del índice de Shannon, que se ha usado muchas veces en el estudio de árboles y vegetación urbana (Zamudio, 2001; García *et al.*, 2015; Blood *et al.*, 2016; De la Concha *et al.*, 2017; Jha *et al.*, 2019; Sikuzani *et al.*, 2019). Moreno *et al.* (2001) señala que emplear este índice en otros estudios permitió una mejor interpretación de los patrones, similitudes y diferencias entre comunidades.

Kendal *et al.* (2014) reportaron que los patrones de diversidad varían en diferentes climas y tipos de uso de suelo a nivel mundial. Por otro lado, McKinney (2002) señaló que los patrones de otros taxones como aves, mariposas, insectos y mamíferos son diferentes, ya que en los paisajes urbanos el número de especies suele disminuir a menos de la mitad del que se encuentra en los paisajes rurales.

Además, se ha demostrado que la presencia y diversidad de especies de aves está más influenciada por las características de los árboles de las calles que por las características en sí del paisaje urbano (Pena *et al.*, 2017). En este estudio, los valores de diversidad de árboles en los paisajes urbanos y en los rurales son bajos. De acuerdo con las reglas que han sido establecidas como recomendaciones, una sola especie no debería exceder el 5%-10% de la población total del arbolado (Zamudio, 2001; Santamour, 2004). En este trabajo, en todos los paisajes tanto urbanos como rurales, entre dos y tres especies tuvieron un porcentaje mayor, incluso especies como *Terminalia catappa*, *Fraxinus uhdei* y *Ficus benjamina* presentaron abundancias entre 25% y 40% mientras *Cocos nucifera*, *Pithecellobium dulce* y *Prosopis juliflora* tuvieron entre 40% y 50% en los paisajes rurales.

En cuanto a la similitud que se registró entre los paisajes, se encontró mayor similitud entre los paisajes urbanos que entre cualquier pareja de paisajes urbano/rural, a pesar de que los primeros se encuentran entre 140 a 330 km de distancia y los pares de ventana solo están separados por pocos kilómetros. Los valores de similitud, entre los paisajes urbanos, aunque son bajos, pueden ser atribuidos a factores socioeconómicos y culturales ya que son fuerzas que moldean la biodiversidad urbana (Bourne & Conway., 2014; Morgenroth *et al.*, 2016). Además, hablamos de paisajes que se encuentran en diferentes regiones fisiográficas con características topográficas, hidrográficas, geológicas y geomorfológicas diferentes (García *et al.*, 2004).

La alta similitud reportada entre los paisajes rurales y urbanos de Tehuantepec y Puerto Escondido es atribuida a la presencia especies como *Terminalia catappa*,

*Cocos nucifera*, *Mangifera indica* y *Guazuma ulmifolia*, especies de importancia económica que proveen de alimento, forraje o sustento económico a la región. Monroy y Colin (2004) ha señalado que el grado de conocimientos que los habitantes conservan acerca de las plantas silvestres influye en la decisión de conservar especies en sus terrenos de cultivo. Sotelo-Barrera (2017) indicó que las especies con valores de uso múltiple son las que destacan con alto valor cultural dado que en este sentido se involucran las costumbres, sus conocimientos y su cosmovisión. Es por lo que, especies nativas como *Leucaena leucocephala*, *Spondias purpurea*, *Pithecellobium dulce* e introducidas como *Tamarindus indica*, *Mangifera indica* y *Cocos nucifera* se han vuelto importantes culturalmente en paisajes urbanos y rurales. En el caso de *Pithecellobium dulce*, la cual se presentó en las cuatro regiones fisiográficas, Rocas *et al.* (2010) ha atribuido a esta especie ser de fácil establecimiento, propagación y crecimiento. Además, se ha señalado que tolera sequías, soporta tala continua, sus frutos son comestibles y tiene usos en la medicina tradicional.

En general, las regiones aún reflejan su grupo de especies biogeográficas ya que como señalan Aronson *et al.* (2014), las biotas urbanas aún no se han homogeneizado taxonómicamente. Esto se reflejó de igual forma en los valores altos de diversidad beta tanto entre regiones como entre paisajes dado que, aunque hay especies compartidas, las especies más abundantes difieren entre los paisajes. Blood *et al.* (2016) han indicado que pocos estudios reflejan similitudes cuantificadas en la composición de especies arbóreas de paisajes urbanos.

## 4.2 Distribución de las especies nativas e introducidas en los paisajes urbanos y rurales

Como se esperaba, la riqueza de especies introducidas fue mayor del 50% en comparación con las nativas en los cuatro paisajes urbanos estudiados en el estado de Oaxaca, ya que casos similares han sido reportados en otras ciudades del país. Se ha demostrado que las especies introducidas tienen alta tolerancia ante el estrés y las características físicas, químicas y biológicas del suelo de los paisajes urbanos. (Kang *et al.*, 2003). Además, suelen ser de bajo costo, de crecimiento rápido y están bien representadas en las ciudades, dado que han sido cultivadas exitosamente por muchos años (Godefroid y Koedam, 2007). En Monterrey, del total de especies registradas, 53% correspondió a especies introducidas (Alanís, 2005); en Morelia se reportó un 52% (Madrigal-Sánchez y Gómez, 2007); 55.7% para Xalapa, Veracruz (Falfán y MacGregor-Fors, 2016); 74% en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Román-Guillén *et al.*, 2019) y 56.56% para la ciudad de Oaxaca (Martínez-Lopez, 2017). Sin embargo, en este estudio también se presentó alta abundancia de especies nativas como *Ehretia tinifolia*, *Melicoccus bijugatus*, *Tabebuia rosea*, *Fraxinus uhdei*, *Tabebuia donnell-smithii*. Esto señala que la alta diversidad de especies en los paisajes urbanos, al menos a escala local, no puede ser atribuida exclusivamente a la presencia de especies introducidas. Kühn *et al.* (2004) señaló para Alemania y Wania *et al.* (2006) para Alemania Central que las especies nativas también contribuyeron a una mayor riqueza en la zona urbana. Caso similar se registró en todos los paisajes rurales, en donde más del 53% de la riqueza de

especies perteneció a especies nativas. Sin embargo, también se presentó alta riqueza de especies introducidas como *Cocos nucifera*, *Mangifera indica* y *Citrus limon*.

Al considerar las abundancias de los árboles en los paisajes urbanos los patrones fueron similares, excepto en el paisaje urbano de Oaxaca donde el 73% de los árboles registrados fueron nativos. Sin embargo, Martínez-Lopez (2017) registró al norte del paisaje urbano de Oaxaca en una ventana de las mismas dimensiones que este estudio, que el 79% de los árboles registrados perteneció a especies introducidas. En otra ventana al centro del paisaje reportó 68% de árboles introducidos y en una tercera ventana al sur registró 83% de árboles introducidos. En cuanto a las abundancias en paisajes rurales, en general se presentó más del 53% de árboles nativos en todos los paisajes, excepto en Tehuantepec donde el 66% de los árboles pertenecieron a especies introducidas. Por lo tanto, los patrones de abundancias de árboles nativos e introducidos no pueden considerarse consistentes en los paisajes urbanos y rurales.

La expansión de la mancha urbana y el cambio en los usos del suelo ha propiciado el esparcimiento y la adaptación de diversas especies a distintos ambientes. En México existen especies de árboles nativos que son empleados en programas de reforestación, restauración ecológica y desarrollo agrosilvopastoril (Bacab *et al.*, 2013). Sin embargo, en las ciudades no siempre son implementados como primera opción debido a la poca disponibilidad o la poca información que se tiene sobre ellas (Niembro, 2001). Aunque en gran variedad de países del mundo se ha priorizado la implementación de especies nativas, esto no asegura una mejora en el ecosistema

si no se da un seguimiento continuo de ellas ni se lleva a cabo un control de plagas y enfermedades adecuado. Además, es necesario señalar que en muchos casos las especies nativas son más vulnerables en espacios perturbados a comparación de las especies exóticas que son más resistentes (PAOT, 2010).

Knapp *et al.* (2009) han señalado que contar con una planificación sólida y la generación de estrategias adecuadas permitirá que especies como *Guaiacum coulteri*, que se encuentra registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como endémica, sean conservadas.

#### 4.3 Recomendaciones en los planes de manejo y registro de otros organismos en los árboles

La diversidad de especies es reconocida como un factor de importancia crucial para evitar que plantaciones sean susceptibles ante patógenos específicos o ante escenarios críticos provocados por el cambio climático (Quigley, 2004). Por lo tanto, se recomienda que las reforestaciones urbanas que se efectúen en un futuro en el estado de Oaxaca no solo consideren la riqueza de especies, pues paisajes como los reportados en este estudio, con valores bajos de diversidad en el orden que considera las especies abundantes ( $q=2$ ), y alta dominancia de unas pocas especies, son paisajes en los que se requieren nuevas estrategias.

En los paisajes rurales es de crucial importancia la implementación de alternativas sostenibles que disminuyan los efectos de actividades como la ganadería y la

agricultura. Los sistemas silvopastoriles tienen la ventaja de permitir la incorporación de árboles, ya sea en cercos o dispersos, que proporcionen no solo beneficios ecológicos sino, además, forraje, abono, cortinas rompevientos, madera de calidad o leña (Benavides, 1999; Villanueva, 2015). Por ejemplo, especies como *Leucaena esculenta* han sido empleadas de forma efectiva en sistemas silvopastoriles como sombra para cafetales, cercas vivas y alimento por pobladores de la Mixteca de Oaxaca (Peralta-Juárez *et al.*, 2017). La implementación de estas actividades permitirá que los efectos negativos de las actividades antropogénicas sean menores en ecosistemas frágiles como la vegetación ribereña pues representan hábitat y alimento para la fauna silvestre y tienen uso recreativo y proporcionan forraje o leña (Villarreal *et al.*, 2006). Por ejemplo, en estas zonas, en el paisaje rural de Oaxaca se registró 38% del total del arbolado de las cuales más del 80% correspondió a especies nativas. Así mismo, en una sección del río Mixteco que cruza el paisaje rural de Huajuapán se registraron solo especies nativas como *Pithecellobium dulce* y *Salix humboldtiana* e igualmente en el paisaje rural de Puerto Escondido, donde se registraron solo especies nativas como *Guazuma ulmifolia*, *Cordia dentata* y *Vachellia cornigera*. Las zonas ribereñas representaron sitios con alta abundancia de árboles y mostraron una estructura de coberturas conectadas o lineales, a diferencia del patrón de árboles aislados que se presenta generalmente en los paisajes relictuales. Estos resultados muestran el papel fundamental que los hábitats ribereños juegan en la diversidad de los paisajes rurales. Además, se ha registrado que promueven y mantienen comunidades de aves heterogéneas en hábitats cercanos (Domínguez-López y Ortega-Álvarez, 2014) e intervienen en la

calidad del agua y la disminución en la pérdida de suelo por procesos erosivos (Jung *et al.*, 2018).

El establecimiento de especies nativas sin el previo conocimiento de su biología o de especies introducidas con estatus como invasora puede representar un factor de riesgo para especies de fauna y flora nativa de paisajes rurales. La especie introducida *Callistemon citrinus* (Escobillón rojo) sirve de ejemplo, ya que está reportada como una especie invasora para México (SEMARNAT, 2017). Aunque se le atribuye un impacto de baja intensidad, tiene un alto riesgo de establecimiento y un riesgo medio de transmisión de patógenos por hongos del género *Cylindrocladium*. Este género ha sido reportado como responsable de daños a frutos de *Cocos nucifera* (Poltronieri *et al.*, 2005). Esta especie se presentó con un solo individuo dentro de un terreno de cultivo en la ventana rural de Tehuantepec, una ventana en la que 40% de los árboles reportados corresponde a la especie *Cocos nucifera*. El daño que ocasionaría una especie con mayor alto grado de invasión o de transmisión de enfermedades sería irreparable para las personas que cultivan esos frutos como medio económico de sustento. De igual forma, la movilización y comercialización de plantas infestadas por organismos del género *Rhynchophorus* podrían ocasionar pérdidas irreparables en paisajes como Tehuantepec y Puerto Escondido, donde la abundancia de especímenes de la familia Arecaceae es alta. Este organismo, conocido como picudo de la palma de coco ya ha sido reportado como la principal causa de muerte de palmeras en muchas ciudades de México, incluida Oaxaca (Segura *et al.*, 1996; Ovando *et al.*, 2010; SADER, 2019).

En los paisajes urbanos de Puerto Escondido, Oaxaca y Huajuapán, la presencia de plantas hemiparásitas de las familias Loranthaceae y Viscaceae, no fue exclusiva de plantas introducidas como *Ficus benjamina*, *Terminalia catappa* y *Mangifera indica* sino también se presentó en árboles nativos como *Fraxinus uhdei*, *Tabebuia rosea*, *Swietenia humilis* y *Vachellia bilimekii*. En el paisaje rural de Oaxaca, la especie de muérdago *Psittacanthus* sp incluso se presentó en mayor proporción en especies nativas como *Pithecellobium dulce* y *Heliocarpus terebinthinaceus* que en especies introducidas como *Schinus molle*. Aunque a la especie *Pithecellobium dulce* se le ha atribuido ser resistente a plagas (Rocas *et al.*, 2010), en este estudio la presencia de muérdago es un factor importante que los paisajes rurales deben considerar, ya que esta especie se presentó en todos los paisajes con abundancias altas. La presencia de plantas parásitas y hemiparásitas ha sido reportada durante más de 20 años en áreas naturales de la República Mexicana (Marchal, 2009) y puede tener más efectos negativos en un futuro. De igual forma, la presencia de termitas (Isópteros) en 7% de los árboles de *Mangifera indica* del paisaje rural de Tehuantepec podría representar un factor de riesgo. Hurtado-Borrero *et al.* (2017) menciona que estos organismos, aunque son considerados como plaga menor, han ocasionado diversos daños a árboles en huertos de Colombia.

Ruíz (2005) y Zavaleta *et al.* (2010) han señalado que antes de establecer un árbol se debe considerar si esta especie contiene componentes alérgicos y prever si pudieran causar daños a infraestructuras. Los daños a banquetas y bardas se registraron en todos los paisajes en especies introducidas como *Ficus benjamina* o *Mangifera indica* y en especies nativas como *Fraxinus uhdei* y *Tabebuia rosea*.

Estas especies son muy abundantes en los paisajes urbanos y aunque al momento del muestreo el porcentaje de árboles que presentaron esta situación fue bajo, es necesario dar un seguimiento ya que los espacios donde están establecidos son reducidos. Ruiz (2005) reportó para el paisaje urbano de Oaxaca que más del 40% de los árboles que registró causaron el levantamiento y rompimiento de banquetas y daños a propiedad privada.

Entre las especies registradas, *Ficus benjamina* ha sido señalada como una especie que causa severos daños en las ciudades (Vargas y Molina, 2010). Se trata de una especie de crecimiento rápido, follaje denso, bajo costo y ampliamente representada en diversos estados de México como Nuevo León (Alanís, 2005); Oaxaca (Alonso & Quiroz, 2008, Martínez-Lopez, 2017), Puebla (Gutiérrez-Pacheco, 2015) y Chiapas (Román-Guillén *et al.*, 2019). Sin embargo, requiere abundante agua, ha sido reportada frecuentemente por ocasionar daños al caer por acción del viento (Alanís *et al.*, 2004) y en este estudio también se reportó asociada a plantas hemiparásitas. Ante esta situación es necesario que, por ejemplo, la administración a cargo del arbolado urbano de Huajuapán tome en cuenta dado que en este paisaje el 40% de su arbolado está representado por esta especie. Conocer el estado actual del arbolado urbano de las ciudades permite realizar acciones de planificación arbórea adecuadas. Por ejemplo, Mahecha *et al.*, (2010) han señalado que, en la ciudad de Bogotá, después de aplicar censos de arbolado urbano implementan mediciones de captura de gases CO<sub>2</sub> y tecnología avanzada sónica que evalúa los tejidos de los troncos sin hacer daño para determinar situaciones de riesgo.

#### 4.4 Empleo de herramientas digitales e implicaciones en el estudio del arbolado urbano y rural

Para poder realizar una comparación adecuada entre paisajes urbanos se requiere involucrar además del arbolado dispuesto sobre calles y avenidas principales, los árboles presentes en jardines de propiedades privadas, en parques, estacionamientos, panteones y terrenos abandonados para poder así contar con datos comparables que no siempre están disponibles (Quigley, 2004; López, 2008). En este estudio, el marcaje de los árboles internos por medio de imágenes satelitales permitió señalar la importancia de estos en los paisajes urbanos. Si consideramos tanto a los árboles externos como los internos presentes en los paisajes urbanos, su abundancia sería mayor a la que se registró en los paisajes rurales. En los paisajes urbanos, los propietarios de jardines privados deciden qué y cuantos árboles de ciertas especies establecer ya que como menciona Priego (2011), los jardines en estos paisajes no son vistos con carácter de subsistencia sino de disfrute. Igualmente señala que los árboles en las ciudades ya no solo son establecidos por sus beneficios ecológicos sino incluso más por el alto valor de venta que aportan a las propiedades. Tanto el bienestar como la noción de calidad de vida y confort de los habitantes está por lo tanto muy ligada a la vegetación urbana (Gómez, 2005). El estudio de los árboles internos y de incluirlos en estudios de arbolado futuros es por lo tanto necesario. En este aspecto, la participación ciudadana es esencial ya que mediante la integración de los habitantes es posible

que proyectos como *NYC Street Tree Map*<sup>6</sup>, donde se han registrado más de 692 000 árboles de 233 especies, sean posibles.

Considerar los árboles de parques y jardines públicos dentro de este estudio habría representado un aumento en los valores de abundancia y de diversidad de orden  $q=0$ . Sin embargo, consideramos que existe una alta similitud entre los árboles externos y los árboles internos lo cual se reflejaría en valores de diversidad de orden  $q=2$ , de inequidad y similitud sin diferencias significativas. Por ejemplo, en la ciudad de Oaxaca más del 85% de las especies que se encuentran en calles y avenidas principales (Santiago,1997; García, 2006; Martínez-Lopez, 2017) se encuentran en áreas verdes y jardines públicos (Velásquez, 1995; Ignacio, 2006; Jarquín, 2004). Por ello, los árboles de jardines y propiedades privadas fueron consideradas como árboles internos. Asimismo, sitios con alta riqueza como el Jardín Etnobotánico de Oaxaca, que cuenta con más de 1300 especies vegetales que representan al 11% de la flora del estado<sup>7</sup>, no fueron incluidos en el estudio y fueron considerados como árboles internos ya que podría haber alterado los resultados obtenidos.

Por otro lado, en este estudio, el empleo de la herramienta *Google Street View*® representó una disminución de tiempo considerable como también fue señalado por Berland y Lange (2017). El reconocimiento previo de las especies permitió mayor facilidad de orientación y manejo de los datos en campo. Se reconoció previamente el lugar y las especies de prácticamente más del 85% de los árboles establecidos en todos los paisajes urbanos. Una de las desventajas es la disponibilidad de imágenes actualizadas, sin embargo, esta herramienta podría ser implementada

6. <https://tree-map.nycgovparks.org/#neighborhood-19>

7. <https://tools.bgci.org/garden.php?id=3161>

incluso en estudios futuros de arbolado urbano enfocados a la resistencia y el estado de salud de los árboles, dado que se puede registrar la muerte, remoción o establecimiento de nuevos árboles en un periodo de tiempo. Por ejemplo, para el paisaje urbano de Huajuapán, se registró en la fase de campo una disminución del 7.8% de los árboles registrados en imágenes del año 2012. Se ha señalado que los periodos de vida de los árboles urbanos suelen ser muy cortos debido a la compactación del suelo, a valores altos de pH y de sales causados por el asfalto, la contaminación atmosférica y el constante contacto con agua con altos niveles de fósforo procedente de los detergentes (Marinelli, 2002; Falconi *et al.*, 2020). Esta herramienta, aunque ha sido implementada en pocos estudios ha brindado resultados prometedores. Li *et al.* (2015a;b) y Seiferling *et al.* (2017) la reportaron como adecuada para evaluar los niveles de vegetación y cobertura en las calles de Nueva York y de Connecticut. *Google Street View* fue aplicado en Boston (EU) por Li *et al.* (2018) en un método para evaluar los niveles de provisión de sombra de los árboles de las calles mientras que, en las islas de Singapur, fue implementada para estimar la proporción anual de radiación a través del análisis de las coberturas arboladas. Incluso, fue empleada en el reconocimiento de la distribución de una plaga forestal a través del reconocimiento de los nidos característicos que la polilla de seda crea en los árboles (Rousselet *et al.*, 2013). Por lo tanto, es importante incorporar herramientas digitales como *Google Street View* en estudios futuros que involucren el estado de salud de árboles viejos, plagas o factores que representen un riesgo en los paisajes urbanos.

## V. CONCLUSIÓN

El empleo del diseño de ventanas en este estudio y expresar los valores de diversidad verdadera en términos de especies equivalentes permitió el análisis de los paisajes considerándolos áreas heterogéneas y la comparación de la magnitud de las diferencia y similitudes entre las comunidades a diferentes escalas y dimensiones.

La alta diversidad de especies en los paisajes urbanos no fue atribuida exclusivamente a la presencia de especies introducidas, ya que se presentó un alto porcentaje de especies nativas. Los paisajes urbanos aún reflejan especies nativas propias de la región y en los paisajes rurales fue notable el establecimiento de especies introducidas de importancia económica.

Los paisajes urbanos presentaron mayor número de especies introducidas. Caso contrario se presentó en los paisajes rurales en los que se registraron más especies nativas. Al considerar las abundancias, en todos los paisajes urbanos se presentó más del 60% de árboles de especies introducidas. En todos los paisajes rurales, más del 80% de los árboles pertenecieron a especies nativas, excepto de Tehuantepec.

La abundancia de árboles establecidos sobre calles de los paisajes urbanos fue menor a la de los paisajes rurales. Sin embargo, al considerar la abundancia de los árboles internos que están presentes en jardines privados, panteones y áreas verdes, los valores demostraron ser mayores que los de los paisajes rurales por lo que se deben considerar en estudios futuros debido a su importancia.

La similitud entre los paisajes urbanos fue mayor que entre sus propios paisajes rurales a pesar de pertenecer a diferentes zonas fisiográficas. Aunque los valores obtenidos fueron bajos, la difusión de especies que han sido exitosamente cultivadas en otras ciudades ha llevado a que estos elementos se encuentren ampliamente distribuidos. La similitud entre los paisajes rurales, aunque igualmente con valores bajos, es atribuida a la presencia de la especie *Pithecellobium dulce* la cual se presentó en todos los paisajes rurales con abundancias altas.

En todos los paisajes urbanos se registraron daños a infraestructuras como banquetas y bardas, que rodean las raíces de los árboles. Los daños fueron causados principalmente por especies introducidas que se encontraron establecidas en espacios de crecimiento reducidos y que en un futuro podrían representar riesgos para los habitantes. La presencia de plagas y plantas hemiparásitas se registró en las especies más abundantes de los paisajes urbanos, ya sea de especies nativas o introducidas.

Se recomienda la incorporación de *Google Street View* en los estudios de arbolado urbano ya que es una herramienta prometedora que facilita el trabajo en campo y reduce considerablemente el tiempo de muestreo.

Los paisajes urbanos representan sitios cruciales en los que, con la colaboración de los habitantes y un manejo correcto, se pueden preservar especies que se encuentren bajo algún estatus de conservación como *Guaiacum coulteri*. Esta especie fue registrada con dos individuos en el paisaje urbano de Tehuantepec y está registrada como amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Debido a que el estado de Oaxaca está formado por gran variedad de ecosistemas y tipos de suelo es necesario adoptar estrategias que sean adaptadas a las necesidades de cada región. Trabajos futuros deberán explorar los factores sociales y económicos que provocan la dispersión de especies de árboles en los paisajes urbanos y la remoción o permanencia de ciertas especies en los paisajes rurales.

## VI. LITERATURA CITADA

- Alanís, F. G. (2005) El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*. 8:20-32.
- Alanís, F. G., Foroughbakhch P., M. Alvarado V. y A. Rocha E. (2004). El arbolado urbano en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), Nuevo León, México. *Arbórea* 11:14-26.
- Alcalá, J., Sosa, M., Moreno, M., Quintana, C., Quintana, G., Miranda, S. y Rubio, A. (2008). Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de la calidad ambiental urbana: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*. 17: 39-54.
- Alonso, S. y Quiroz, E. F. (2008). Dasonomía Urbana del Municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. 8p.
- Alvey, A. A. (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*. 5(4): 195-201.
- Amico, I. (2006) Arbolado rural, importancia de una buena planificación. Carpeta de información técnica. *Forestal*. 10:41-46.
- Aronson, M. F., La Sorte, F. A., Nilon, C. H., Katti, M., Goddard, M. A., Lepczyk, C. A. y Dobbs, C. (2014). A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *Proceedings of the Royal Society. Biological Sciences*, 281(1780). 8p.
- Bacab, H. M., Madera, N. B., Solorio, F. J., Vera, F., y Marrufo, D. F. (2013). Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3), 67-81.

- Benavides, H. y Segura, C. (1996). Situación del arbolado de alineación de la Ciudad de México: Delegaciones Iztacalco e Iztapalapa, Distrito Federal. *Revista Ciencia Forestal en México*. 21 (79): 122-164.
- Benavides, J. E. (1999). Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. *FAO animal production and health paper*. 449-477.
- Berland, A. y Lange, D. A. (2017) Google Street View shows promise for virtual street tree surveys. *Urban Forestry & Urban Greening*. 21: 11-15.
- Blood A., Starr G., Escobedo F., Chappelka A., y Staudhammer C. (2016). How Do Urban Forests Compare? Tree Diversity in Urban and Periurban Forests of the Southeastern US. *Forests*.7(120):1-15.
- Boa, E. (2008) Guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles. Reconocimiento e interpretación de síntomas y daños. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. San Salvador, El Salvador. 57p.
- Bourne, K. S. y Conway, T. M. (2014). The influence of land use type and municipal context on urban tree species diversity. *Urban ecosystems*, 17(1), 329-348.
- Bustillos, S. (2004). De lo rural a lo urbano en América Latina. *Avances. Documentos de Trabajo de la Coordinación de Investigación*, 26p.
- Calderón-Patrón, J. M., Moreno, C. E. y Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 879-891.
- Ceballos, I. W. (1997) Enverdecimiento urbano de Chile. En: Krishnamurthy L. y Rente N., I. (Eds.). Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Memoria de Seminario Internacional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México, pp. 231-251.
- Chambers, R. y Leach, M. (1987) Trees to meet contingencies: savings and security for the rural poor. *Social Forestry Network*. 29p.

- Chávez, R. H. C. (1997) Árboles de patios y jardines de la colonia Santa Anita, Oaxaca, México. *Tesis de Ingeniería en Agronomía en Sistemas de Producción Forestal*. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23, Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. 147p.
- Christenhusz, M. J. M.; Reveal, J. L.; Farjon, A.; Gardner, M. F.; Mill, R. R. y Chase, M. W. A. (2011) New classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa*. 19: 55-70.
- CONABIO (2012) Guía de campo: Árboles comunes de la ciudad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en [www.biodiversidad.gob.mx](http://www.biodiversidad.gob.mx). Consultado en abril 2019.
- Close, D. C. y Davidson, N. J. (2004). Review of rural tree decline in a changing Australian climate. *TASFORESTS-HOBART*, 15, 1-18.
- Cronquist A. (1981) An integrated system of classification of flowering plant. Columbia University Press. pp. 51-56.
- De Camino, R. (2005) ¿Especies nativas o exóticas? Ése es el dilema. *Revista mensual sobre la actualidad ambiental*. 141: 7-8.
- De la Concha H., Roche y García, A. (2017). Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida. Honorable Ayuntamiento de Mérida. 58p.
- De la Paz P. O.; Ceja R. C. J. y Vela R. G. (2006) Árboles y muérdagos: una relación que mata. *Revista de educación en ciencias e ingeniería* 59: 3834.
- Dobbs, C., Eleuterio, A. A., Amaya, J. D., Montoya, J. y Kendaly, D. (2018). Beneficios de la silvicultura urbana y periurbana. *Unasyuva*, 69, 22-29.
- Calderón de R. G. y Rzedowski, J. (2001) Flora fanerogámica del Valle de México. Segunda edición. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406p.

- DOF (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. México, D.F. pp. 20-77.
- Domínguez-López, M. E. y Ortega-Álvarez, R. (2014). The importance of riparian habitats for avian communities in a highly human-modified Neotropical landscape. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1217-1227.
- Dwyer, M. C. y Miller, R. W. (1999) Using GIS to assess urban tree canopy benefits and surrounding greenspace distributions. *Journal of Arboriculture*. 25(2): 102-107.
- Falconi, E. J., Yaya, D. S., Velásquez, M., Moscol, A. A. y Cavero, O. B. (2020). Riesgos del uso de detergentes domésticos en la calidad del agua en poblaciones en transición de lo rural a lo urbano: Churín 2017. *Alternativa Financiera*. 9(1).
- Falfán I. y MacGregor-Fors, I. (2016). Paisajes urbanos leñosos en el Neotrópico: Riqueza y composición de especies de árboles y arbustos en Xalapa. *Madera y Bosques*. 22(1): 95-110.
- FAO. (2010). Términos y definiciones. Programa de evaluación de los recursos forestales. Departamento Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 30p.
- Fernández-Juricic, E. (2000). Avifaunal use of wooded streets in an urban landscape. *Conservation Biology*. 14(2):513-521.
- Fotosíntesis (2012) Proyecto Oleoducto Bicentenario. Guía ilustrada de las plantas epífitas del tramo Araguaney-Banadía. Bogotá Colombia, 116 pp.
- García E., E. (2008). El proceso de expansión urbana y su impacto en el uso de suelo y vegetación del municipio de Juárez, Chihuahua. Tesis de Maestría en Administración integral del ambiente. Tijuana, B. C., México. 155p.

- García-Mendoza, A. J., Díaz, M. D. J. O. y Briones-Salas, M. (Eds.). (2004). *Biodiversidad de Oaxaca*. UNAM. Instituto de Biología. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fund. México
- García, M. P. (2006) Inventario forestal y observaciones fenológicas del arbolado de la Calzada de la República de la Ciudad de Oaxaca. Memoria de Residencia. Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. p.100.
- García Mayoral, L. E., Valdez Hernández, J. I., Luna Cavazos, M. y López Morgado, R. (2015). Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y bosques*, 21(3), 69-82.
- Godefroid, S., y Koedam, N. (2007). Urban plant species patterns are highly driven by density and function of built-up areas. *Landscape Ecology*, 22(8), 1227-1239.
- Gómez, L. F. (2005). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. Ciudad y Territorio. *Estudios Territoriales*. 37(144):1-20.
- González, P. C. (2011) Naturaleza y Sociedad. El valor de los espacios verdes urbanos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. p.45.
- Gregersen, H. M. (1988) People, trees, and rural development: The role of social forestry. *Journal of Forestry*. 86(10): 22–30.
- Gregório A. R. (2012) Urbanismo y planificación: Áreas Verdes Urbanas. *Summa Humanitatis*. 6:49.
- Groffman, P. M., Bain, D. J., Band, L. E., Belt, K. T., Brush, G. S., Grove, J. M. y Zipperer, W. C. (2003). Down by the riverside: urban riparian ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(6), 315-321.
- Gutiérrez-Pacheco, V., Silva-Gómez, S. E., Toxtle-Tlamani, J. S. y Hernández-Zepeda, J. S. (2015). El arbolado de los espacios públicos abiertos de la zona

- de monumentos del centro histórico de la Ciudad de Puebla. *Estudios en Biodiversidad*. 15:1-13.
- Halfpeter, G. y Rös, M. (2013) A strategy for measuring biodiversity. *Acta Zoológica Mexicana*. 29(2): 400-411.
- Hurtado, H. Y., Manga, D. A. M. A. y Sepúlveda-Cano, P. A. (2017). Registro de termitas (Isoptera) asociadas a cultivos de mango (*Mangifera indica*) en el departamento del Magdalena, Colombia. *Intropica*. 12(2):109-115.
- Ibarra-Manríquez, G., Martínez-Morales, M. y Cornejo-Tenorio, G. (2015). Frutos y semillas del bosque tropical perennifolio: región de Los Tuxtlas, Veracruz. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México*.
- INEGI. 2015. Distribución de la población por tamaño de localidad y su relación con el Medio Ambiente. Resumen de Seminario-taller "Información para la toma de decisiones: Población y Medio Ambiente". Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 126p. Consultado en abril 2020
- Ignacio, G. J. P. (2006) Inventario forestal y observaciones fenológicas de los árboles en el Jardín Conzatti de la Ciudad de Oaxaca. *Memoria de Residencia Profesional. Ingeniería Forestal*. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. p.101.
- ISA. (2007). Benefit of Trees. Beneficios de Los Árboles. Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA) Traducción Moreno & Chueca España. Edición Zayas USDA. Illinois USA. 4p.
- ISA. (2006). Problemas causados por plagas y enfermedades. Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA). Champaign, Illinois. 4p.
- Jarquín, F. A. (2004) Inventario y descripción morfológica de las especies arbóreas del paseo Juárez "El Llano", Oaxaca, Oaxaca. *Tesis de Ingeniería en Agronomía*. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. p. 88.

- Jha, R. K., Nölke, N., Diwakara, B. N., Tewari, V. P. y Kleinn, C. (2019). Differences in tree species diversity along the rural-urban gradient in Bengaluru, India. *Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 126464.
- Jost, L. (2006) Entropy and diversity. 2006. *Oikos* 113:363-375.
- Jost, L. (2007) Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*. 88:2427-2439.
- Jung, P. H., Brun, F. G. K., Brun, E. J., Longhi, S. J. y Pastorio, A. P. (2018). Urban and agricultural impacts in the structure and diversity of tree vegetation in riparian forest. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences*. 13(2).
- Kang, M., Dong, S., Huang, X., Xiong, M., Chen H. y Zhang, X. (2008). Ecological regionalization of suitable trees, shrubs, and herbages for vegetation restoration in the farming-pastoral zone of Northern China. *Acta Botánica Sínica*. 45(10):1157-1165.
- Knapp, S.; Kühn, I.; Bakker, J. P.; Kleyer, M.; Klotz, S.; Ozinga, W. A.; Poschlod, P.; Thompson, K.; Thuiller, W. y Römermann, C. (2009) How species traits and affinity to urban land use control large-scale species frequency. *Diversity and Distributions*. 15(3): 533-546.
- Kendal, D., C. Dobbs, y V. Lohr I. (2014). Global patterns of diversity in the urban forest: Is there evidence to support the 10/20/30 rule? *Urban Forestry & Urban Greening* 13:411-417.
- Krause, F. y Koomey, J. (1989) Unit costs of carbon savings from urban trees, rural trees, and electricity conservation: A utility cost perspective. Ed. Lawrence Berkeley Laboratory. Berkeley, California. p. 23.
- Kuchelmeister, G. (2000) Árboles y silvicultura en el milenio urbano. *Unasyva*. 200(51): 49-55.
- Kühn, I.; Brandl, R. y Klotz, S. (2004) The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research*. 6(5): 749-764.

- Li, X., Zhang, C., Li, W., Ricard, R., Meng, Q. y Zhang, W. (2015a). Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 675-685.
- Li, X., Zhang, C., Li, W., Kuzovkina, Y. A. y Weiner, D. (2015b). Who lives in greener neighborhoods? The distribution of street greenery and its association with residents' socioeconomic conditions in Hartford, Connecticut, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 751-759.
- Li, X., Ratti, C. y Seiferling, I. (2018). Quantifying the shade provision of street trees in urban landscape: A case study in Boston, USA, using Google Street View. *Landscape and Urban Planning*, 169, 81-91.
- Lockhart, I. y Gómez, V. (2009) Cambio climático. Plan de acción Buenos Aires. 2030. Argentina: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Consultado en mayo de 2019 en <http://www.ecopuerto.com/bicentenario/informes/CAMBCLIM.BSAS2030.pdf>
- López, E. (2013) Beneficios en la implementación de áreas verdes urbanas para el desarrollo de ciudades turísticas. *Revista de Arquitectura, Urbanismo y Ciencias Sociales*. 4(1):1-16.
- López, F. I. (2008) Arbolado urbano en Mérida, Yucatán y su relación con aspectos socioeconómicos, culturales y de la estructura urbana de la ciudad. Tesis de Maestría en Ciencias en la Especialidad de Ecología Humana. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional- Unidad Mérida. Mérida, Yucatán. p.172.
- Madrigal-Sánchez, X. y Gómez, P. M. (2007) Árboles de las áreas urbanas y suburbanas de Morelia, Michoacán, México. *Biológicas*. 9:12-22.
- Mahecha, G., Sánchez, F., Chaparro, J., Cadena, H., Tovar, G., Villota, L. y Quintero, M. (2010). Arbolado urbano de Bogotá. Identificación, descripción y bases para su manejo. Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá, DC, Secretaría Distrital de Ambiente, SDA-Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 399p.

- Marchal, V. D. (2009). El muérdago en la Ciudad de México. *ArbolAMA*.2:10-30.
- Marcon, E. y Herault, B. (2015). Entropart: An R Package to Measure and Partition Diversity. *Journal of Statistical Software*. 67(8): 1-26.
- Marinelli, J. (2002). ÁRBOLES. Brooklyn Botanic Garden. Ed. Trillas. México, D.F. 159p.
- Martinez-Lopez, C. (2017). Comparación de la diversidad de árboles entre una zona urbana y rural en Valles Centrales de Oaxaca. *Tesis Profesional. Licenciatura en Biología Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca*. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. p.136.
- Martinez-Lopez C., Hernández-Santiago E. y Rös, M. (2017). Comparación de la diversidad de árboles entre una zona urbana y rural en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 4(2):103-112.
- McIntyre, S. y Hobbs, R. (1999). A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. *Conservation Biology*, 13(6), 1282-1292.
- McKinney, M. L. (2002) Urbanization, biodiversity, and conservation: the impacts of urbanization on native species are poorly studied but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *Bioscience*. 52(10): 883-890.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249-1261.
- Morgenroth, J.; Östberg, J.; Konijnendijk van den Bosch, C.; Nielsen, A. B.; Hauer, R.; Sjöman, H.; Chen, W. y Jansson, M. (2016) Urban tree diversity-Taking stock and looking ahead. *Urban Forestry & Urban Greening*. 15: 1-5.
- Monroy, R. y Colín, H. (2004). El guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth, un ejemplo de uso múltiple. *Madera y Bosques.*, 10(1), 35-53.

- Nájera R. M.B. y Souza, B. (2010) Insectos benéficos: Guía para su identificación. Instituto Nacional de Investigaciones forestales y Agrícolas pecuarias (INIFAP). Uruapan, Michoacán. 75p.
- Niembro R. A. (2001). Las diásporas de los árboles y arbustos nativos de México: posibilidades y limitaciones de uso en programas de reforestación y desarrollo agroforestal. *Madera y Bosques*. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. 7(2): 3-11.
- Nilsson K., Randrup T. y Tvedt T. (1997). Aspectos tecnológicos del enverdecimiento urbano. En: Krishnamurthy L. y Rente N., I. (Eds.). Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Memoria de Seminario Internacional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México, pp. 51-118.
- Nowak, D. J.; Dwyer, J. F. y Childs, G. (1997) Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. En: Krishnamurthy L. y Rente N., I. (Eds.). Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Memoria de Seminario Internacional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México, pp. 17-38.
- Oliver, G. B.E. y Jiménez, S. J.C. (2013). Impacto del fomento y conservación de áreas verdes en la imagen urbana y salud física de los habitantes. *Revista UNIMAR*. 61: 51-60.
- Ovando-Cruz, M. E., Serrano-Altamirano, V., Ríos Luna, T., Ariza-Flores, R. y Barbosa-Moreno, F. (2010). Manejo fitosanitario del cocotero en la Costa de Oaxaca. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oax., 71 p.
- PAOT. 2010. Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. Ciudad de México. 261p.

- Pena, J. C., Martello, F., Ribeiro, M. C., Armitage, R. A., Young, R. J. y Rodrigues, M. (2017). Street trees reduce the negative effects of urbanization on birds. *PloS one*, 12(3).
- Peralta-Juárez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A. y Reyes-Dorantes, A. (2017). Uso antropocéntrico del guaje *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé Ex. Dc.) Benth, en dos comunidades de la mixteca baja oaxaqueña, México. *Polibotánica*, (43), 349-364.
- Pimienta-Barrios, E.; Robles-Murguía, C.; Carvajal, S.; Muñoz-Urias, A.; Martínez-Chávez, C. y De León-Santos, S. (2012) Servicios ambientales de la vegetación en ecosistemas urbanos en el contexto del cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 5(22):1-14.
- Poltronieri, L., Trinidad, D., Afenas, A., Albuquerque, F. y Carvalho, J. (2005) Podridão peduncular de coco causada por *Cylindrocladium floridanum* no Estado do Pará. *Fitopatologia Brasileira*, 28(1), 106-106
- Priego, C. (2011). Naturaleza y Sociedad. El valor de los espacios verdes urbanos, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. 50p.
- Puma, Q, N. E. (2011) Inventario de especies arbóreas de la zona rural del Cantón Cayambe. *Tesis de Ingeniería Agropecuaria*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Cayambe, Ecuador. p. 89.
- Quigley, M. F. (2004) Street trees and rural conspecifics: will long-lived trees reach full size in urban conditions? *Urban Ecosystems* 7: 29-39.
- Ranganathan, J. y Daily, G. C. (2007) La biogeografía del paisaje rural: oportunidades de conservación para paisajes de Mesoamérica manejados por humanos. In: Harvey, C. y Sáenz, J. C. (Eds). Evaluación y Conservación de Biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Ed. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. pp.15-30.

- Reyes, A. I. y Gutiérrez, C. J. (2010) Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera*. 12(1): 96-102.
- Richards, D. R. y Edwards, P. J. (2017). Quantifying street tree regulating ecosystem services using Google Street View. *Ecological indicators*, 77, 31-40.
- Rivas, T. D. (2001) Importancia y ambiente de los bosques y árboles urbanos. Universidad Autónoma de Chapingo. p. 77.
- Rocas, A. N., Torres, M. V. y Sánchez, O. S. (2010). Árboles de Veracruz: 100 especies para la reforestación estratégica. Comisión Organizadora del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. 130p.
- Rodríguez, S. L. y Cohen, F. E. (2003). Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente. Dirección General de la Unidad de Bosques urbanos y educación ambiental. 375p.
- Román-Guillén, L. M., Orantes-García, C., Carpio-Penagos, C. U. D., Sánchez-Cortés, M. S., Ballinas-Aquino, M. L. y Farrera Sarmiento, Ó. (2019). Diagnóstico del arbolado de alineación de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Madera y bosques*, 25(1).
- Rousselet, J., Imbert, C. E., Dekri, A., Garcia, J., Goussard, F., Vincent, B. y Rossi, J. P. (2013). Assessing species distribution using Google Street View: a pilot study with the pine processionary moth. *PLoS One*, 8(10).
- RStudio (2016) RStudio team: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. Disponible en: <http://www.rstudio.com/>
- Rubio, R. J. M. (1995) Ambiente urbano y fauna beneficiada por el mismo. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 15:619-624.
- Ruíz, P. J. (2005) Impactos sobre la infraestructura urbana ocasionados por los árboles de la colonia Reforma, Oaxaca. Memoria de Residencia Profesional.

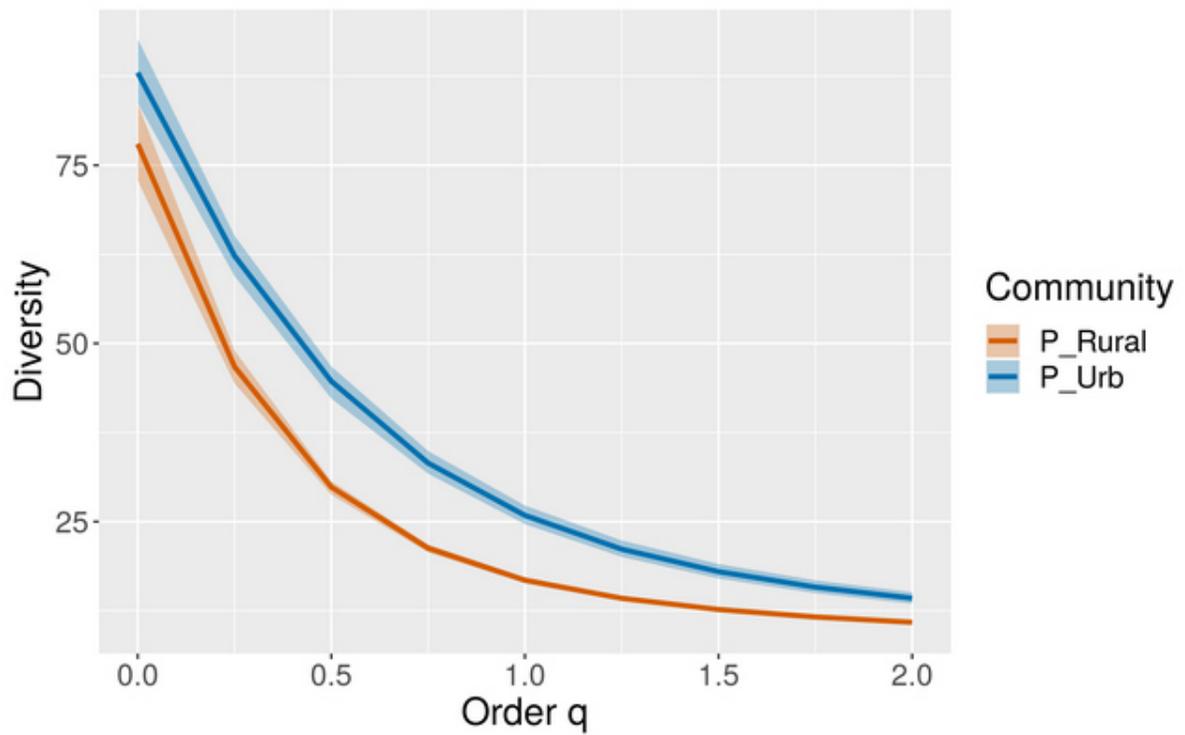
- Licenciatura en Biología. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. p. 116.
- SADER. (2019). Picudo rojo de las palmas, *Rhynchophorus ferrugineus*, Oliver, 1970. Ficha Técnica No. 15. Secretaría de Agricultura y desarrollo rural. Servicio Nacional de Sanidad, inocuidad y calidad agroalimentaria. 25p.
- Santiago, A. A. (1997) Condición actual de los árboles del periférico de la ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca. Tesis de Ingeniería en Agronomía en Sistemas de Producción Forestal. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. p. 74.
- Santiago-Ramos, J. (2008) La naturaleza en la ciudad: perspectivas teóricas y metodológicas para el estudio de la funcionalidad ambiental del espacio libre. Ed. Consejería de Obras pública y Transportes. Sevilla, España. p. 156.
- Santamour, J. F. S. (2004). Trees for urban planting: diversity uniformity, and common sense. Proceedings of the 7th Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance. The Morton Arboretum. 7:57–65.
- Schewenius, M. (2016). Resiliencia y sostenibilidad en la era urbana. *Ecofronteras*. 20(57):2-5.
- Segura A., M., Sotelo B., M. y Lozano F., D. 1996. Marco de referencia del problema de picudo negro (*Rhynchophorus palmarum* linn) en palmera canaria (*Phoenix canariensis*) en la zona metropolitana de Guadalajara". Tesis profesional de Ingeniería Agrónoma Fitotecnista. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y agropecuarias. 40p.
- Seiferling, I., Naik, N., Ratti, C. y Proulx, R. (2017). Green streets– Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. *Landscape and Urban Planning*, 165, 93-101.
- SEMARNAT. (2002). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora

- y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, segunda sección. 1-81p.
- SEMARNAT. (2017). Lista de especies exóticas invasoras para México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado el 23/04/20 <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/listado-de-plantas>
- Sierra, V. M. A. (2012) Ciudad y fauna urbana: un estudio de caso orientado al reconocimiento de la relación hombre, fauna y hábitat urbano en Medellín. Tesis de Magister en Estudio Urbano-Regionales. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, Colombia. p. 66.
- Sikuzani, Y. U., Malaisse, F., Kaleba, S. C., Mwanke, A. K., Yamba, A. M., Khonde, C. N., Bogaert, J. y Kankumbi, F. M. (2019). Tree diversity and structure on green space of urban and peri-urban zones: The case of Lubumbashi City in the Democratic Republic of Congo. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41, 67-74.
- Sorensen, M.; Barzetti, V.; Keipi, K. y Williams, J. R. (1998) Manejo de las áreas verdes urbanas. Documento de buenas prácticas, División de Medio Ambiente, Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C. 81p.
- Sotelo-Barrera, M., García-Moya, E., Romero-Manzanares, A., Monroy, R. y Luna-Cavazos, M. (2017). Arboreal structure and cultural importance of traditional fruit homegardens of Coatetelco, Morelos, Mexico. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1), 137-153.
- Suárez, A. y Quiroz, R. (2008) Dasonomía Urbana del Municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. 97:1-8.
- Torres, R. (2000) ÁRBOLSIG: Sistema de Información Geográfica para árboles urbanos. Tesis de Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Facultad de Ingeniería. Santafé de Bogotá, D.C. p.83.

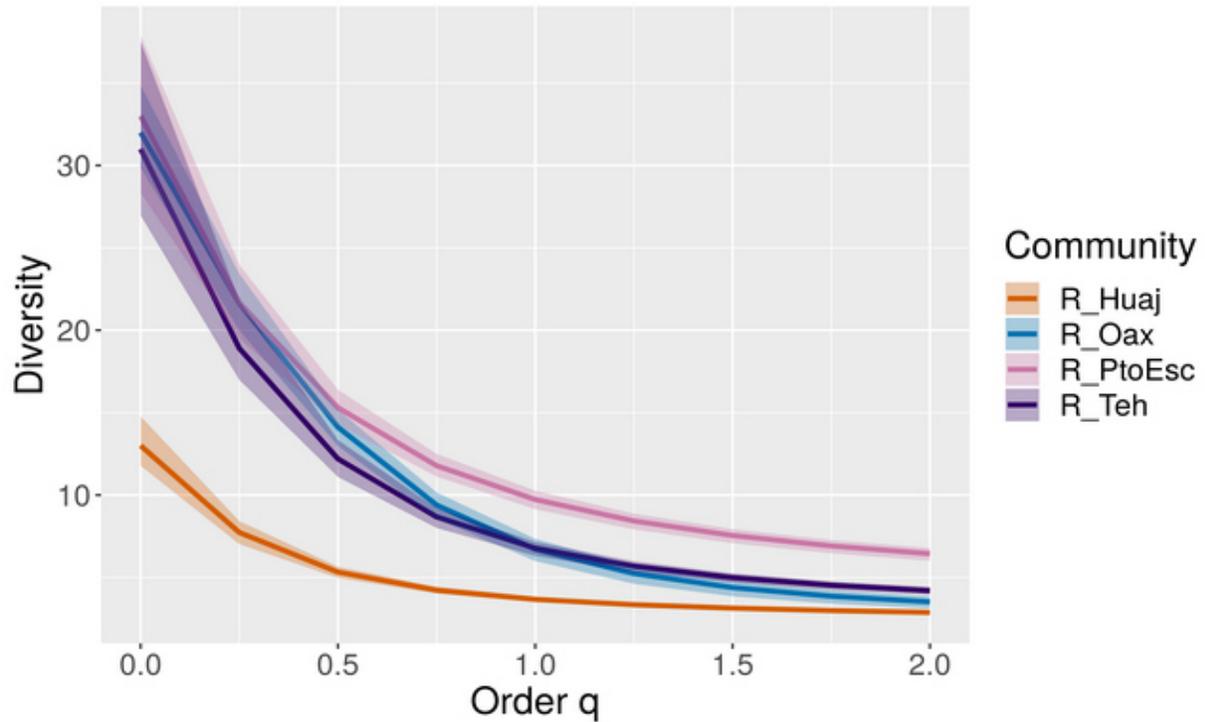
- Ugidos, A. A. (2013) Metodología basada en SIG para optimizar la urbanización y gestión de espacios verdes a partir de bases de datos geo-referenciadas. Tesis Doctoral. Universidad de León. Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias. p. 186.
- Van Heezik M., Dickinson, K. J. M. y Freeman, C. (2012). Closing the gap: Communicating to change gardening practices in support of native biodiversity in urban private gardens. *Ecology and Society*, 17 (1): 34.
- Vargas, B. y Molina, L. (2010). Cinco árboles urbanos que causan daños severos en las ciudades. *Revista Nodo*, 5(9).
- Vásquez, H. J. (2009) Árboles y arbustos para ciudades. Investigación ambiental Ciencia y política pública. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. p. 600.
- Velásquez, S. R. (1995) Los árboles de las áreas verdes del centro de la ciudad de Oaxaca de Juárez. Tesis de Maestría en Ciencias en Productividad Forestal. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, México. p.143.
- Villanueva L. G. (2015). Árboles y arbustos en áreas ganaderas de Tabasco: un recurso prometido. *Ecofronteras*. 19(54):14-17.
- Villarreal Q. J., Carranza P.M., Estrada C. E. y Rodríguez G. A. (2006). Flora riparia de los Rios Sabinas y San Rodrigo, Coahuila, México. *Act. Bot. Mex.* 75:1-20.
- Wania, A.; Kühn, I. y Klotz, S. (2006) Plant richness patterns in agricultural and urban landscapes in Central Germany spatial gradients of species richness. *Landscape and Urban Planning*. 75(1): 97-110.
- Zamudio, C. E. (2001) Análisis del comportamiento del arbolado urbano público durante el período de 1995 a 1999 en la ciudad de Linares, Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma De Nuevo León Facultad De Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México. p. 128.

- Zaragoza, H. A.; Cetina, A. V.; López, L. M.; Chacalo, H. A.; De la Isla de Bauer, M.; Alvarado, R. D. y González, H. (2015) Identificación de daños en el arbolado de tres parques del Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6 (32): 63-82.
- Zhao, J., Xu, W. y Li, R. (2017). Visual preference of trees: The effects of tree attributes and seasons. *Urban Forestry & Urban Greening*. 25:19-25.
- Zurita, Z. O. y Elizondo, E. R. (2009) Guía de árboles y otras plantas nativas en la zona metropolitana de Monterrey. Fondo Editorial de Nuevo León. Monterrey, México. p. 320.

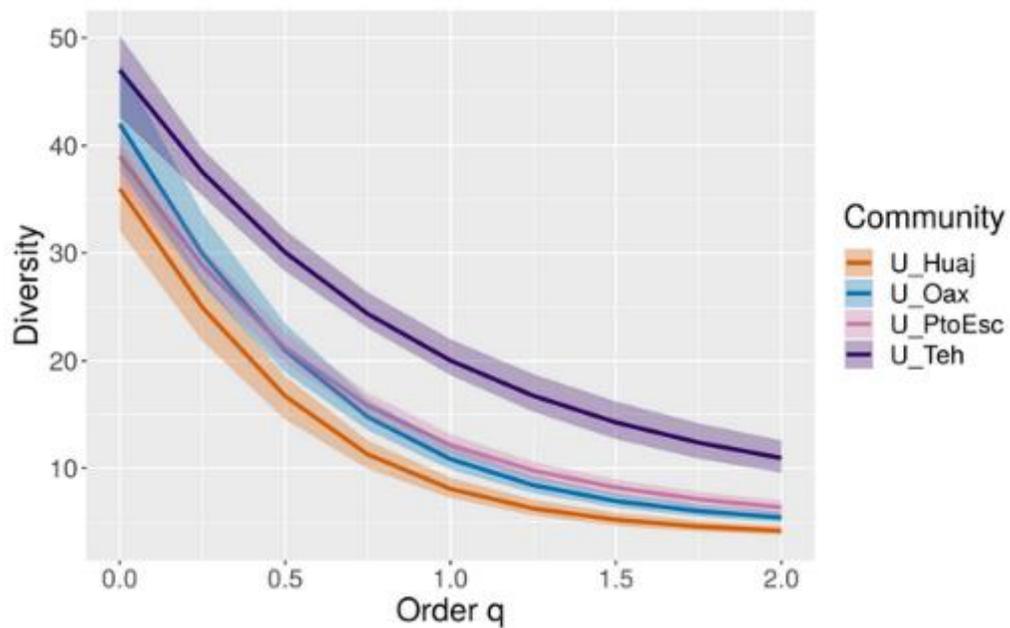
## VII. ANEXOS



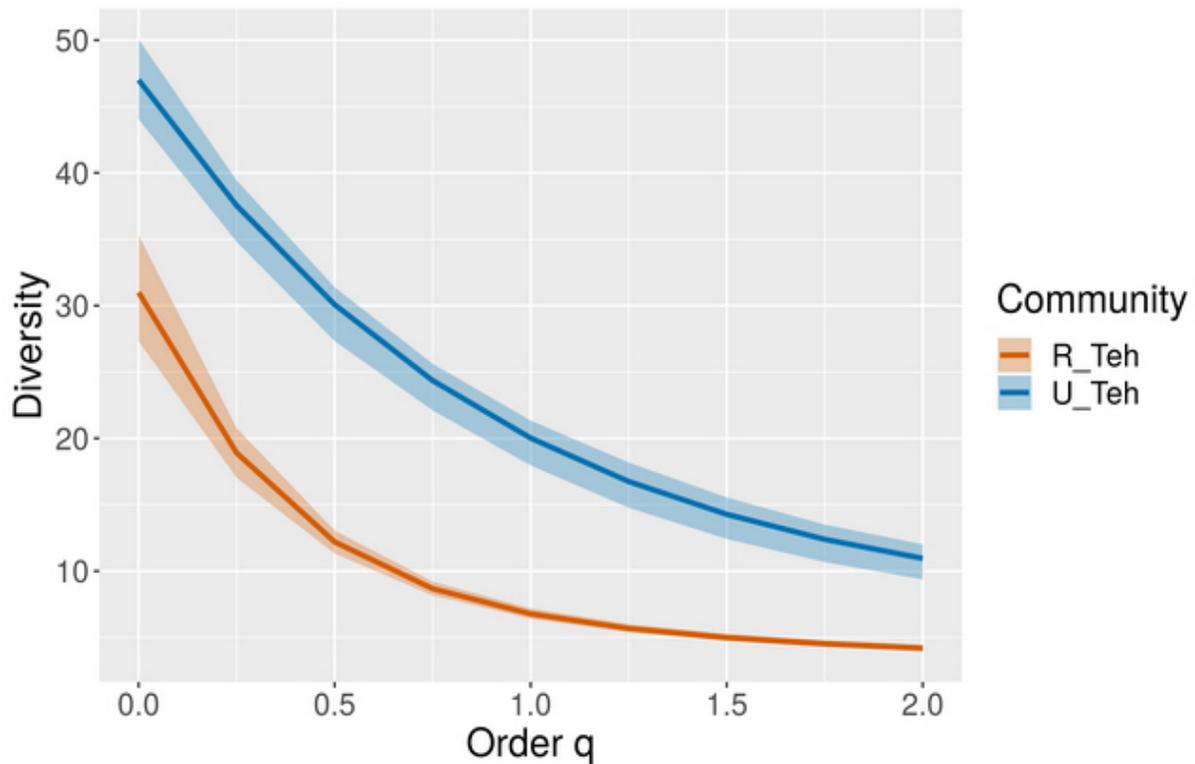
Anexo 1. Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos y rurales. En todos los órdenes de diversidad, los paisajes urbanos son significativamente más diversos que los paisajes rurales dado que los niveles de confianza no se traslapan.



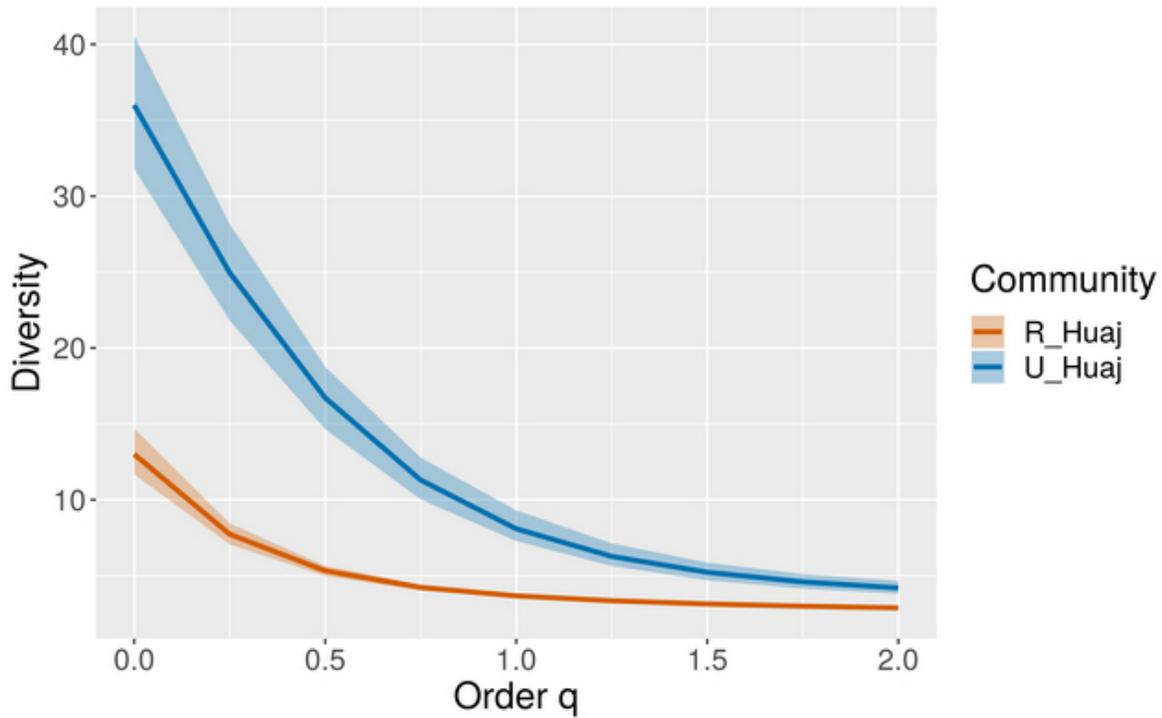
Anexo 2. Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes rurales. En el orden 0, el resto de los paisajes rurales no son significativamente diferentes ya que los intervalos de confianza se traslapan. En el orden 1, el paisaje de Puerto Escondido se diferencia del resto y en el orden 2, todos los paisajes son significativamente diferentes. Solo el paisaje rural de Huajuapán se refleja con los valores más bajos de diversidad en todos los órdenes de  $q$ .



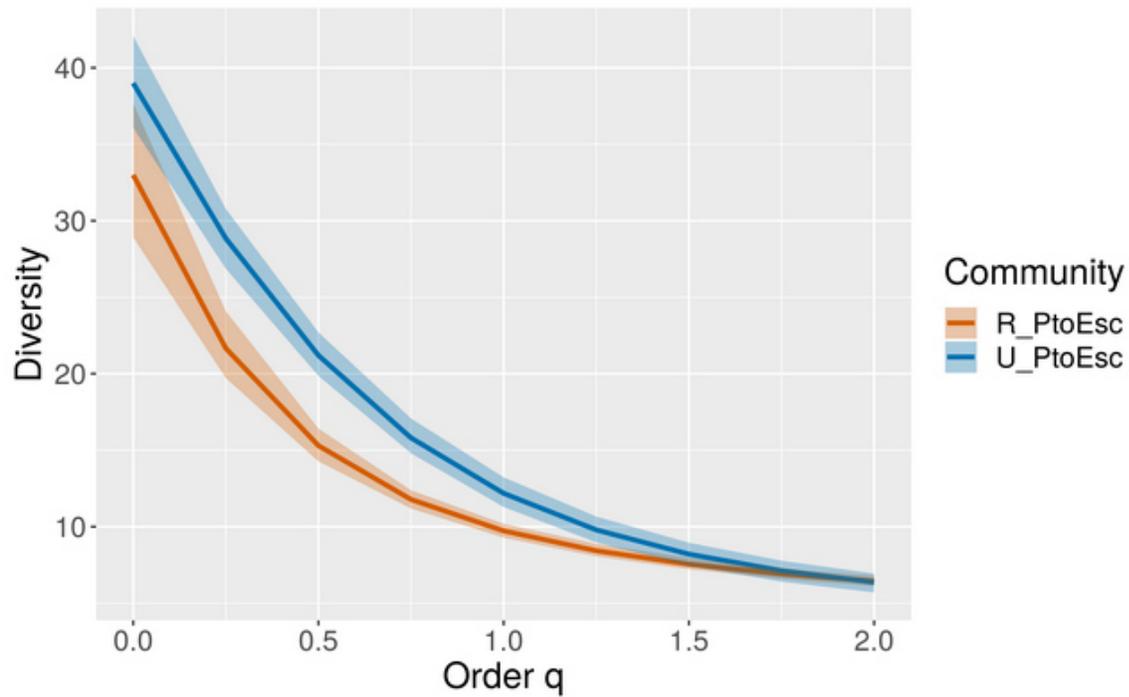
Anexo 3. Perfiles de diversidad empíricos de los paisajes urbanos. En el orden 0, los paisajes urbanos no muestran ser significativamente diferentes. En el orden 1 y 2, el paisaje de Tehuantepec se refleja con el valor más alto mientras que el paisaje de Huajuapán con el menor. En todos los órdenes, los paisajes de Puerto Escondido y de Oaxaca no reflejan ser significativamente diferentes.



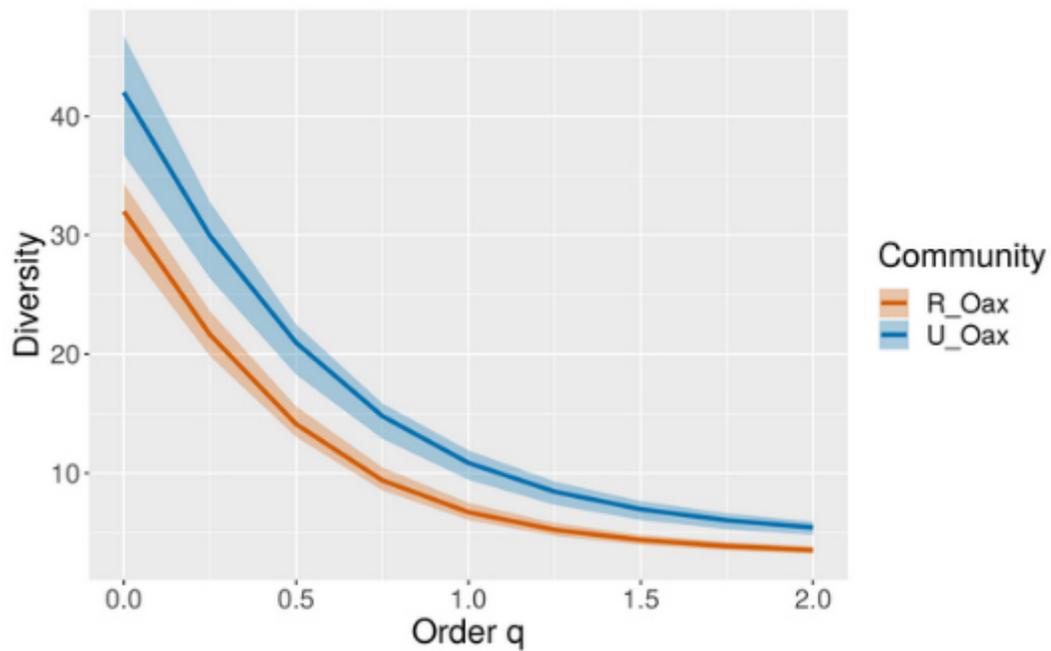
Anexo 4. Perfiles de diversidad (empírica) del paisaje urbano y rural de Tehuantepec. Los paisajes son significativamente diferentes dado que sus intervalos de confianza no se traslapan. El paisaje urbano, por lo tanto, refleja ser más diverso que el paisaje rural en todos los órdenes de  $q$ .



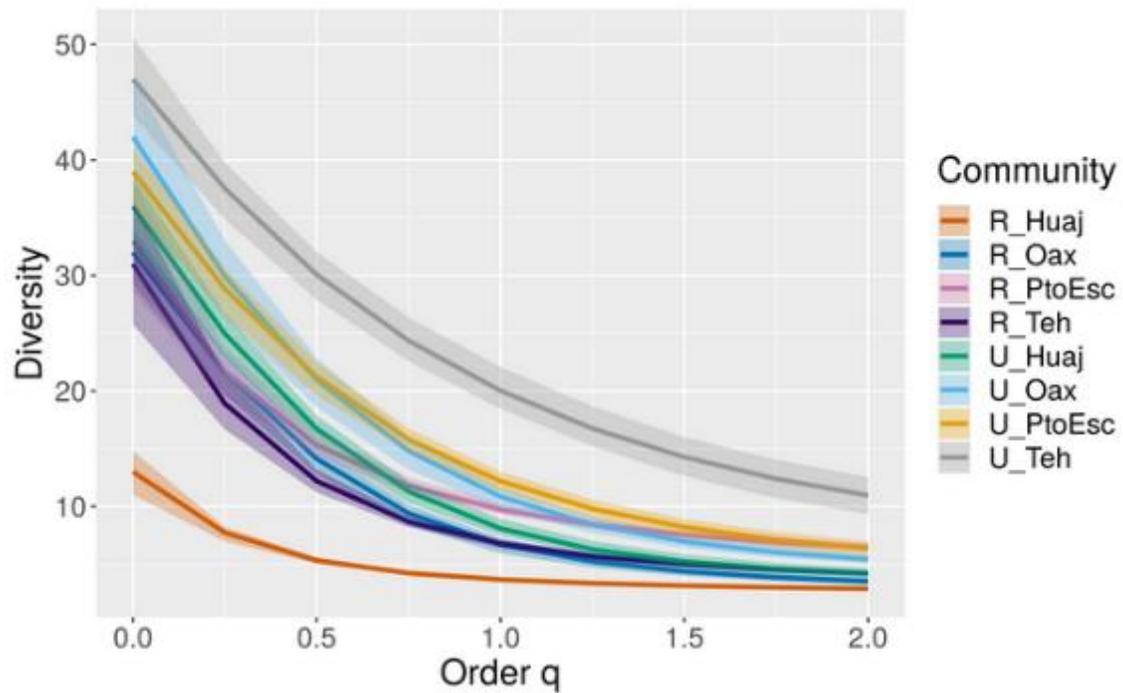
Anexo 5. Perfiles de diversidad (empírica) del paisaje urbano y rural de Huajuapán. Los paisajes son significativamente diferentes dado que sus intervalos de confianza no se traslapan en orden 0. De igual forma, en el orden 1 y 2, el paisaje urbano refleja ser más diverso que el paisaje rural a pesar que sus intervalos de confianza tienden a acercarse.



Anexo 6. Perfiles de diversidad (empirical) del paisaje urbano y rural de Puerto Escondido. En el orden 0, los paisajes son significativamente diferentes dado que sus intervalos de confianza si tienden a traslaparse. En el orden 1, estos se diferencian mientras que en el orden 2, la variación no es alta por lo que los paisajes se reflejan como similares. El paisaje urbano, por lo tanto, refleja ser más diverso que el paisaje rural solo al considerar las abundancias de las especies con el mismo peso.



Anexo 7. Perfiles de diversidad (empirical) del paisaje urbano y rural de Oaxaca. Los paisajes son significativamente diferentes dado que sus intervalos de confianza no se traslapan. El paisaje urbano, por lo tanto, refleja ser más diverso que el paisaje rural en todos los órdenes de  $q$ .



Anexo 8. Perfiles de diversidad (empírica) de los paisajes urbanos y rurales. En el orden 0, el paisaje urbano de Tehuantepec muestra valores de variación con respecto al resto ligeramente más altos mientras que el paisaje de Huajuapán se muestra con los valores más bajos. En orden 1 y 2, el paisaje urbano de Tehuantepec sí muestra una alta variación con respecto al resto y el paisaje rural de Huajuapán permanece con los valores más bajos de diversidad.