



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**RESPUESTA DE LA COMUNIDAD VEGETAL A LA  
REMOCIÓN DE EUCALIPTOS CON FINES DE  
RESTAURACIÓN EN LA ZONA A2 DE LA RESERVA  
DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL, CIUDAD DE  
MÉXICO, MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A:**

**JESÚS MORELOS REBOLLAR**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. ZENÓN CANO SANTANA**

**Ciudad Universitaria, Ciudad de México**

**2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
Secretaría General  
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCE  
Directora General  
Dirección General de Administración Escolar  
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Respuesta de la comunidad vegetal a la remoción de eucaliptos con fines de restauración en la zona A2 de la Reserva del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México

realizado por **Jesús Morelos Rebollar** con número de cuenta **311145223** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietaria Dra. Silke Cram Heydrich

Propietaria M. en C. María Julia Carabias Lillo

Propietario Dr. Zenón Cano Santana  
Tutor

Suplente M. en C. Irene Pisanty Baruch

Suplente M. en C. Yuriana Martínez Orea

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., A 12 DE MARZO DE 2019

JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

La noción de que todos los fresnos de un bosque parecen idénticos no es más que un reflejo de nuestro juicio superficial y de nuestra limitada capacidad para distinguir la individualidad en otros seres que no sean los humanos.

J. Sarukhán, *Las musas de Darwin*

Un paseo en el día más hermoso, y a través del más bello paisaje, termina en dolor y fatiga si se prolonga demasiado.

R. Malthus, *Primer ensayo sobre la población*

*A mi abuelita Susana. El paso de los años ha dejado sus huellas en ti y quizá por eso no podré hacerte saber cuánto valoro y admiro el trabajo, la dedicación y el cariño que siempre nos diste sin el menor reparo.*

*A mi mamá Yolanda, por todo tu esfuerzo. Gracias por dejarnos tropezar no sin ser tú misma quien nos levantara. Este logro es tuyo.*

*A mis hermanos; Magda, Yola, Gui, Vero e Isra. La fortuna de haber llegado al último es que recibí lo mejor de cada uno de ustedes.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Zenón Cano Santana por su generoso e incondicional apoyo, por su confianza y sus invaluable consejos y sobre todo por su admirable calidad humana. Ojalá todos los tesisistas encuentren un “Zenón” en su camino.

A los biólogos Manuel Bonilla y Surya González por su infinita paciencia, por todas sus enseñanzas y absoluto apoyo. Por siempre gracias.

A la M. en C. Genoveva Villalobos, por todo el apoyo documental y los años invertidos en el rescate y protección de la zona A2 de la REPSA. Este trabajo es un fruto más de las semillas que ha sembrado.

Al profesor Iván Castellanos Vargas por el apoyo técnico así como por la revisión de las versiones iniciales de este trabajo.

Al profesor Johnattan Hernández por las tempranas revisiones a este escrito, sus observaciones establecieron los cimientos para poder construirlo.

A Brenda Hernández y Marco A. Romero por la revisión de la concordancia de la literatura.

A la M. en C. Yuriana Martínez y al M. en C. Ramiro Cruz Durán por su invaluable labor en la identificación de los ejemplares herborizados.

A mis sinodales: la M. en C. Julia Carabias, la M. en C. Yuriana Martínez, la M. en C. Irene Pisanty y la Dra. Silke Cram por su minuciosa revisión de cada punto y cada coma de este trabajo.

A la M. en C. Irene Pisanty, por compartir su valiosa experiencia académica y su visión crítica de las problemáticas ecológicas y sociales de la vida cotidiana.

A la Dra. Silke Cram, por ofrecerme elementos adicionales que me permitieron ampliar el panorama sobre mi trabajo.

A la M. en C. Julia Carabias, por haber aceptado revisar este manuscrito y enriquecerlo con sus puntuales correcciones. Actos de generosidad como estos reafirman la admiración a su trayectoria académica y sobre todo a su persona.

A la profesora Julieta Sierra, por todo su apoyo en el colegio y fuera de él. Gracias por compartir su experiencia conmigo y permitirme trabajar a su lado.

A Marco, por el apoyo incondicional en esto y en tantas cosas más, pero sobre todo gracias por todos estos años de tu sincera amistad.

A Uriel, por aceptar compartir esta aventura y por todos tus esfuerzos para ayudarme a cumplir esta meta, que también es tuya. Tu amistad es insustituible.

A Daniela, Mónica, Alfredo, Verónica, Araceli y Angélica, quienes siempre han compartido conmigo un tesoro invaluable llamado tiempo.

Al laboratorio de Acuicultura y a cada uno de sus integrantes, porque a pesar de todo, siempre valoraré sus enseñanzas. Gracias Daf por todos los aprendizajes. Gracias Pepe, Ana, Dul e Itza por todas las aventuras que vivimos el tiempo que estuvimos juntos. Particularmente a ti, Pepe, porque a pesar y quizá gracias a nuestras diferencias construimos una gran amistad.

A los miembros del laboratorio de Origen de la Vida, en particular al Dr. Antonio Lazcano (*The Very Great Dominus et Magister Emeritus*) por recibirme en su laboratorio y por todo el apoyo recibido. Paradójicamente, gracias a esa estancia comprendí que como biólogo mi lugar estaba en el campo.

Al laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos. Gracias a los compañeros y profesores que aún con todo su trabajo siempre tienden la mano a quien pide su apoyo.

Al taller de “Ecología terrestre y manejo de recursos bióticos”, un espacio de discusión y aprendizaje inagotable. En especial a mis compañeras y amigas: Jacqui, Ale y Marianita por su amabilidad de integrarme en todas las actividades.

A la REPSA, a los pioneros que lucharon por crearla y a quienes ahora trabajan por resguardarla. A todos los que tienen nombres y apellidos pero también a los anónimos, quienes entregan su tiempo y esfuerzo sin recibir constancia de ello.

A la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Oriente por todas las herramientas brindadas: por enseñarme que la búsqueda de objetivos comunes es más importante que la obtención de intereses personales.

A la Facultad de Ciencias por la formación profesional y personal recibida, por ser el lugar donde conocí a personas de mentes privilegiadas y un corazón gigantesco, pero, sobre todo, por ser un hogar para mí.

A la Universidad de la Nación: la UNAM, el honor y orgullo de formar parte de ella sólo es superado por la responsabilidad de representarla.

Al fraterno, trabajador y honesto pueblo de México. Gracias por depositar su confianza en el futuro de la nación.

Esta tesis fue realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM a través del proyecto IV200117 “Análisis ecosocial de una reserva urbana para la sustentabilidad en el campus de Ciudad Universitaria” otorgado a Luis Zambrano, Zenón Cano-Santana y Alicia Castillo. Agradezco a la DGAPA-UNAM el apoyo recibido.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
I. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 Restauración ecológica.....	3
1.2 Disturbio y sucesión.....	5
1.3 Especies nativas y exóticas.....	6
1.4 El género <i>Eucalyptus</i> y su problemática ambiental .....	7
1.5 La REPSA y los eucaliptos.....	10
1.6 Justificación .....	14
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	16
III. MÉTODOS .....	17
3.1 Sitio de estudio.....	17
3.2 Selección de sitios de estudio .....	19
3.3 Estructura de la comunidad vegetal .....	22
3.4 Análisis de datos .....	23
IV. RESULTADOS.....	25
V. DISCUSIÓN.....	40
5.1 Inventario de plantas vasculares .....	40
5.2 Los cambios en la comunidad vegetal .....	40
5.3 El rebrote de eucaliptos.....	45
5.4 Las acciones de restauración .....	46
VI. CONCLUSIONES.....	48
LITERATURA CITADA .....	49
ANEXO 1 .....	62

Morelos-Rebollar, J. 2019. Respuesta de la comunidad vegetal a la remoción de eucaliptos con fines de restauración en la zona A2 de la Reserva del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 66 pp.

## **RESUMEN**

Las especies exóticas invasoras perjudican las características y propiedades de los ecosistemas donde se establecen, así como la disponibilidad de los servicios ecosistémicos que estos proporcionan. En este sentido, la zona que ocupa la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) se ha visto afectada por el establecimiento natural o deliberado de diversas especies vegetales ajenas al ecosistema natural del pedregal. Un componente de este tipo de plantas son los eucaliptos, los cuales han sido identificados como agentes disruptivos de las propiedades de la comunidad vegetal del matorral xerófilo, típico de la zona. El objetivo de este trabajo es conocer la respuesta de la comunidad vegetal a la realización de programas de restauración, que incluyen como acción principal el retiro de eucaliptos dentro de una parcela ubicada al interior de la zona de amortiguamiento A2 de la REPSA. Para ello, se analizaron los cambios de la estructura y composición de la comunidad vegetal al interior de la parcela en restauración y se compararon con dos parcelas perturbadas (con presencia de eucaliptos) y dos conservadas (sin eucaliptos). De las cinco parcelas de trabajo, las primeras tres se sitúan dentro de la zona A2 de la REPSA, la cuarta se localiza dentro de un fragmento remanente del pedregal que no forma parte de la reserva y una más se ubica al noroeste de la zona núcleo oriente de la REPSA. En cada parcela se trazaron tres líneas de Canfield de 40 m cada una, las cuales se separaron 15 m entre sí. Dentro de cada línea se registró la cobertura de cada especie vegetal de cualquier estrato en tramos de 1 m. Se realizaron cuatro muestreos: el primero en agosto de 2017 (antes de la remoción de eucaliptos en la parcela seleccionada para ello) y

los tres restantes (posteriores a la extracción), en abril, junio y agosto de 2018. Se encontró que las especies con mayor cobertura al interior de la zona en restauración son *Pittocaulon praecox*, *Schinus molle* y *Buddleja cordata*, especies cuya presencia está explicada por su establecimiento natural o por la adopción cultural en otro momento histórico, y cuya función ecológica le confiere resistencia y estabilidad al ecosistema. Así mismo, el sitio conservado ubicado en la zona núcleo resguarda una mayor cantidad de especies sucesionalmente tardías, mientras que los parches de vegetación albergan en mayor proporción a especies seralmente tempranas, del mismo modo, la parcela en restauración presenta un aumento en la proporción de este tipo de plantas luego de la remoción de eucaliptos. Además, la estructura vegetal de los sitios con eucaliptos difieren en su composición de los que no albergan este tipo de árboles; asimismo, el sitio en restauración cambia en relación a su composición vegetal una vez retirados los eucaliptos, modificándose de ser un espacio con mayor similitud a los sitios perturbados con presencia de eucaliptos a un sitio con mayor afinidad a espacios conservados que carecen de ellos. Sin embargo, las características naturales de los remanentes del pedregal, así como la dirección de su trayectoria ecológica están limitadas por las presiones antrópicas presentes. Además, en el sitio bajo restauración se presentaron rebrotes de los tocones de eucalipto con elevadas tasas de crecimiento 1 año después de su remoción, por lo que se sugiere aplicar medidas de control mecánico acompañadas de un monitoreo permanente.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Restauración ecológica

Un ecosistema es la unidad fundamental en torno a la cual se organizan la teoría y la práctica ecológica, y se define como: el conjunto de organismos y sus interacciones con los componentes abióticos en su entorno (Odum *et al.*, 2006).

El análisis de los ecosistemas dentro del campo de la ecología debe comprenderse a través de la organización dinámica-funcional de todos sus componentes, no obstante el estudio individual de los elementos que lo integran son una forma práctica para conocer el estado y desarrollo del sistema (Tansley, 1935). Asimismo, diversos elementos se han integrado en este campo de investigación para conocer tanto las interacciones como la dinámica de sus componentes, además se ha optado por tomar en cuenta no solo la dimensión espacial del sitio de estudio sino incorporar la influencia de los eventos históricos, es decir, la dimensión temporal que ha afectado el desarrollo, composición y función del sistema (Chapin *et al.*, 2011).

A su vez, la especie humana, al igual que las demás formas de vida en el planeta, depende completamente de los ecosistemas para su permanencia, desarrollo y evolución (MEA, 2005; Sarukhán *et al.*, 2009). Sin embargo, la conversión de los ecosistemas debido a las presiones de origen antrópico ha provocado una pérdida generalizada de la biodiversidad a nivel genético, específico y ecosistémico, así como la disminución de las características originales de los sistemas naturales (Butchart *et al.*, 2010).

Debido a los impactos negativos en el ambiente y el desfavorable estado de los recursos bióticos, la restauración ecológica, cuyo objetivo es mantener y recuperar la

biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos, emerge como una de las muchas herramientas para el manejo y la conservación de los ecosistemas (SER, 2004; List *et al.*, 2017). La restauración ecológica es el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido. Se trata de una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad (SER, 2004). Este proceso se fundamenta en la generación de acciones necesarias para lograr que las comunidades y su medio tomen una trayectoria autónoma y viable. Desde esta perspectiva, la aplicación de tales medidas debe tomar en cuenta las propiedades y componentes estructurales particulares del sitio de estudio (Palmer *et al.*, 2016).

Para que un ecosistema pueda catalogarse como restaurado requiere de la presencia de elementos bióticos y abióticos suficientes para su desarrollo, así como ciertos atributos particulares que se enlistan a continuación (SER, 2004): (1) debe albergar un conjunto característico de especies y componentes físicos análogos al ecosistema de referencia, (2) contar con la presencia de especies nativas, (3) tener representatividad o presencia potencial de grupos biológicos específicos, (4) el ambiente físico debe tener capacidad para sostener a la comunidad biótica, (5) presentar estabilidad en el funcionamiento del ecosistema, (6) capacidad de integrarse al paisaje, (7) suprimir o reducir las amenazas potenciales, (8) contar con capacidad de recuperación frente a acontecimientos estresantes, y (9) debe haber autosustentabilidad del ecosistema al mismo grado que un sitio de referencia (SER, 2004).

Palmer *et al.* (2016) destacan que, para encauzar las acciones que permitan que un sitio afectado alcance rasgos que empaten con los de un sitio que mantiene las condiciones históricas del sistema natural (ecosistema de referencia), se debe emplear la información

sobre las condiciones ambientales de la región y los datos ecológicos, culturales e históricos existentes; sin embargo reconocen que enfocarse en mantener o restaurar la resiliencia del ecosistema puede ser tanto o más importante que la autenticidad histórica del sitio.

## **1.2 Disturbio y sucesión**

La estructura y el funcionamiento de las comunidades bióticas se encuentran sujetos a diversas fuentes de disturbio, concepto que se entiende como: cualquier evento diferenciado en el tiempo que altera el ecosistema, la comunidad o la estructura de la población y cambia la disponibilidad de los recursos o el entorno físico (Sousa, 1984; White y Pickett, 1985).

Los disturbios se presentan, de manera general, en todos los ecosistemas: su origen puede ser de carácter biótico o abiótico y sus efectos pueden identificarse en la biota del sistema afectado (Sousa, 1984). Por lo tanto, su análisis debe tener en cuenta el origen, la heterogeneidad y la dinámica espacial, así como el contexto temporal del sistema de estudio (White y Pickett, 1985; White y Jentsch, 2001).

Después de un disturbio se lleva a cabo un proceso de sucesión que conlleva cambios en la estructura, composición y función de un ecosistema, y dichos cambios, así como la velocidad a la que ocurren, dependen de las características y origen del disturbio (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007).

Clements (1916) estructuró el marco de la teoría de sucesión, la cual integra los cambios en los elementos bióticos, la distribución energética de las comunidades durante su

desarrollo, así como la modificación de los procesos ambientales del ecosistema en un contexto histórico (Margalef, 2004; Odum *et al.*, 2006).

Durante la etapa inicial de la sucesión ecológica se presenta una gran inestabilidad en las características de los componentes edáficos y variaciones de las condiciones microclimáticas que son ajenas a la influencia de las comunidades del ecosistema (Whittaker, 1975). En lo que se refiere a los componentes bióticos, inicialmente se establecen grupos esenciales, denominadas especies pioneras, organismos cuyas características son: tallas pequeñas, elevadas tasas de crecimiento, alto rango de dispersión, altas densidades en sus poblaciones y un margen de vida breve (Odum *et al.*, 2006).

Por otra parte, en las etapas sucesionales posteriores, los componentes del suelo y las características microclimáticas están determinados en mayor proporción por los elementos y la estructura de la comunidad (Whittaker, 1975). Asimismo, durante las etapas secundarias las comunidades están formadas por especies tardías, que son organismos por lo general longevos, de crecimiento lento, tallas grandes y que muestran menores tasas de dispersión y colonización (Huston y Smith, 1987).

### **1.3 Especies nativas y exóticas**

En el año 2000, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) publicó el documento titulado “Guías para la prevención de pérdidas de diversidad biológica ocasionadas por especies exóticas invasoras”. En dicho documento se ofrecen definiciones para clasificar a los distintos tipos de especies. Por ejemplo, clasifica como *especie nativa* a aquella que se encuentra dentro de su rango natural y

potencial de dispersión sin la intervención del ser humano, en tanto que cataloga como *especie exótica* a la que se encuentra fuera de su área natural y potencial de dispersión, misma que no podría ocupar sin la intervención humana e incluye cualquier parte, gameto o propágulo de dicha especie que puede sobrevivir y reproducirse. Por otra parte, se denomina *especie exótica invasora* a la especie que se establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural cuya presencia constituye un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa.

Las especies exóticas pueden modificar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, lo cual perjudica a la provisión de servicios ecosistémicos y, por consiguiente, al bienestar humano (Aguirre-Muñoz y Mendoza-Alfaro, 2009). La última evaluación emitida por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) sobre el estado de la biodiversidad a nivel mundial indica que estos organismos han propiciado más de la mitad de las extinciones animales de las que se conoce su causa, y al mismo tiempo las identifica como la segunda causa directa de la pérdida de biodiversidad a nivel global, sólo después de la destrucción del hábitat, e insta a sus miembros a efectuar acciones para combatir, revertir y prevenir fatales consecuencias (CDB, 2009; SCDB, 2014).

#### **1.4 El género *Eucalyptus* y su problemática ambiental**

El género *Eucalyptus* (Myrtaceae) está conformado por más de 700 especies descritas y, aunque es nativo de Oceanía, en la actualidad se encuentra presente en todos los continentes (excepto en la Antártida), ya que por sus cualidades y usos comerciales,

ambientales y sociales ha sido introducido en múltiples regiones del mundo (Coppen, 2002; Byrne, 2008).

La incorporación del eucalipto al territorio mexicano se ha llevado a cabo en múltiples periodos de tiempo y atendiendo diversos objetivos. Frente a la pérdida de recursos forestales que experimentaba la capital del país a principios del siglo XX, el ingeniero Miguel Ángel de Quevedo dirigió la introducción de eucaliptos bajo la premisa de que sus características biológicas resultaban idóneas para la reforestación y el control de inundaciones en la entidad (Ezcurra *et al.*, 1999; Hinke, 2000; Cano-Santana *et al.*, 2006).

Del mismo modo, durante la construcción del *campus* de Ciudad Universitaria (CU) en 1951, se llevó a cabo la plantación de eucaliptos en senderos y caminos principales de la universidad con el objetivo de brindar sombra a la comunidad universitaria, debido a que la vegetación nativa no presentaba los atributos para satisfacer este requerimiento (Segura-Burciaga y Meave, 2001).

A finales del siglo XX después de la proliferación de plantíos del género *Eucalyptus* en varios puntos del planeta, incluido México, se comenzaron a presentar cuestionamientos y preocupaciones acerca del impacto en los ecosistemas que incorporaban a los árboles de este género. Frente a la creciente ola de señalamientos, hacia finales de la década de 1980 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) publicó un documento pionero titulado “Efectos ecológicos de los eucaliptos”, el cual compilaba diversos análisis acerca de la consolidación de estos organismos fuera de su lugar de origen (Poore y Fries, 1987).

En la actualidad, las investigaciones sobre este género abarcan múltiples áreas de estudio. En relación al uso del agua, Afzal *et al.* (2018) concluyen que estos organismos presentan una mayor eficiencia en el aprovechamiento del recurso hídrico respecto a especies nativas; mientras que Chanie *et al.* (2013) discuten que su rápido crecimiento y la gran capacidad de succión de sus raíces provocan repelencia al agua en el suelo, lo que trae consigo la reducción de la infiltración y un descenso en el nivel freático.

En lo que se refiere al efecto sobre el suelo, se observa que la incorporación de eucaliptos conduce a una reducción significativa en cuanto a calidad y disponibilidad de nutrientes por lo que resulta indispensable implementar una estrategia de manejo para conservar los atributos edáficos de las áreas donde se introduce esta especie (Zhao *et al.*, 2014).

Respecto a la dinámica de las interacciones con otros organismos se han encontrado diversos resultados en cuanto a la competencia por los recursos ambientales. En el caso de la energía lumínica, Yang *et al.* (2018) determinaron que las hojas de los eucaliptos pueden mantener una tasa de fotosíntesis mucho más alta que las reportadas para otras plantas tipo C3, característica que explicaría su rápido crecimiento en relación a organismos vecinos. Además, Campoe *et al.* (2013) discuten que los organismos de tallas grandes muestran mayor eficiencia en la captación de radiación solar, por lo que los individuos de menor tamaño pueden verse afectados en su desarrollo al compartir el espacio con ellos.

Una de las polémicas más ampliamente discutidas son los efectos que tienen los eucaliptos en relación a su actividad alelopática. Chu *et al.* (2014) encontraron efectos inhibitorios y pérdida de diversidad en las especies del sotobosque que coexisten con los

eucaliptos, ya que ciertas sustancias aleloquímicas provocaron una disminución en la supervivencia y el crecimiento de plántulas y organismos juveniles. Del mismo Zhang *et al.* (2010) registraron que las sustancias aleloquímicas presentes en las raíces y en la rizósfera de la planta inciden negativamente en la germinación y crecimiento temprano de otras especies, situación que se agudiza en sitios que presentan lluvias escasas, al no poder diluir la concentración de tales compuestos presentes en el suelo. Así mismo, Martins *et al.* (2013) sugieren que los aceites esenciales liberados durante la degradación de las hojas de eucalipto pueden afectar el crecimiento de microorganismos, lo cual perjudica el proceso de degradación de materia orgánica, la incorporación de nutrientes al suelo y la diversidad de la biota edáfica.

### **1.5 La REPSA y los eucaliptos**

La erupción del volcán Xitle ocurrida al sur de la actual Ciudad de México en el siglo IV e.c., originó la formación de un paisaje volcánico bien diferenciado de 80 km<sup>2</sup> de extensión: el Pedregal de San Ángel (Siebe, 2000, 2009; Cervantes y Wallace, 2003).

Los flujos de lava presentes en el periodo de actividad volcánica del Xitle dieron origen a una gran variedad de geformas en la superficie del ecosistema original y con ello a una gran cantidad de macro y microambientes que permitieron el establecimiento de una variada y diversa colección de especies biológicas con múltiples y diferentes requerimientos ambientales (Rojo, 1994; Siebe, 2000; REPSA, 2018).

A finales del siglo XX, y frente a la preocupación y necesidad de la comunidad universitaria de crear una reserva que protegiera uno de los últimos relictos naturales de la

capital mexicana, el 30 de septiembre de 1983, el entonces rector de la UNAM, el Dr. Octavio Rivero Serrano firmó el acuerdo “Beneficia a la zona sur del Distrito Federal la Reserva Ecológica de Ciudad Universitaria” (Rivero-Serrano, 1983), mediante el cual declaraba un espacio de 124.4 ha como zona ecológica inafectable, área que se denominaría Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria (REPSA). Este documento ofrecía una primera respuesta a la protección del ecosistema a través de la generación de conocimiento sobre el patrimonio universitario, su riqueza biológica y ambiental (Rojo, 1994).

Después de varias reestructuraciones y administraciones universitarias, la REPSA ha evolucionado y ampliado su extensión hasta ocupar hoy el 30% del *campus* de Ciudad Universitaria: se trata de 237.3 ha divididas en tres zonas núcleo y 13 zonas de amortiguamiento, que alojan en su interior una riqueza de especies nativas y endémicas de México que forman parte del patrimonio ambiental y cultural del país, y que han adquirido un mayor valor frente al deterioro ecológico que atraviesa el territorio que les alberga (De la Fuente, 2005; REPSA, 2018).

Segura-Burciaga y Meave (2001) y Cano-Santana *et al.* (2006) analizan la historia de los eucaliptos en CU. Destacan que después de establecer plantaciones de eucaliptos durante la creación del *campus*, en la década de 1980 se identificó que la eficiencia en su establecimiento y desarrollo dentro del matorral nativo daba origen a problemas de carácter ambiental y social. Ante tal situación, durante el rectorado del Dr. José Sarukhán el frente de la UNAM (en el periodo 1989-1997), se impulsó un “Programa de control ecológico”. Teniendo como marco este programa, se ejecutó el subprograma de “Mejoramiento continuo de áreas verdes”, mediante el cual se generó un inventario y clasificación de las

plantas leñosas del *campus*. El listado obtenido concluía que el 80% de las especies de árboles y arbustos eran introducidas, y que los eucaliptos representaban el 60% de éstas. Con el objetivo de atender la problemática ambiental identificada, se ejecutó el “Plan de control de eucaliptos”, que incluía la tala de varios ejemplares y la sustitución por especies nativas en proporción 1:4 para encauzar la regeneración natural dentro de la reserva ecológica que alberga CU. Los resultados de este programa indican que del inventario realizado en 1994, en el cual se contabilizaban 28,000 individuos, hasta el año 2005 se habían eliminado 14,000 especímenes, cifra cercana al objetivo de erradicar el 60% de los individuos en la zona (Cano-Santana *et al.*, 2006).

Desde la creación de la reserva ecológica se han llevado a cabo diversos proyectos de conservación, manejo y restauración dentro de los terrenos que integran la REPSA. El caso particular del sitio de estudio, la Zona de Amortiguamiento A2 (Circuito Exterior, Porción Sur), con una superficie de 2.5 ha; se compone en su totalidad por el camellón ubicado frente a la Escuela Nacional de Trabajo Social (ENTS), las instalaciones del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) (antes Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico; CECADET) y parcialmente por el camellón localizado frente a la Facultad de Contaduría y Administración (FCyA) y las instalaciones de la actual Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC), quedando limitada en sus costados por el Circuito Exterior y sus retornos (De la Fuente, 2005).

Como parte del programa “ProREPSA” implementado desde 2007 en la gestión del Dr. Antonio Lot, secretario ejecutivo de la REPSA, la M. en C. Genoveva Villalobos Contreras, miembro del ICAT, ha encabezado las tareas de adopción de la zona de

amortiguamiento A2, implementando diversas actividades que incluyen: la identificación de especies dentro del polígono, jornadas de limpieza y extracción de plantas introducidas, rescate de flora y fauna, pláticas y talleres para la comunidad de la dependencia, visitas guiadas al público en general, así como la participación en seminarios, cursos y conferencias en dependencias externas a la UNAM y, en los últimos dos años, ha incorporado a alumnos interesados en acreditar su Servicio Social dentro de estas actividades (G. Villalobos, com. pers.).

Aunado a dichas labores y en el marco de la ejecución del proyecto PAPIIT IV200117 “Análisis ecosocial de una reserva urbana para la sustentabilidad en el campus de Ciudad Universitaria”, durante el segundo semestre del 2017 se llevó a cabo el retiro de 21 eucaliptos como tareas de apoyo a la restauración del sitio.

## 1.6 Justificación

Los ecosistemas naturales resguardan un patrimonio, el capital natural, el cual debe ser estudiado y difundido ampliamente para valorarlo, utilizarlo y conservarlo adecuadamente en beneficio de la presente y las futuras generaciones (Sarukhán *et al.*, 2009). La restauración ecológica es una de las múltiples herramientas de actividad y estudio que pueden ayudar al cumplimiento de estos objetivos (List *et al.*, 2017).

Debido a la variación de la extensión, el estado y las condiciones que modifican el paisaje, la restauración es una actividad de variable duración (SER, 2004). Por lo anterior, resulta indispensable llevar a cabo un programa de monitoreo de las actividades implementadas, con la finalidad de detectar los cambios, modificaciones y respuestas cuantificables de las características y propiedades de la zona en intervención.

Aunque ya se han desarrollado algunos estudios sobre el efecto de la remoción de eucaliptos en la zona (Segura-Burciaga y Meave, 2001), y existe la experiencia documentada por los estudiantes del Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos de la Facultad de Ciencias de la UNAM sobre los cambios de la comunidad vegetal a la remoción de eucaliptos y otros disturbios en la zona A8 de la REPSA (Antonio-Garcés, 2008; Antonio-Garcés *et al.*, 2009; Cano-Santana *et al.*, 2010; Saucedo-Morquecho, 2011; Muñoz-Saavedra, 2013; Ayala-López de Lara, 2014; Estañol-Tecuatl, 2014; Peña-Mendoza, 2016; González-Jaramillo, 2018).

En este trabajo se pretende observar los cambios antes y después de la remoción, pues en A8 no hubo oportunidad de registrar los atributos de la comunidad vegetal previo a la remoción de eucaliptos. Asimismo, este trabajo se realizará en un parche de vegetación

ubicado en un camellón de Ciudad Universitaria, lo cual impone condiciones diferentes respecto al experimento realizado por Segura-Burciaga y Meave (2001), que se llevó a cabo en parcelas de zonas núcleo de la REPSA, las cuales cuentan con menores problemas de recuperación por la cercanía a la fuente de propágulos de especies nativas.

De esta forma, los conocimientos generados junto con los que emanen de otros estudios, podrán contribuir al análisis y orientar las estrategias futuras a fin de restaurar los sitios afectados por eucaliptos.

## II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El presente trabajo tiene el objetivo de analizar la respuesta de la comunidad vegetal a programas de restauración ecológica que incluyen como acción principal la tala de eucaliptos en la Zona de Amortiguamiento A2 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria, Ciudad de México (REPSA). Los objetivos particulares planteados en esta investigación son:

1. Formular un inventario de plantas vasculares de la Zona de Amortiguamiento A2 de la REPSA.
2. Examinar los cambios de la comunidad vegetal en la Zona A2 a lo largo del periodo agosto 2017 - agosto 2018.
3. Comparar los cambios en la estructura y composición de la comunidad vegetal de la parcela A2 sujeta a remoción de eucaliptos respecto a sitios que mantienen eucaliptos en pie, así como con zonas que carecen de ellos.

Dado que se presume que los eucaliptos afectan la composición y tienen un efecto negativo sobre la diversidad de la comunidad vegetal, se espera que su retiro se vea reflejado en el aumento de la diversidad vegetal y la dominancia de plantas nativas.

### III. MÉTODOS

#### 3.1 Sitio de estudio

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) se ubica dentro del complejo de la Ciudad Universitaria de la UNAM, en la Ciudad de México. (Fig. 3.1). Está localizada entre los 19°18'21'' y 19°20'11'' norte, y 99°10'15'' y 99°12'4'' oeste, a una altitud que va desde los 2,270 y hasta los 2,349 m s.n.m.; tiene una extensión de 237.3 ha, lo que representa el 30% del *campus* universitario, de las cuales 171 ha 1,409 m<sup>2</sup> están clasificadas como zonas núcleo y 66 hectáreas 1,914 m<sup>2</sup> integran las zonas de amortiguamiento (REPSA, 2018).

Su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano [Cb (w1) w], y mantiene una estacionalidad marcada, pues se presenta una época lluviosa de junio a octubre y otra seca de noviembre a mayo (REPSA, 2018). Presenta una temperatura media anual de 15.6°C y una precipitación media anual de 833 mm (REPSA, 2018). La Reserva alberga una vegetación de tipo matorral xerófilo, asimismo los suelos de este ecosistema son muy someros y se clasifican como Leptosoles nudilíticos, hiperesqueléticos, con escasa retención de agua y bajo contenido de elementos minerales (Siebe *et al.*, 2016).

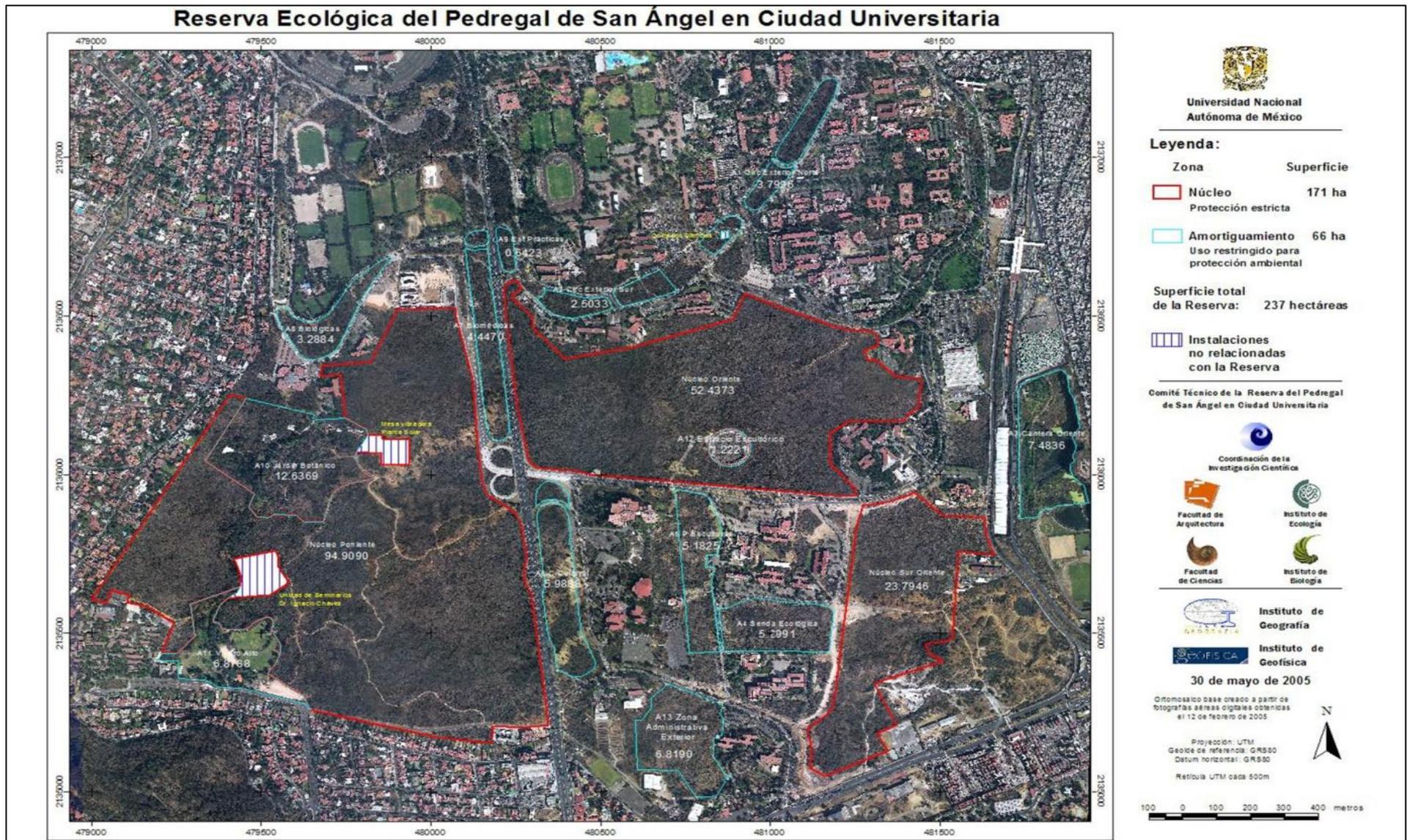


Figura 3.1 Fotografía aérea de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (De la Fuente, 2005). Los bordes en color rojo señalan las zonas núcleo y los bordes en color azul enmarcan las zonas de amortiguamiento.

### 3.2 Selección de sitios de estudio

Las zonas de amortiguamiento están definidas como áreas de la reserva ecológica sujetas a uso restringido para protección ambiental y cuya presencia permite reducir el efecto de los disturbios antrópicos sobre las zonas núcleo (De la Fuente, 2005).

Se seleccionaron cinco parcelas de trabajo (Fig. 3.2), las primeras tres se sitúan dentro de la zona de amortiguamiento A2 de la REPSA. En la porción oeste del camellón localizado entre ENTS y el ICAT se encuentra el primer sitio; una parcela sometida a acciones de restauración, particularmente el retiro de eucaliptos, que en lo sucesivo se denominará “en restauración” (R). La segunda parcela se sitúa en el extremo oriental del camellón poniente de A2, mientras la tercera se localiza en el camellón oriente de esta zona de amortiguamiento. Se trata de dos parcelas que aún mantienen eucaliptos, a las que se les denominará como: “parcela adyacente con eucaliptos” (Ac) y “parcela independiente con eucaliptos” (Ic), respectivamente. Las tres parcelas descritas cuentan con un área aproximada de 6,000 m<sup>2</sup> cada una.

Las dos parcelas restantes quedan integradas por dos sitios sin eucaliptos: la primera se ubica dentro de un relicto de pedregal que no forma parte de la REPSA, contiguo al estacionamiento de profesores de la Facultad de Ciencias, conocido como “El Molotito” (pedregal remanente número 143). Se trata de un afloramiento rocoso con vegetación nativa del ecosistema del pedregal con un tamaño aproximado de 1 ha, que para fines de este trabajo se denominará como “fragmento sin eucaliptos” (Fs). La parcela restante se localiza al noroeste de la zona núcleo oriente de la REPSA, seleccionada como un área de alto

estado de conservación, con base en Zambrano *et al.* (2016), que en lo sucesivo se llamará “zona núcleo sin eucaliptos” (Ns).

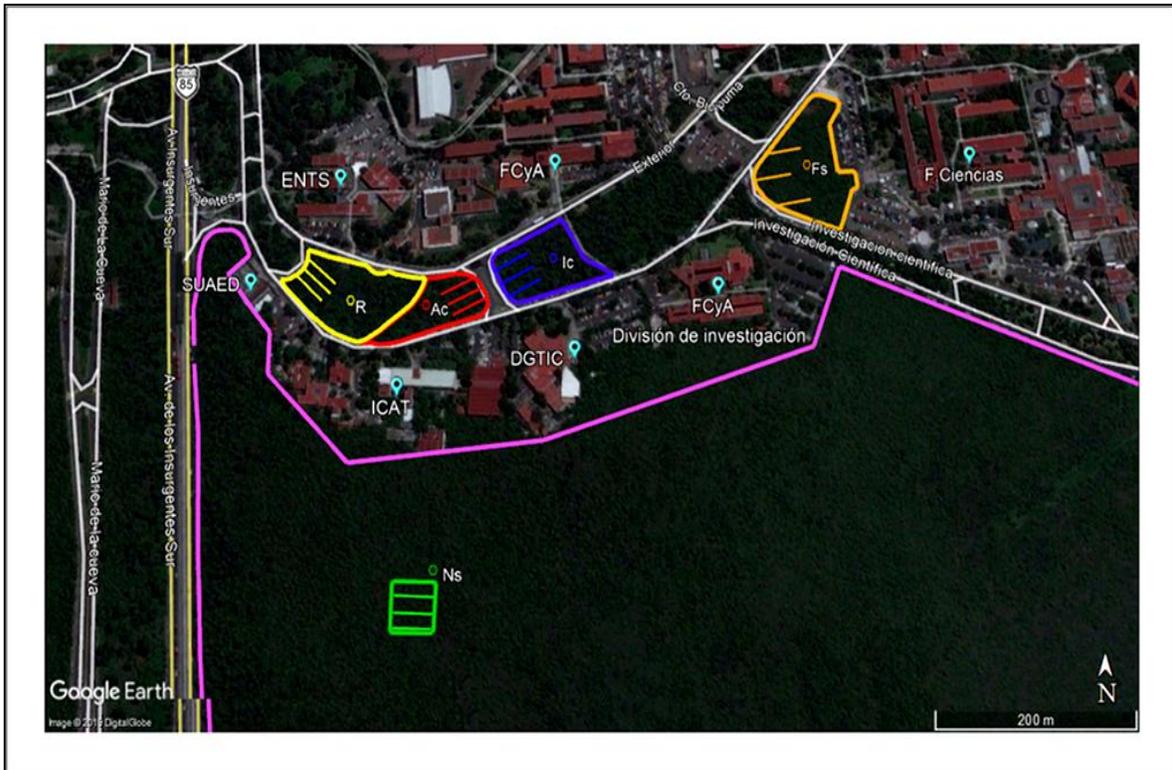


Figura 3.2 Localización de los sitios de estudio: parcela sujeta a acciones de restauración con remoción de eucaliptos (R), zona adyacente al sitio en restauración que aloja eucaliptos en pie (Ac), zona con eucaliptos distanciada del sitio en restauración por un retorno vehicular (Ic), fragmento perturbado sin eucaliptos (Fs) y parcela en zona núcleo sin eucaliptos (Ns). SUAED: Sistema Universidad Abierta y Educación a Distancia, ENTs: Escuela Nacional de Trabajo Social, ICAT: Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, F. Ciencias: Facultad de Ciencias, FCyA: Facultad de Contaduría y Administración, DGTIC: Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. Elaboración propia sobre foto de Google Earth (2018).

A continuación se describen las características de las cinco parcelas de estudio mencionadas previamente:

La parcela bajo restauración (R) se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento A2. Presenta una accidentada topografía y una alta presión antrópica al ubicarse en medio de dos edificaciones y una vía de comunicación con flujo continuo de automóviles. Se trata

de un sitio bajo acciones de restauración desde el año 2007, las cuales han incluido la remoción de especies exóticas, el retiro de residuos de jardinería y desechos inorgánicos, así como el rescate de flora y fauna nativa, y la tala de 21 eucaliptos en agosto de 2017 (G. Villalobos, com. pers.).

Contiguo al sitio R se ubica la parcela adyacente control con eucaliptos (Ac), la cual comparte las condiciones físicas de terreno, presión antrópica y algunas acciones de restauración que se han realizado en la parcela en restauración, como el retiro de especies exóticas arbustivas y desechos inorgánicos. Esta parcela se diferencia de R porque en ella no se retiraron los eucaliptos durante 2017 (G. Villalobos, com. pers.).

En la porción más oriental de A2 está la denominada parcela independiente control con eucaliptos (Ic). Se encuentra separada espacialmente de R y Ac por un retorno vehicular. Topográficamente exhibe una serie de hondonadas y presenta importantes presiones humanas al ubicarse en un camellón que recibe el flujo continuo de personas provenientes de la FCyA y la ENTS, además de albergar un estacionamiento y contar con una bahía de descenso vehicular. En este sitio, las labores de restauración se limitan al retiro de desechos de jardinería y basura en la orilla del retorno vehicular próximo al ICAT (G. Villalobos, com. pers.).

El fragmento de pedregal remanente sin eucaliptos (Fs) es un espacio que no presenta individuos del género *Eucalyptus*. El terreno que lo conforma presenta pocas veredas, grandes oquedades y diversas hondonadas, además presenta una elevada actividad de fauna silvestre (Maravilla-Romero y Cano-Santana, 2009). Sin embargo, la actividad humana en los últimos años se ha incrementado en la zona y se ha registrado la presencia

de letrinas al aire libre, depósito constante de desechos de jardinería y basura inorgánica así como la presencia de especies exóticas como *Leonotis nepetifolia* (I. Núñez y Z. Cano-Santana, coms. perss.).

Al norte de la zona núcleo oriente está localizada la parcela conservada sin eucaliptos (Ns). Se trata de un área topográficamente heterogénea la cual reporta la menor actividad antrópica del polígono perteneciente a la REPSA, principalmente por carecer de caminos accesibles. No registra acumulación de desechos, además de no tener fuentes cercanas de contaminación lumínica, sonora y visual. Adicionalmente este sitio no cuenta con reportes de incendio desde los registros de 2011 y no tiene individuos del género *Eucalyptus* en pie (Zambrano *et al.*, 2016).

### **3.3 Estructura de la comunidad vegetal**

Se utilizó la técnica de muestreo denominada línea de interceptación o línea de Canfield (1941) para conocer la composición y estructura de la comunidad vegetal.

Dentro de cada una de las cinco parcelas de estudio se trazaron tres líneas de Canfield de 40 m cada una, con una separación de 15 m entre sí. Se registró la cobertura de cada especie vegetal en tramos de 1 m al interior de cada una de las líneas, exceptuando líquenes y musgos, y sin considerar el estrato al que pertenecían. Se realizaron cuatro muestreos, el primero en agosto de 2017 (antes de la remoción de eucaliptos en la parcela R), y los demás en abril, junio y agosto de 2018 (después de la remoción realizada en R).

Durante los muestreos se empleó la publicación de Castillo-Argüero *et al.* (2009) para identificar las especies vegetales presentes. Se colectaron los especímenes no determinados y se herborizaron para su posterior identificación. Con los datos obtenidos se elaboró una lista de las especies presentes en las parcelas de estudio con base en Villaseñor (2016).

Las especies identificadas se agruparon en dos categorías: exóticas y nativas. Las especies exóticas se enlistaron dentro de este grupo si se encontraban registradas como tales en Villaseñor y Espinosa-García (2004) y REPSA (2018). Por su parte, las nativas fueron subdivididas a su vez en dos grupos: *arvenses*, de acuerdo a Espinosa-García y Sarukhán (1997), Villaseñor-Ríos y Espinosa-García (1998), Antonio-Garcés *et al.* (2009) y Castillo-Argüero *et al.* (2009), y *no arvenses*, que son todas aquellas que no estaban registradas en las publicaciones mencionadas.

### **3.4 Análisis de datos**

Para cada uno de los muestreos efectuados se calculó el índice de similitud de Sørensen (1948) (Moreno, 2001) para conocer qué tan semejante (en términos de las especies registradas) es el sitio en restauración respecto a las zonas perturbadas con eucaliptos y a los sitios conservados sin estos árboles. En Ns no se realizó el muestreo de abril de 2018.

A partir de los datos de cobertura de las especies vegetales se realizó un dendograma basado en el índice de similitud de Bray y Curtis (1957) para visualizar las afinidades de los ensamblajes de especies en cada fecha de muestreo y cada sitio de estudio, para lo cual se empleó el software Biodiversity Professional (McAleece *et al.* 1997).

Con base en el listado de especies de la comunidad vegetal se calculó el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ , usando  $\log_{10}$ ) (Magurran, 2004) en los muestreos de agosto de 2017 y agosto de 2018 en las cinco parcelas de estudio. Los valores obtenidos fueron analizados a través del procedimiento propuesto por Hutcheson (1970) (Zar, 2014) para detectar si había diferencias estadísticas en la diversidad vegetal al interior de las parcelas.

Por otra parte, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) en relación a la cobertura de cada especie vegetal para obtener un ordenamiento espacio-temporal de las cinco zonas de estudio en los cuatro muestreos correspondientes al periodo 2017-2018. Los componentes uno y dos obtenidos se correlacionaron con las coberturas por especie para saber con cuál de ellas se correlacionaban significativamente, para lo cual se usó el software SPSS V.20 (IBM, 2011).

#### IV. RESULTADOS

En el monitoreo del periodo anual agosto 2017-agosto de 2018 se registró un total de 156 especies dentro de las cinco parcelas de estudio. De manera particular, en el listado de la zona de amortiguamiento A2 de la REPSA, integrada por las parcelas R, Ac e Ic, se registró un total de 114 especies (Tabla A1 del Anexo 1).

Asimismo, en agosto de 2018 se realizó una medición de los rebrotes de los tocones de eucalipto, remanentes de la tala hecha en 2017, los cuales registraron tallas de entre 1 y 4 m de altura.

En cuanto a la composición de las comunidades vegetales, en la parcela R se presenta una mayor cobertura relativa de *Pittocaulon praecox* (anteriormente *Senecio praecox*) (8.8-16.9%), seguido de *Buddleja cordata* (3.5-9.98%) y *Schinus molle* (6.4-13.1%) (Fig. 4.1a). Una característica particular de este sitio es que los valores de cobertura de la especie exótica *Eucalyptus camaldulensis* en agosto de 2017 (8.8%) (antes de la remoción) se redujeron a 1.7% un año después de esta acción. También se observa un incremento en la cobertura de las plantas no dominantes (“Otras”, esto es, aquellas especies con una cobertura menor a 3%) de agosto de 2017 (26.7%) a agosto de 2018 (31.5%). Asimismo, se nota un reducción de cobertura de *B. cordata* y *Montanoa tomentosa* entre agosto de 2017 y agosto de 2018 (7.8% a 3.5% y 6.7% a 3.3%, respectivamente), y un incremento de *Muhlenbergia robusta* de 2.3% a 4.2% en el mismo periodo.

En el caso de la parcela Ac, las especies con mayor cobertura a lo largo de todos los muestreos son: *M. tomentosa* (11.3-22.6%), seguida de las especies exóticas *E. camaldulensis* (6.2-16.3%) y *S. molle* (4.8-11.5%) (Fig. 4.1b). También se observa una

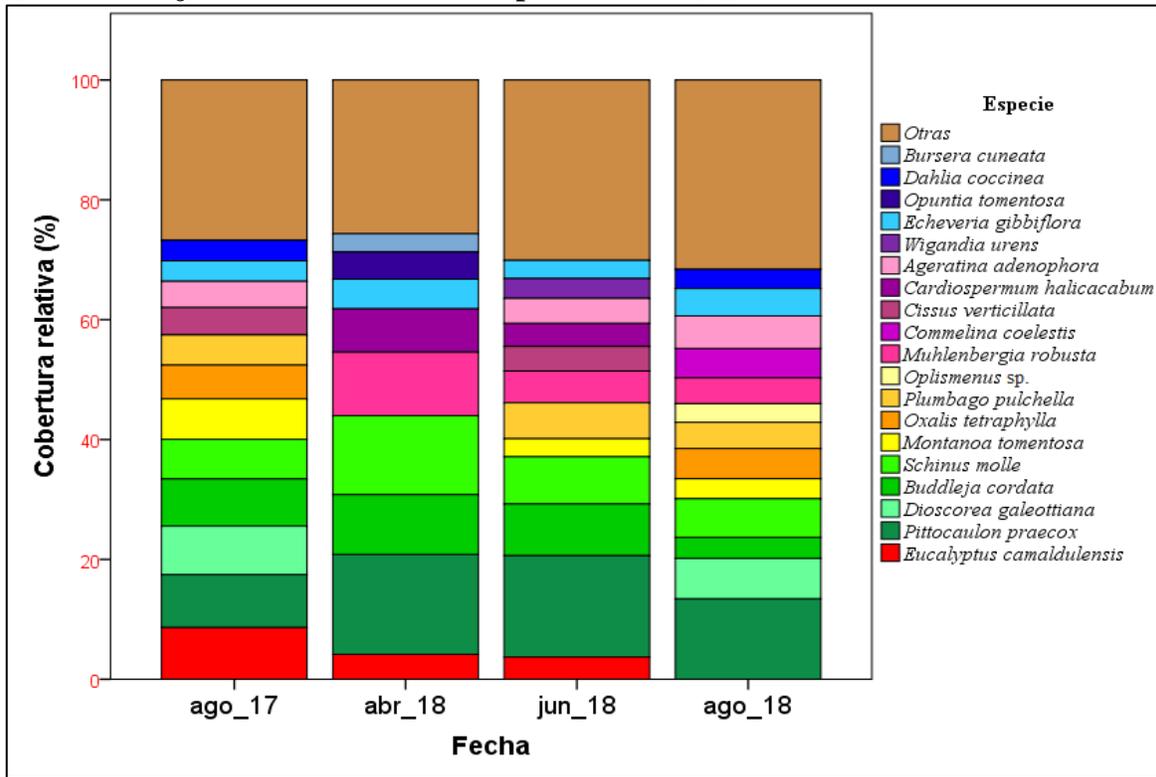
disminución del valor de cobertura de las especies que integran la categoría “Otras” entre agosto de 2017 (26.5%) y abril-agosto de 2018 (14.2-26.4%).

Por su parte, en la parcela Ic las especies que aparecen como dominantes por su cobertura relativa son: *E. camaldulensis* (10.5-22.2%), *M. tomentosa* (7.7-15.5%) y *P. praecox* (4.6-13.4%) (Fig. 4.1c). Además, *Oxalis tetraphylla* reduce su porcentaje de cobertura de 14.0% a 6.0% en este ciclo anual; de forma similar, el valor en porcentaje de las especies agrupadas en “Otras” desciende entre el muestreo de 2017 (32.1%) y los realizados en 2018 (15.9-31.1%).

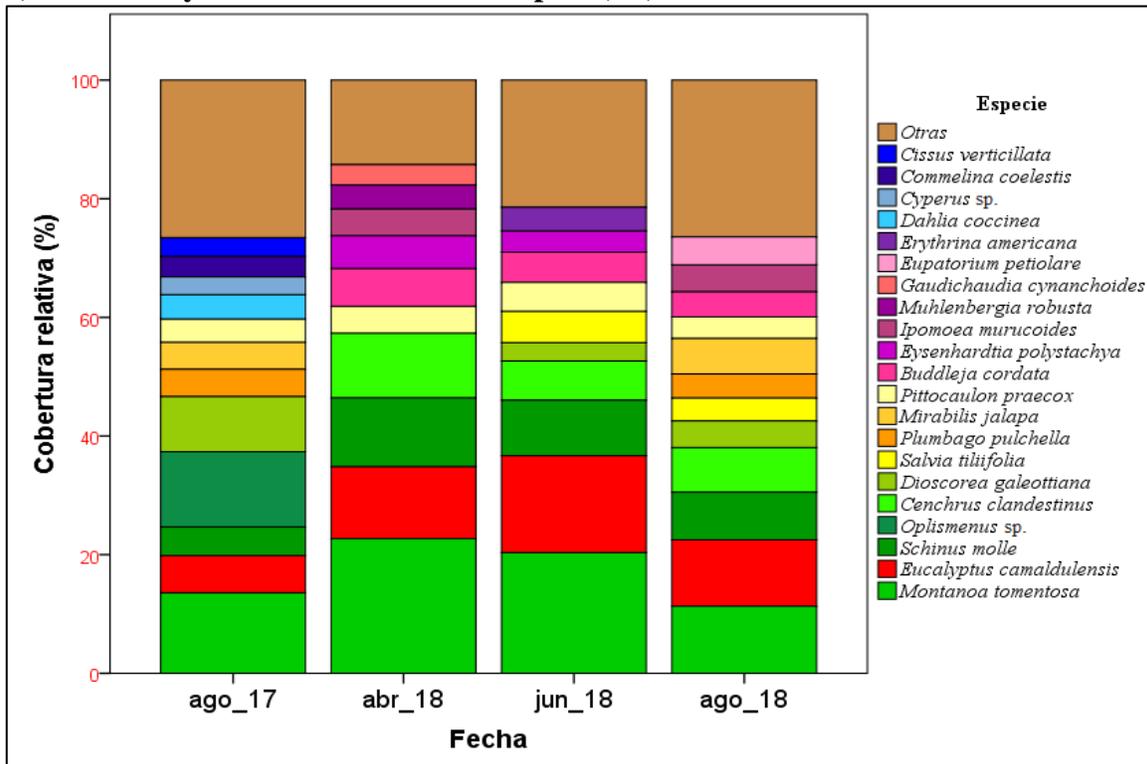
En la parcela Fs, por otro lado, se observa una mayor dominancia de especies nativas durante todos los muestreos, como: *B. cordata* (20.1-39.6%), *P. praecox* (7.2-10.0%) y *Echeveria gibbiflora* (5.1-6.3%) (Fig. 4.1d). Así mismo, las especies *Dahlia coccinea* y *Eupatorium petiolare* presentan una dominancia marcadamente estacional, exhibiendo una fluctuación en sus porcentajes entre agosto de 2017 y agosto de 2018 de 2.0% a 7.3% y 0.5% a 6.6% respectivamente.

Finalmente, la parcela Ns localizada al interior de la zona conservada, muestra la dominancia de seis especies, cuya presencia es constante durante todo el ciclo de estudio y en suma representan más del 50% de cobertura relativa en cada uno de los muestreos. Estas especies son: *M. robusta* (15.2-19.2%), *Buddleja parviflora* (10.8-12.9%), *D. coccinea* (5.7-15.6%), *Dodonaea viscosa* (5.7-11.6%), *Phlebodium areolatum* (4.9-6.9%) y *B. cordata* (4.7-8.7%) (Fig. 4.1e).

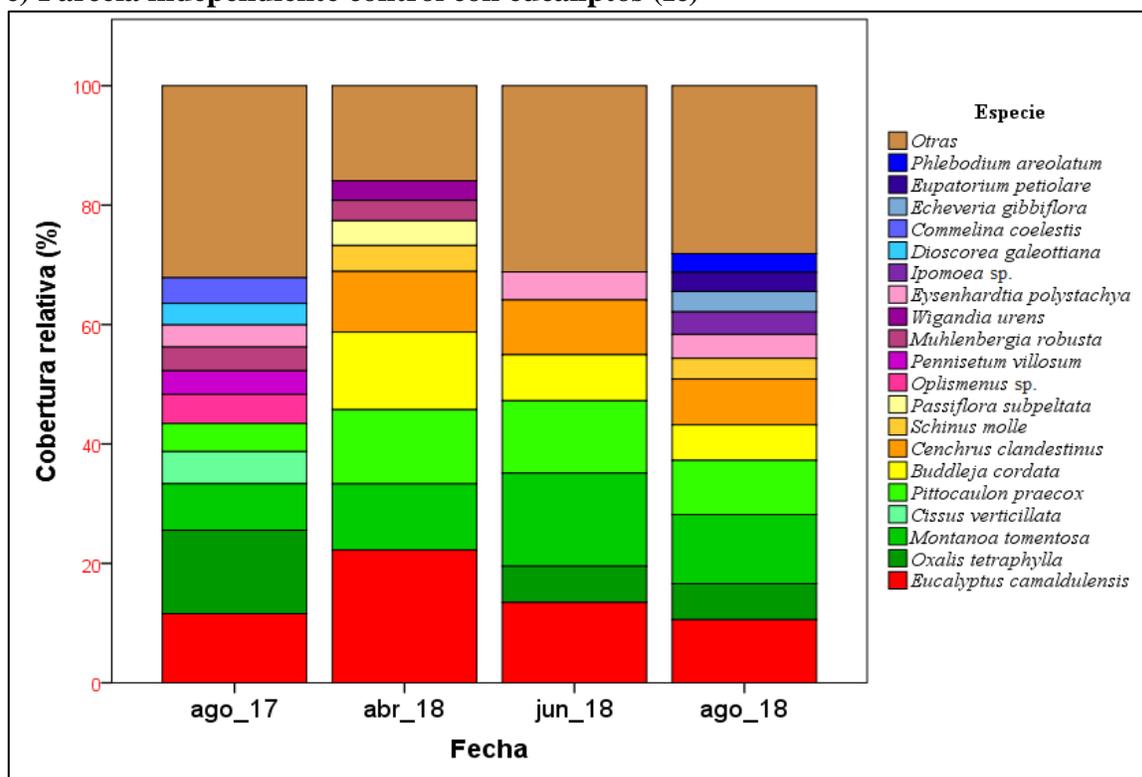
a) Parcela sujeta a remoción de eucaliptos en 2017 (R)



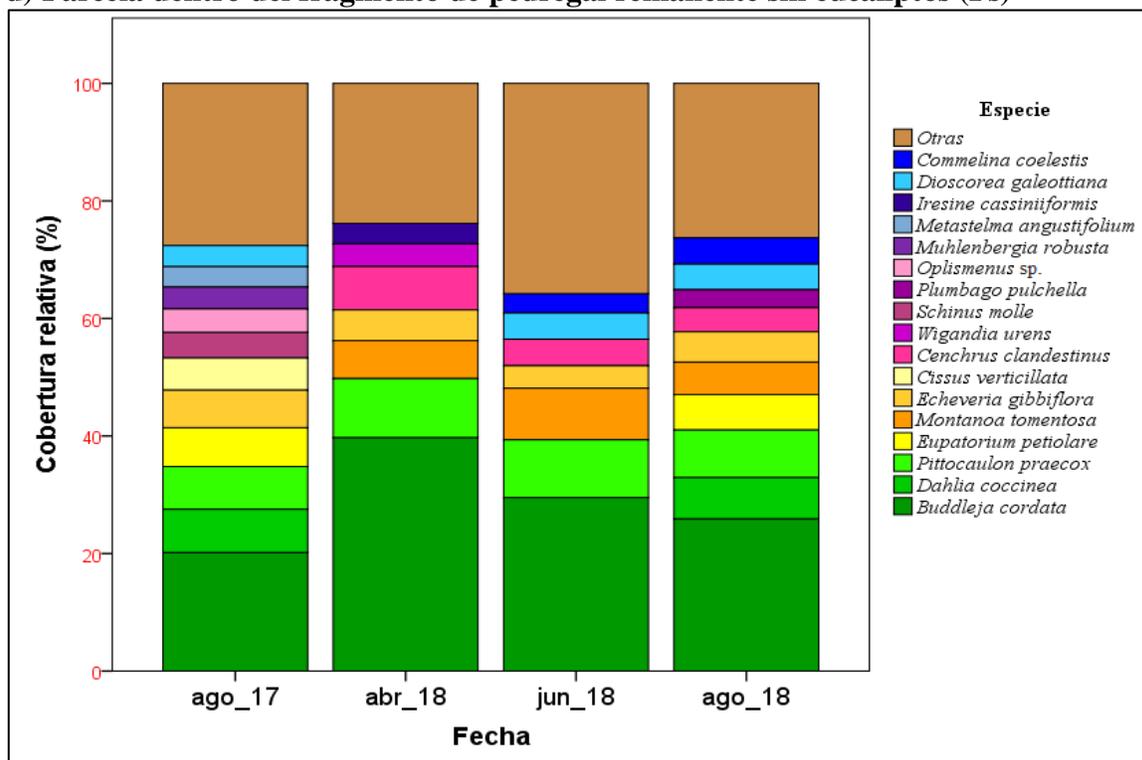
b) Parcela adyacente control con eucaliptos (Ac)



**c) Parcela independiente control con eucaliptos (Ic)**



**d) Parcela dentro del fragmento de pedregal remanente sin eucaliptos (Fs)**



e) Parcela dentro de zona conservada sin eucaliptos (Ns)

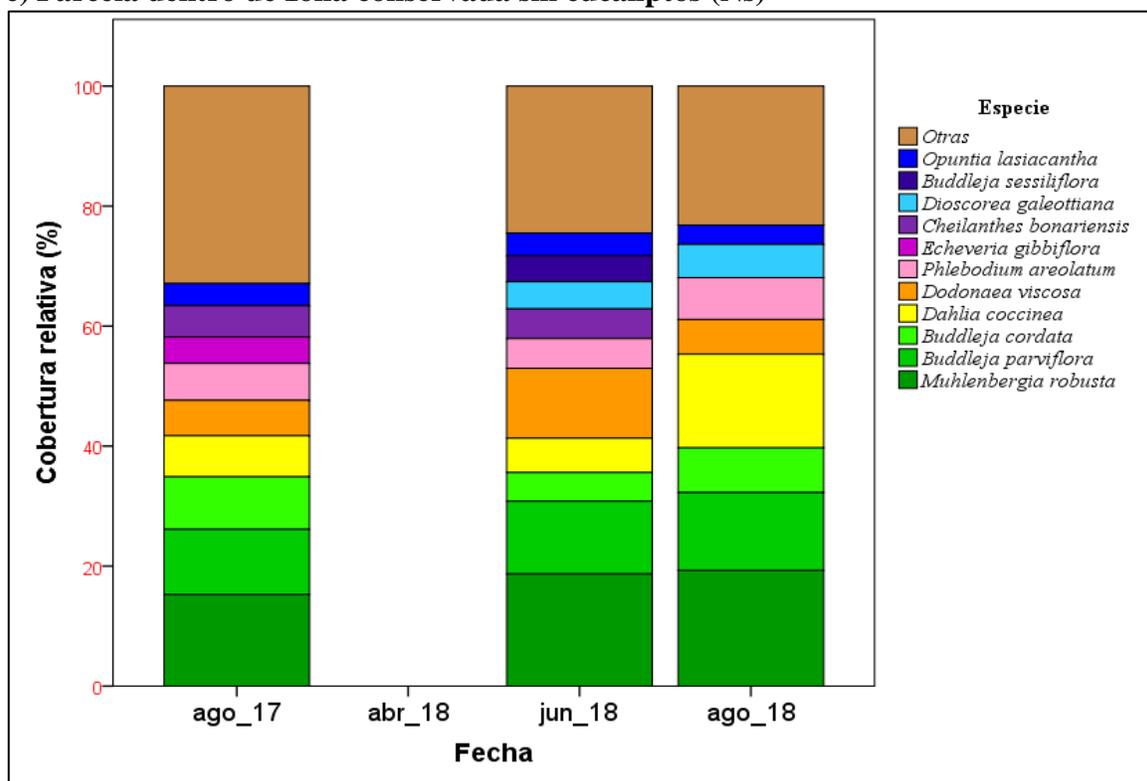


Figura 4.1. Cambios en la cobertura relativa de la comunidad vegetal en las parcelas: (a) sujeta a restauración por remoción de eucaliptos en septiembre de 2017 (R), (b) adyacente a R control con eucaliptos (Ac), (c) independiente a R control con eucaliptos (Ic), (d) localizada en un fragmento conservado sin eucaliptos (Fs) y (e) ubicada en la zona conservada más cercana (zona núcleo oriente) sin eucaliptos (Ns). Datos de cuatro muestreos realizados entre agosto de 2017 y agosto de 2018. La categoría “Otras” agrupa a las especies con un porcentaje de cobertura menor al 3%

En lo que se refiere al cambio de las coberturas relativas por tipo de plantas, las cinco parcelas muestran una dominancia de las nativas no arvenses (57.2%-91.7%), en tanto que, la proporción de las especies clasificadas como exóticas es más baja que las nativas en todos los sitios (0.7%-38.5%) (Fig. 4.2).

El sitio sujeta a restauración muestra un decremento de la cobertura por parte de las especies exóticas, notablemente influido por la remoción del eucalipto, reduciéndose de 18.8% en agosto de 2017 a 11.2% en agosto de 2018. Al mismo tiempo se observa un

aumento de la cobertura de las nativas arvenses entre agosto de 2017 (7.7%) y el periodo posterior a la remoción de los eucaliptos (abril-agosto de 2018; 12.2-18.4%); asimismo, la cobertura de las especies nativas no arvenses presenta una reducción entre el muestreo de agosto de 2017 (73.4%) y los muestreos realizados en 2018 (junio y agosto, pues en abril no se muestreó esta parcela; 68.2-70.34%; Fig. 4.2).

A su vez, las parcelas perturbadas con eucaliptos (Ac e Ic) son las que mantienen una mayor proporción de especies exóticas que el resto de las parcelas. Ac, aloja un porcentaje de 11.6% en agosto de 2017 y de entre 27.0 y 35.9% de abril de 2017 a agosto de 2018; en tanto que Ic presenta una cobertura de 20.5% en el primer muestreo, mientras que en 2018 este porcentaje va de 26.7% a 38.5% (Fig. 4.2).

Al interior de la parcela Fs dominan las especies nativas no arvenses, que registran entre 82.5 y 91.7% de cobertura, en tanto que, las arvenses muestran menor dominancia (3.6-10.8%), Por su parte, las especies exóticas exhiben la menor cobertura relativa dentro de este remanente de pedregal (4.6-6.4%) (Fig. 4.2).

Finalmente, la parcela Ns, al igual que Fs, alberga una mayor proporción de especies nativas no arvenses durante todo el periodo de estudio (84.0-89.4%), en segundo lugar en relación a la cobertura relativa está representada la categoría arvense (9.7-20.5%) y, al igual que en Fs, la categoría de exóticas mostró la menor cobertura relativa (0.7-2.6%) (Fig. 4.2).

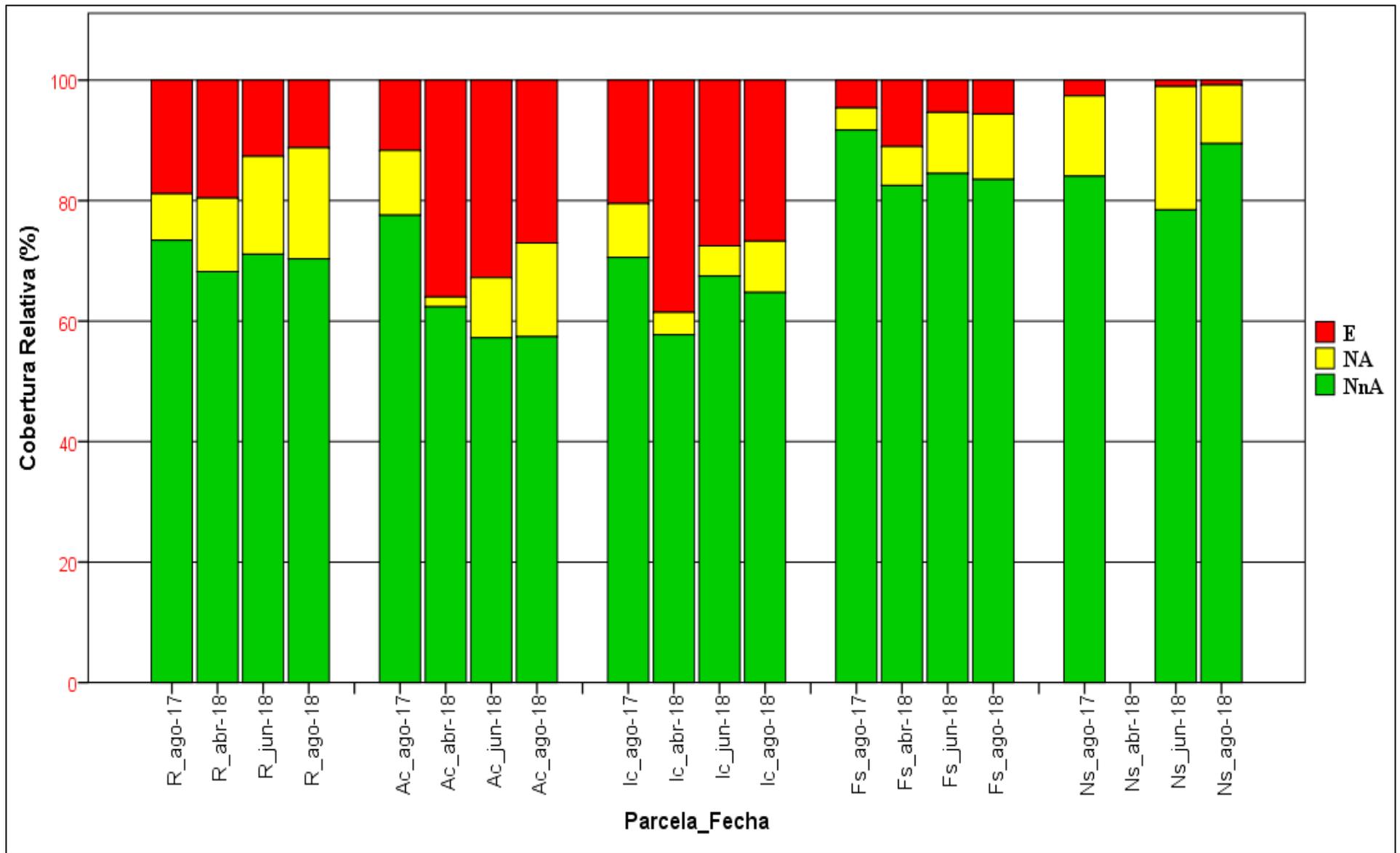


Figura 4.2 Cambios en la cobertura relativa de acuerdo a la clasificación: exóticas (E), nativas arvenses (NA) y nativas no arvenses (NnA) en las cinco parcelas de estudio en cuatro muestreos realizados entre agosto de 2017 y agosto de 2018. El significado de los símbolos se encuentra al pie de la figura 4.1.

A lo largo del periodo de estudio, el índice de similitud de Sørensen de la comunidad vegetal de la parcela R en relación a Ac e Ic aumentó, entre agosto de 2017 y junio de 2018, de 0.666 a 0.781 y de 0.642 a 0.756, respectivamente; sin embargo, en agosto de 2018 estos valores registraron una cifra prácticamente igual a la obtenida 12 meses antes (0.672 y 0.673, respectivamente) (Fig. 4.3). Por otro lado el valor del índice de la parcela R respecto a Ns se mantuvo constante de agosto de 2017 a junio de 2018 (0.532 a 0.531), mientras que en agosto de 2018 incrementó su valor llegando a 0.566. Finalmente, cuando se compara la comunidad de R en relación a Fs se observa el incremento de los valores del índice de 0.576 en agosto de 2017 a 0.720 en agosto de 2018.

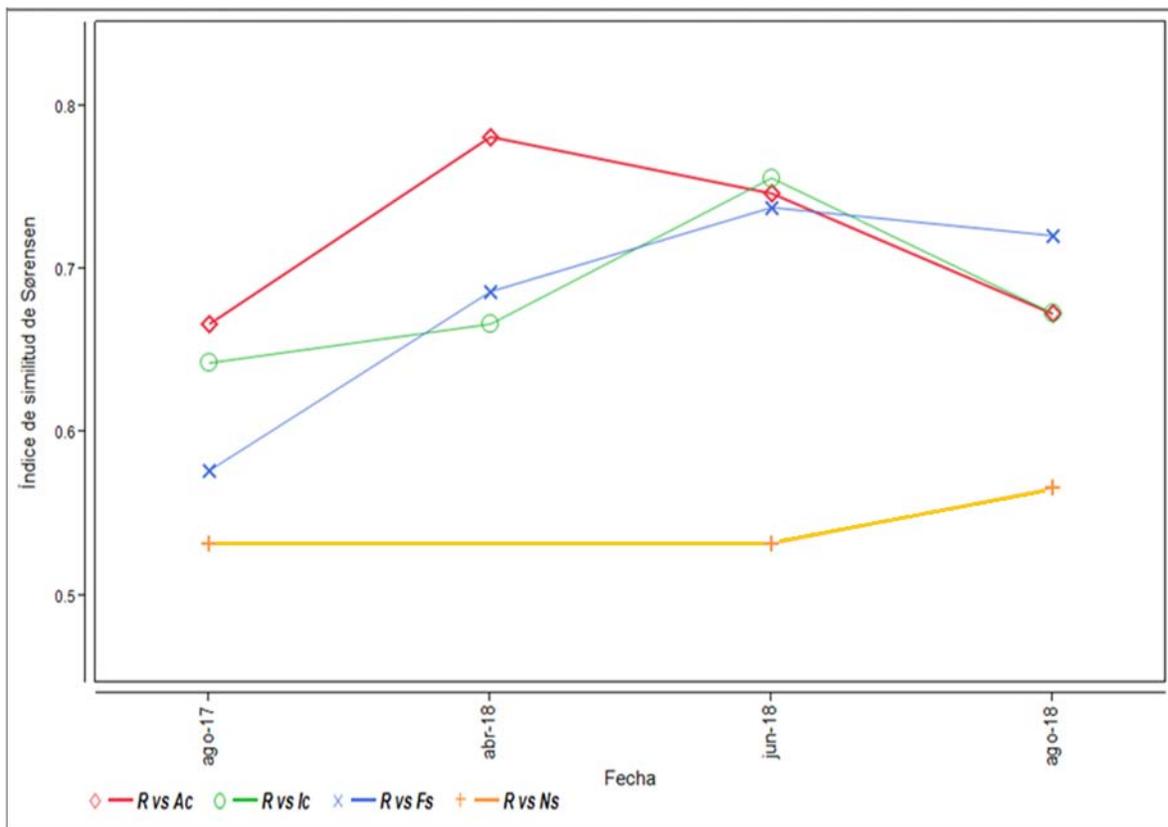


Figura 4.3. Cambio temporal en el valor del índice de Sørensen entre la comunidad vegetal de la parcela R respecto las parcelas Ac, Ic, Fs y Ns durante cuatro muestreos realizados entre agosto de 2017 y agosto de 2018. El significado de los símbolos se encuentra al pie de la figura 4.1

Por otra parte, al revisar el dendrograma de Bray-Curtis elaborado con los datos de los muestreos (Fig. 4.4) se observó que al cortar éste al 50% de similitud (línea vertical roja), se conforman dos grupos: en uno se encuentran los muestreos realizados en la zona núcleo y en otro los de los fragmentos, lo cual sugiere las grandes diferencias en composición cuando se reduce en extensión un hábitat. Sin embargo, al cortar el esquema hacia el 62% de similitud (línea vertical azul), se generan dos grupos, el primero integrado por tres de los muestreos realizados en la parcela Fs (Fs1, Fs3 y Fs4), mientras que el segundo lo conforman el muestreo realizado en abril de Fs (Fs2) y todas las parcelas que tienen (incluyendo R1) o tuvieron eucaliptos (como R2, R3 y R4).

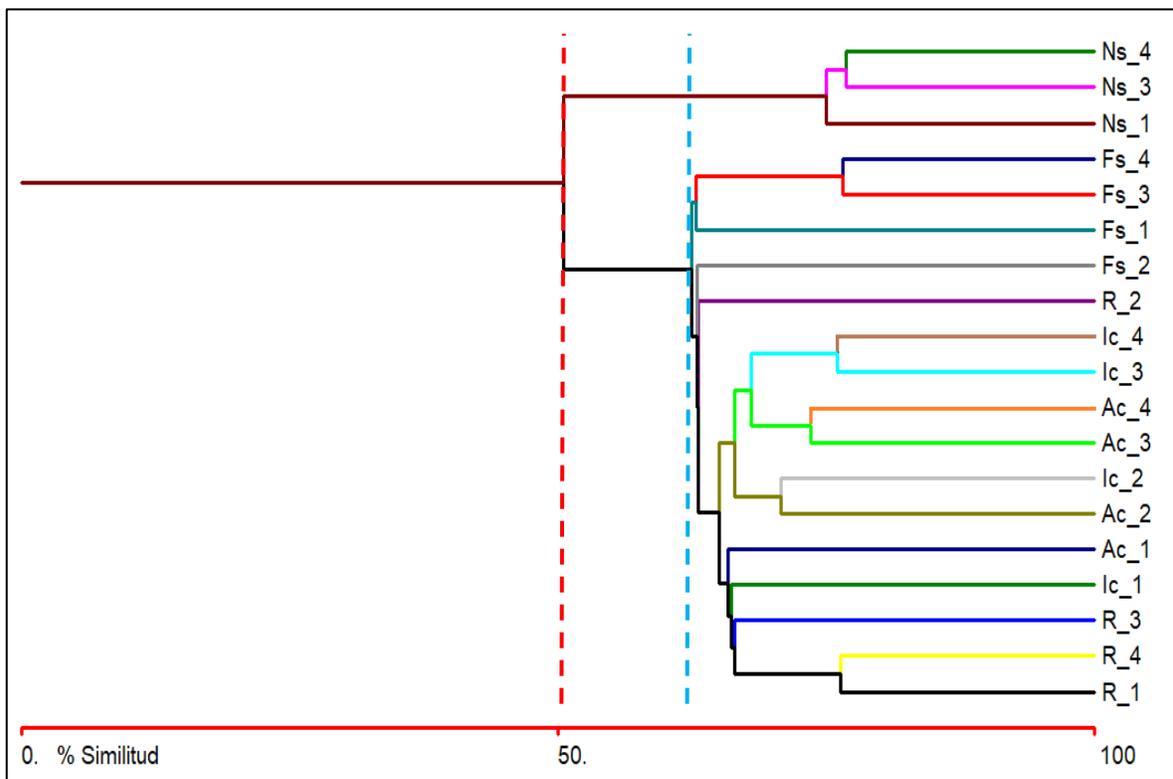


Figura 4.4. Dendrograma que compara las relaciones de similitud de la comunidad vegetal por parcela y número de muestreo. El significado de los símbolos se encuentra al pie de la figura 4.1. Los numerales 1, 2, 3 y 4 denotan el número de muestreo y corresponden a los realizados en agosto de 2017, abril de 2018, junio de 2018 y agosto de 2018, respectivamente.

Durante el muestreo de agosto de 2017, se encontró que los valores de  $H'$  de los sitios R y Ac, es decir, las parcelas geográficamente más cercanas, y previo a la remoción de eucaliptos no difirieron significativamente; simultáneamente, los valores de este parámetro entre las parcelas Ic y Fs no mostraron diferencias significativas; mientras que, Ns presentó un valor de  $H'$  significativamente mayor a R (Tabla 4.1).

Un año después de la remoción, en agosto de 2018, se observó que los valores de  $H'$  variaron en el siguiente sentido:  $R > Ac = Ic > Ns$  y Fs. La parcela R se diferenció significativamente de las parcelas perturbadas Ac, Ic y Ns, mientras que no presentó diferencias significativas con Fs, es decir la parcela al interior del remanente de pedregal que no alberga eucaliptos (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de las cinco parcelas en los muestreos de agosto de 2017 y agosto de 2018. Letras diferentes en un mismo renglón denotan diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) a través del procedimiento propuesto por Hutcheson (1970). El significado de los símbolos se encuentra al pie de la figura 4.1

Año/Sitio	R	Ac	Ic	Fs	Ns
2017	1.46 <sup>bc</sup>	1.42 <sup>c</sup>	1.49 <sup>ab</sup>	1.47 <sup>ab</sup>	1.49 <sup>a</sup>
2018	1.52 <sup>a</sup>	1.46 <sup>b</sup>	1.47 <sup>b</sup>	1.50 <sup>ab</sup>	1.37 <sup>c</sup>

Al realizar el análisis de componentes principales se encontró que el ordenamiento generado a partir de la suma de los componentes uno (CP1, 51%) y dos (CP2, 17%) explica el 68% de la varianza, y genera claros agrupamientos de las parcelas de estudio sobre todo desde el punto de vista espacial, pues, a pesar de la estacionalidad y la variación entre años, los datos se agrupan de acuerdo al sitio, a la presencia de eucaliptos y a la fragmentación del hábitat (Fig. 4.5).

Se observa un primer agrupamiento conformado por las parcelas con eucaliptos (todos los muestreos de Ac e Ic, incluyendo R1; ver elipse en color azul) (Fig. 4.5), todos los cuales se ubican en la esquina inferior derecha de la gráfica; otro agrupamiento es el de las parcelas sin eucaliptos, constituido por los muestreos realizados en R después de la remoción de eucaliptos (abril, junio y agosto de 2018), así como todos los de Fs y Ns (elipse morado; situados en la zona superior del gráfico) (Fig. 4.5). Asimismo, se separan los sitios localizados en fragmentos del pedregal (elipse verde) de los que se ubican al interior de la zona núcleo oriente (elipse rosa) (Fig. 4.5).

Con respecto a los valores obtenidos de la correlación entre las coberturas absolutas de las especies vegetales y los valores de los dos componentes principales (CP1 y CP2), el primero de los componentes (CP1) mostró una correlación positiva y significativa con *Cenchrus clandestinus*, *E. camaldulensis*, *Gaudichaudia cynanchoides*, *Opuntia tomentosa*, *P. praecox* y *S. molle*, especies en su mayoría ajenas al sistema del pedregal, en tanto que las coberturas de *Buddleja parviflora*, *Cheilanthes bonariensis*, *Dodonaea viscosa*, *M. robusta*, *Opuntia lasiacantha* y 28 especies más se correlacionaron en forma negativa y significativa con CP1 (Tabla 4.2). De acuerdo con los valores obtenidos, el primer grupo se conforma por especies indicadoras de espacios perturbados en tanto que el segundo conjunto incorpora especies vinculadas a zonas conservadas.

Así mismo, el CP2 se correlacionó positiva y significativamente con las coberturas de *Cheilanthes bonariensis*, *Cheilanthes myriophylla*, *Manfreda scabra*, *M. robusta*, *Selaginella lepidophylla* y 20 especies más. A su vez, se presentó una correlación negativa y significativa con *Cenchrus clandestinus*, *E. camaldulensis*, *Erythrina americana*, *Eysenhardtia polystachya*, *Gaudichaudia cynanchoides*, *M. tomentosa* y *S. molle* (Tabla 4.2). Las correlaciones positivas mencionadas entre el segundo componente y la cobertura

de las especies vegetales resultan en una primera agrupación que incluye especies alojadas dentro de sitios conservados, mientras que el segundo grupo expone una amplia representación de especies en su mayoría exóticas (Tabla 4.2).

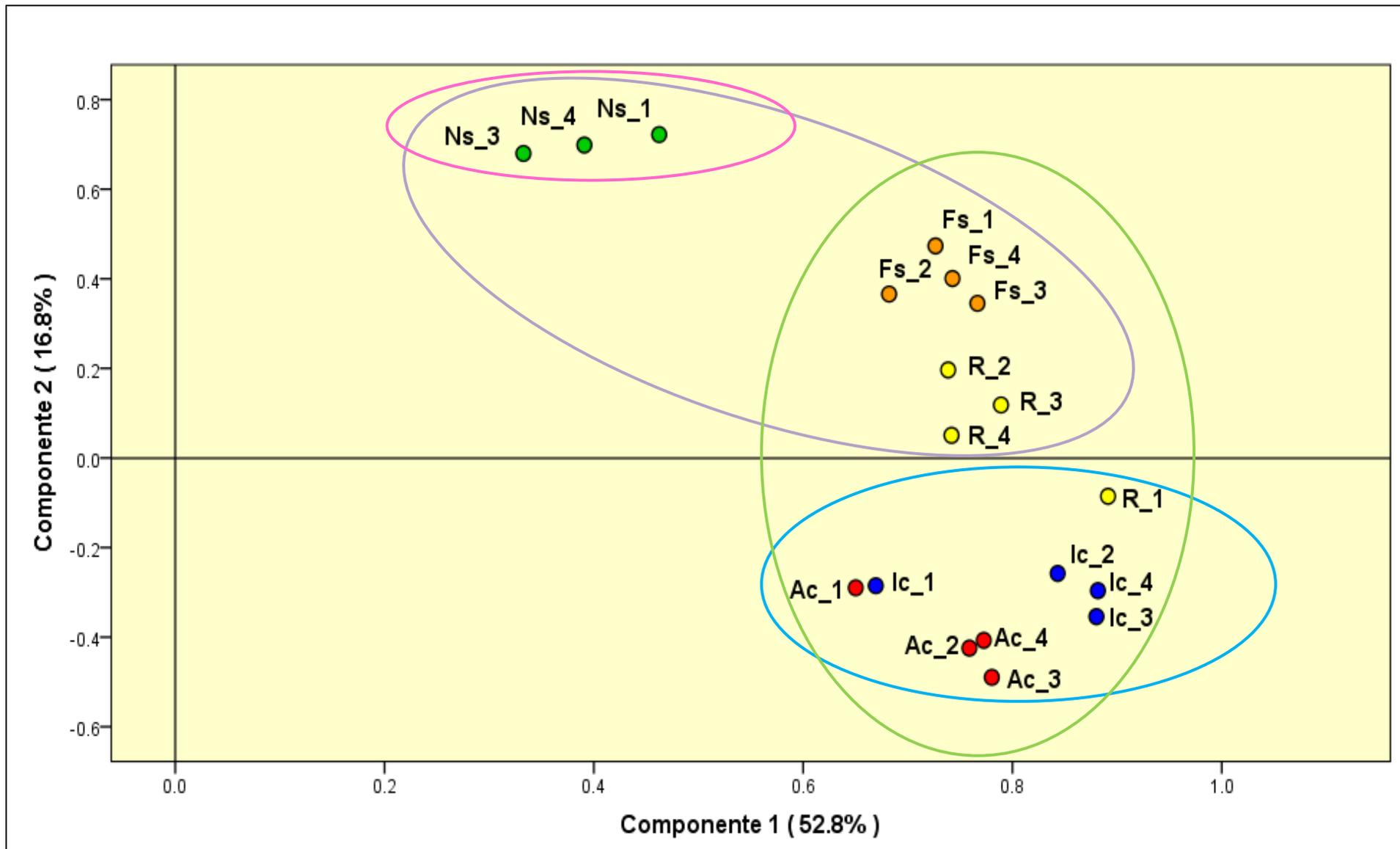


Figura 4.5. Proyección del Análisis de Componentes Principales de la comunidad vegetal durante el periodo de agosto de 2017 a agosto de 2018. Símbolos como en la Fig. 4.1. Los numerales 1, 2, 3 y 4 denotan el número de muestreo y corresponden a los realizados en agosto de 2017, abril de 2018, junio de 2018 y agosto de 2018, respectivamente.

Tabla 4.2. Valores de los índices de correlación entre los valores de las coberturas absolutas de las especies vegetales y los valores de los dos componentes principales (CP1 y CP2). Se presentan las especies con una correlación significativa (\*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001, g.l.= 17). Las especies que no estuvieron correlacionadas con ninguno de los dos primeros componentes no se enlistan.

<b>Especie</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
<i>Aegopogon</i> sp.	-0.582**	0.359
<i>Aegopogon tenellus</i>	-0.634**	0.526*
<i>Archibaccharis serratifolia</i>	-0.755***	0.625**
<i>Arracacia toluensis</i>	-0.586**	0.525*
<i>Asplenium praemorsum</i>	-0.600**	0.508*
<i>Bouvardia ternuifolia</i>	-0.116	0.512*
<i>Buchloe dactyloides</i>	-0.582**	0.359
<i>Buddleja cordata</i>	0.038	0.529*
<i>Buddleja parviflora</i>	-0.868***	0.677**
<i>Buddleja sessiliflora</i>	-0.582**	0.359
<i>Bursera fagaroides</i>	-0.582**	0.359
<i>Cenchrus clandestinus</i>	0.498*	-0.553*
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	-0.758***	0.882***
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	-0.712***	0.501*
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	-0.748***	0.787***
<i>Cyperus manimae</i>	-0.493*	0.370
<i>Dahlia coccinea</i>	-0.656**	0.611**
<i>Dodonaea viscosa</i>	-0.887***	0.654**
<i>Echeveria gibbiflora</i>	-0.060	0.498*
<i>Erythrina americana</i>	0.082	-0.530*
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.489*	-0.858***
<i>Euphorbia macropus</i>	-0.493*	0.370
<i>Evolvulus alsinoides</i>	-0.582**	0.359
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	0.358	-0.764***
<i>Gaudichaudia cynanchoides</i>	0.475*	-0.590**
<i>Gnaphalium canescens</i>	-0.582**	0.359
<i>Govenia</i> sp.	-0.493*	0.370
<i>Habenaria novemfida</i>	-0.365	0.536*
<i>Hypoxis decumbens</i>	-0.582**	0.359
<i>Macroptilium gibbosifolium</i>	-0.603**	0.614**
<i>Manfreda scabra</i>	-0.579**	0.765***
<i>Metastelma angustifolium</i>	-0.146	0.525*
<i>Montanoa tomentosa</i>	0.443	-0.827***
<i>Muhlenbergia robusta</i>	-0.881***	0.700***
<i>Opuntia lasiacantha</i>	-0.871***	0.679**
<i>Opuntia tomentosa</i>	0.624**	-0.375
<i>Oxalis lunulata</i>	-0.724***	0.602**

Tabla 4.2. (Continúa)

<b>Especie</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
<i>Pellaea cordifolia</i>	-0.733***	0.697***
<i>Phaseolus</i> sp.	-0.582**	0.359
<i>Phlebodium areolatum</i>	-0.703***	0.442
<i>Pittocaulon praecox</i>	0.659**	-0.203
<i>Polypodium thyssanolepis</i>	-0.317	0.486*
<i>Salvia mexicana</i>	-0.568*	0.653**
<i>Schinus molle</i>	0.505*	-0.604**
<i>Selaginella lepidophylla</i>	-0.524*	0.772***
<i>Setaria</i> sp.	-0.493*	0.370
<i>Stevia</i> sp.	-0.493*	0.370
<i>Tagetes lunulata</i>	-0.582**	0.359
<i>Tigridia pavonia</i>	-0.320	0.464*

## V. DISCUSIÓN

### 5.1 Inventario de plantas vasculares

El registro y la cuantificación de los elementos de la comunidad vegetal en cualquier ecosistema permiten conocer las características descriptivas de esta comunidad. No obstante, este conocimiento debe integrar elementos de orden ecológico que permitan conocer los cambios, las propiedades y el funcionamiento de la comunidad al interior del ecosistema (Castillo-Argüero *et al.*, 2004, 2009).

El inventario de plantas vasculares registradas en A2 representa el segundo trabajo de inspección en esta zona de amortiguamiento, ya que el primer listado se realizó en el periodo de junio de 2005 a noviembre de 2006 por Maravilla-Romero (2012). En términos numéricos el listado obtenido en la presente tesis es similar al registro previo. Maravilla-Romero (2012) documentó un total de 118 especies en este sitio, en tanto que, la lista de este trabajo registra 114 especies. En cuanto a la riqueza florística al interior de la reserva, el sitio A2 alberga un 30.2% del total de las 377 especies reportadas para la REPSA (Castillo-Argüero *et al.*, 2009).

La conformación de inventarios de los recursos bióticos del pedregal posibilita la generación de evidencias que permiten sustentar la importancia y el apoyo al mantenimiento y la protección de la REPSA (Castillo-Argüero *et al.*, 2004), así como de los afloramientos rocosos presentes en diversas entidades académicas de Ciudad Universitaria.

### 5.2 Los cambios en la comunidad vegetal

Un cambio en un ecosistema afecta a las especies que forman parte de él, y los cambios en las especies, a su vez, repercuten en los procesos del ecosistema (MEA, 2005). Los cambios

ambientales que se presentan en el proceso de sucesión en el contexto de una restauración se clasifican en: autogénicos, que son provocados por la biota, y alogénicos, que corresponden a aquellos en que los organismos no influyen de manera significativa (Lindig, 2017). Los eucaliptos, en el caso que se estudia en este trabajo, constituyen agentes de cambio autogénico en los ecosistemas, ya que interactúan y compiten por nutrientes y recursos como el suelo, el agua, la radiación solar y el espacio con organismos vecinos (Poore y Fries, 1987; Chanie *et al.*, 2013; Campoe *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2014; Afzal *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2018).

En lo que se refiere a las especies dominantes (aquellas que emplean más recursos y, a su vez, son las principales contribuyentes de la productividad al interior de las comunidades naturales), éstas desempeñan un papel clave al conferir resistencia y estabilidad a las funciones de los ecosistemas (Smith y Knapp, 2003).

Las especies con mayor cobertura relativa al interior de la parcela en restauración fueron *Pittocaulon praecox*, *Schinus molle* y *Buddleja cordata*. Desde la década de 1950 la primera de estas especies ha sido descrita como dominante en los estudios publicados sobre el pedregal de San Ángel, lo que permitió caracterizar al matorral como “Senecionetum praecocis” en referencia a los altos valores de cobertura que *P. praecox* mostraba (Rzedowski, 1954). Mientras que *S. molle* fue descrita por Rzedowski (1954) como un colonizador en expansión con el potencial para desplazar a especies nativas dominantes.

Al realizar una comparación de los datos obtenidos acerca de esta especie, los valores concuerdan con los de publicaciones recientes (Muñoz-Saavedra, 2013; Estañol-Tecuatl, 2014; González-Jaramillo, 2018) que registran la dominancia, en términos de cobertura de *S. molle* al interior de la REPSA; sin embargo, la evaluación de su impacto

sobre la flora de esta reserva ha sido difícil de evaluar debido a la falta de casos comparables (Castillo-Argüero *et al.*, 2009).

Por otro lado, *B. cordata* es una especie nativa que ha sido reportada como la principal contribuyente a la productividad primaria neta aérea del pedregal (Cano-Santana, 1994). Además, representa un elemento importante en la función ecosistémica del pedregal como fuente de recursos alimenticios para distintos herbívoros y sitio de reposo para diversas aves nativas y migratorias (Cano-Santana, 1994; San José-Alcalde *et al.*, 2010).

Por lo que se refiere a las actividades de restauración, éstas se desarrollan dentro del marco de la sucesión ecológica, ya que este proceso comprende el cambio de especies y sustratos a lo largo del tiempo y la restauración involucra las modificaciones deliberadas de estos cambios (Walker *et al.*, 2007).

En este sentido, se observó que, las plantas vasculares catalogadas como nativas arvenses, consideradas sucesionalmente tempranas, presentaron un incremento continuo al interior de la parcela intervenida. El aumento en cobertura relativa por parte de este grupo de especies en un hábitat perturbado es producto de la plasticidad y las eficientes características ecofisiológicas con las que cuentan este tipo de plantas, dentro de las que se encuentran: elevadas tasas de crecimiento y reproducción, así como órganos que funcionan como medios de almacenaje que a su vez permiten el rápido desarrollo de los sistemas aéreos y subterráneos que amplifican la absorción de nutrientes e incrementan la densidad de estas plantas (Blanco-Valdés, 2016).

A su vez, la cobertura de las especies nativas no arvenses, consideradas sucesionalmente tardías, disminuyó en esta parcela. Esta reducción se explica debido a la ausencia de recursos necesarios para su establecimiento como son los nutrientes, el agua y

la radiación solar, así como por las historias de vida particulares de las distintas especies presentes en el ecosistema de estudio (Huston y Smith, 1987).

En cuanto a las especies exóticas, se observa una disminución en cobertura de agosto de 2017 (previo a la remoción de eucaliptos) en relación al mismo mes en 2018 (12 meses después de la remoción), cifra que resulta positiva para el sistema del pedregal, ya que estos organismos, ajenos al ecosistema, son reconocidos como uno de los principales causantes de pérdida de biodiversidad a nivel global (CDB, 2009).

Asimismo, cabe señalar la concordancia entre los cambios descritos en este trabajo y los datos reportados por Segura-Burciaga y Meave (2001) que, en relación a la dominancia de especies, observaron la reducción por parte de las plantas arvenses y el incremento de las especies no arvenses al interior de la REPSA, posterior a la remoción de árboles de eucalipto.

Por otra parte, la similitud entre la vegetación de las parcelas perturbadas por la presencia de eucaliptos (medida a través del índice de Sørensen) en relación a la comunidad vegetal de la parcela R a lo largo del periodo de estudio registró un incremento en la temporada de secas; sin embargo, este aumento se redujo en la época de lluvias, al encontrarse valores próximos a los registrados en la misma época un año antes. Los datos observados corresponden estrechamente con lo que se conoce acerca del comportamiento marcadamente estacional de la zona, en la que se registra una etapa de lluvias y otra de sequía claramente diferenciables (Moyers-Arévalo y Cano-Santana, 2009).

Mediante el ACP se observa un claro agrupamiento entre los muestreos de 2018 efectuados en A2 y los realizados en el fragmento de pedregal sin eucaliptos, más que con los que se llevaron a cabo en la zona núcleo, que está integrada en un paisaje con una mayor extensión territorial. Esta diferenciación en relación al tamaño de las zonas que

albergan las parcelas, está influida por factores abióticos como el microclima, el suelo o la humedad (Hölzel, 2012), y las variaciones de estos factores, propios de la diversidad de micrositios que albergan los terrenos heterogéneos del pedregal, así como por restricciones biológicas como la baja disponibilidad de propágulos y la falta de dispersores en el ecosistema, potenciados a su vez por la fragmentación y desconexión de los hábitats (Hölzel, 2012). Dados estos factores, es posible aseverar que el sitio A2 sujeto a restauración, al ser una zona espacialmente reducida y verse afectada por una mayor presión antrópica no puede igualar la estructura, función e integridad de una comunidad vegetal que se encuentra ubicada en un territorio de mayor extensión y mejores condiciones como lo es la zona núcleo. En ese sentido, lo más probable es que mantenga una estructura vegetal más parecida a la existente en Fs, la cual está en buen estado de conservación pero no cuenta con ningún nivel de protección (Maravilla-Romero y Cano-Santana, 2009; Maravilla-Romero, 2012), por ello a partir de los datos emanados de esta tesis y en concordancia con Maravilla-Romero y Cano-Santana (2009) se sugiere su incorporación como zona de amortiguamiento protegida por la REPSA.

La restauración ecológica busca predecir las trayectorias de los cambios bióticos y ambientales, así como generar e implementar estrategias para encauzar al restablecimiento del ecosistema (Hölzel, 2012). A partir del ACP se genera un ordenamiento que permite visualizar que los sitios con presencia de eucaliptos (Ac e Ic) se separan de aquellos que no albergan a estos árboles (Fs y Ns) (Figura 4.5). De forma particular, la parcela R modifica su posición en el plano, al pasar de un muestreo a otro, desplazándose de forma continua desde la cercanía de las parcelas control (Ac e Ic) en agosto de 2017 (es decir en el primer muestreo previo al retiro de estos árboles) hacia las zonas conservadas sin eucalipto (Fs y Ns) en agosto de 2018. Las agrupaciones y trayectorias descritas están en concordancia con

lo reportado por Hernández-Herrerías (2011) y Estañol-Tecuatl y Cano-Santana (2017) en relación a la respuesta de la vegetación de sitios perturbados, una vez que son sujetos a restauración, cuando se les compara con sitios conservados de referencia.

### **5.3 El rebrote de eucaliptos**

Las plantaciones de eucalipto emplean diversas técnicas de manejo productivo, entre ellas el “coppicing”, una práctica forestal que se basa en el corte periódico de los árboles permitiendo su rebrote a partir de los tocones cortados, lo que permite obtener elevadas tasas de crecimiento y una constante generación de biomasa en periodos muy cortos de tiempo (Fuller y Warren, 1993; Takahashi *et al.*, 2009; Gebretsadik, 2013).

De forma similar a lo reportado por González-Jaramillo (2018), en relación a la elevada tasa de regeneración de eucaliptos en la REPSA a partir de tocones que no fueron retirados por completo. En este estudio se registró que los rebrotes de estos árboles alcanzaron tallas de entre 1.3 y 4.1 m de altura en agosto de 2018. Esto representa una problemática particular en la REPSA al no ser extraídos los eucaliptos de raíz.

En este sentido, se sugiere implementar alguna de las distintas alternativas para el control de los eucaliptos, que abarcan acciones tanto mecánicas como químicas. Las primeras incluyen el retiro de tocones desde la raíz a través de maquinaria pesada, o bien la extracción del tronco y las raíces con herramientas de corte manual o equipo ligero (Alonso-Louro *et al.*, 2008), así como la aplicación de barreras físicas (plásticos sobre tocones) que detienen el proceso de fotosíntesis al impedir el paso de luz y limitan físicamente el crecimiento de rebrotes (Reed *et al.*, 2009). El control mecánico tiene las ventajas de ser un método dirigido y localizado y puede ser utilizado indistintamente en temporadas de lluvias o secas, no obstante, el monitoreo de las acciones de contención es

indispensable (Reed *et al.*, 2009). Por su parte, algunos de los agentes químicos empleados debido a su efecto nocivo en el crecimiento y desarrollo de estos árboles son triclopyr y glifosato (Tuffi-Santos *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2013), sin embargo, su uso es discutido debido a sus posibles afectaciones a especies vegetales no blanco, así como su efecto contaminante de las redes bióticas al interior de cuerpos de agua (Annett *et al.*, 2014).

Adicionalmente, se ha reportado que los árboles de eucalipto ofrecen un hábitat propicio para las aves residentes y migratorias al interior de Ciudad Universitaria (San José-Alcalde, 2010; San José-Alcalde *et al.*, 2013). Por lo tanto, su remoción planteaba un posible efecto negativo, particularmente en la percha y el forrajeo de la avifauna, sin embargo las experiencias recogidas por San José-Alcalde (2010) y San José-Alcalde *et al.* (2013) muestran que la sustitución de estos organismos por especies nativas, como los tepozanes y otras especies secundarias, podrían cumplir con los atributos físicos necesarios para efectuar esta función, aunque se requieren estudios específicos para ampliar el conocimiento sobre la planeación, desarrollo y efectos de implementar esta estrategia.

#### **5.4 Las acciones de restauración**

La implementación, desarrollo y culminación de los programas de restauración pueden evaluarse a través de la medición de diversos atributos del ecosistema, entre ellas están: la estructura de la vegetación, la diversidad de especies y los procesos que relacionan el medio físico con los elementos bióticos, que en conjunto conducen al funcionamiento autosuficiente del sistema (Jiao *et al.*, 2012).

Las especies vegetales exóticas como el eucalipto, modifican las características de las comunidades donde estas se establecen, no obstante su retiro favoreció el incremento de especies nativas presentes en la parcela en restauración, situación similar a lo reportado por

Ruwanza *et al.* (2018), que registraron los cambios en la comunidad vegetal en los márgenes del río Berg en Cabo Occidental, Sudáfrica, y reportaron que una vez que se retiran los eucaliptos se propicia la recuperación progresiva de la dominancia de especies nativas del sitio intervenido.

En A2 es posible que la trayectoria de recuperación sea afectada por diversos factores, como la localización del sitio entre edificaciones y arroyos vehiculares, la continua acumulación de desechos de jardinería y el rebrote de eucaliptos, así como por la facilidad que tienen otras especies exóticas para restablecerse en el sitio. No obstante, la recuperación y mantenimiento de las zonas de amortiguamiento propicia que estos espacios con especies nativas funjan como reservorios de propágulos y potencialmente apoyen la conservación de la comunidad biótica del pedregal.

Finalmente, esta investigación muestra que la extracción de eucaliptos en los relictos de un ecosistema natural incrustado en una urbe puede contribuir a restablecer elementos nativos de la comunidad vegetal. No obstante, las características, funciones e integridad de los remanentes del pedregal, así como la dirección de su trayectoria ecológica están limitadas por las presiones antrópicas presentes.

En este sentido, se reafirma que las actividades de extracción en el marco de la restauración deben continuar para contribuir al mantenimiento y resguardo del patrimonio de la diversidad biológica y, por ende, en el bienestar social.

## VI. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y la discusión previa se presentan las siguientes conclusiones.

1. El inventario actualizado de plantas vasculares en A2 (con 114 especies) ofrece un sustento para continuar con las tareas de restauración y el mantenimiento del espacio que ocupan las zonas de amortiguamiento de la REPSA.
2. Los eucaliptos son agentes autogénicos de cambio ambiental y su presencia modifica la estructura de la comunidad vegetal. En consecuencia, su extracción posibilita el establecimiento de especies nativas en el matorral xerófilo del Pedregal de San Ángel.
3. La marcada temporalidad climática del pedregal repercute en las características y propiedades de los componentes bióticos del ecosistema, lo que permite diferenciar la estructura vegetal de las parcelas de estudio durante la época de secas respecto a la temporada de lluvias.
4. El sitio en restauración ubicado en un remanente aislado sujeto a presiones antrópicas no puede mantener la estructura de una comunidad vegetal que se encuentra ubicada en un territorio de mayor extensión y menor presión como lo son las zonas núcleo.
5. Se encontró que las especies asociadas al establecimiento de eucaliptos son en general plantas exóticas; mientras que las especies nativas y seralmente tardías no se establecen de forma exitosa en presencia de estos árboles.
6. Se registra que no es eficiente cortar los eucaliptos y dejar los tocones, ya que a 1 año de su remoción, se registran especímenes que logran rebrotar y alcanzar tallas de entre 1 y 4 m de altura por lo que se sugiere su manejo con un control mecánico acompañado de un permanente monitoreo.

## LITERATURA CITADA

- Afzal, S., Nawaz, M. F., Siddiqui, M. T. y Aslam, Z. 2018. Comparative study on water use efficiency between introduced species (*Eucalyptus camaldulensis*) and indigenous species (*Tamarix aphylla*) on marginal sandy lands of Noorpur Thal. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 55(1): 127–135.
- Aguirre-Muñoz, A. y Mendoza-Alfaro, R. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. Págs. 277-318, en: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) (ed.). *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México.
- Alonso-Louro, S., Asensio-Fandiño, A. B. y Montalvo-Rodríguez, J. 2008. Control de eucalipto y reforestación con especies caducifolias: innovación y efectos ecológicos. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 28: 37-42.
- Annett, R., Habibi, H. R. y Hontela, A. 2014. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment. *Journal of Applied Toxicology*, 34(5): 458-479.
- Antonio-Garcés, J. I. 2008. Restauración ecológica de la zona de amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. (México). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Antonio-Garcés, J. I., Peña, M., Cano-Santana, Z., Orozco-Segovia, A. y Villeda, M. 2009. Cambios en la estructura de la vegetación derivados de acciones de restauración ecológica en las Zonas de Amortiguamiento Biológicas y Vivero Alto. Págs. 465-481, en: Lot, A. y Cano-Santana, Z. (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Ayala-López de Lara, M. 2014. La comunidad vegetal y abundancia de dos artrópodos en el área A8 de la Reserva del Pedregal de San Ángel tras cuatro años de acciones de restauración. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Blanco-Valdés, Y. 2016. El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4): 34-56.
- Bray, J. R. y Curtis, J. T. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*. 27(4): 325-349.
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. E., Baillie, J. E. M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K. E., Carr, G. M., Chanson, J., Chenery, A. M., Csirke, J., Davidson, N. C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J. N., Genovesi, P., Gregory, R. D., Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J.-F., Leverington, F., Loh, J., McGeoch, M. A., McRae, L., Minasyan, A., Morcillo, M. H., Oldfield, T. E. E., Pauly, D., Quader, S., Revenga, C., Sauer, J. R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D., Stuart, S. N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T. D., Vié, J. C. y Watson, R. 2010. Global biodiversity: Indicators of recent declines. *Science*, 328: 1164–1168.
- Byrne, M. 2008. Phylogeny, diversity and evolution of eucalypts. Págs. 303-346, en: Sharma, A. K. y Sharma A. (eds.). *Plant genome: biodiversity and evolution*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire.
- Campoe, O. C., Stape, J. L., Nouvellon, Y., Laclau, J. P., Bauerle, W. L., Binkley, D. y Le Maire, G. 2013. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 288: 14-20.

- Canfield, R. H. 1941. Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*, 39(4): 388-394.
- Cano-Santana, Z. 1994. Flujo de energía a través de *Sphenarium purpurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerófita. Tesis doctoral. Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades/Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana, Z., Pisanty, I., Segura, S., Mendoza-Hernández, P.E., León-Rico, R., Soberón J., Tovar, E., Martínez-Romero, E., Ruiz, L.C. y Martínez-Ballesté, A. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. Págs. 203-226, en: Oyama, K. y Castillo, A. (coords.). *Manejo conservación y restauración de recursos naturales en México: Perspectivas desde la investigación científica*. Siglo XXI/Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana, Z., San José, M., Ayala, M., Saucedo-Morquecho, E., Garmendia-Corona, A., Antonio-Garcés, J., Peña, M., Villeda, M., Orozco, A., González-Rebeles Guerrero, G. y Muñoz-Saavedra, R. 2010. Cambios de la vegetación y la fauna de un pedregal sometido a restauración ecológica. III Simposio Internacional de Restauración Ecológica. Santa Clara, Cuba.
- Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., Meave, J.A., Hernández-Apolinar, M., Núñez-Castillo, O., Santibáñez-Andrade, G. y Guadarrama-Chávez, P. 2009. Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. Págs. 107-133, en: Lot, A. y Cano-Santana, Z. (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Castillo-Argüero, S., Montes-Cartas, G., Romero-Romero, M., Martínez-Orea, Y., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I. y Núñez Castillo, O. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D.F., México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (74): 51-75.
- CDB, Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2009. VI/23. Especies exóticas que amenazan a los ecosistemas, los hábitats o las especies. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Disponible en: <<https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-06-dec-23-es.pdf>>, consultado el 13 de marzo de 2018.
- Cervantes, P. y Wallace, P. 2003. Magma degassing and basaltic eruption styles: a case study of ~ 2000 year BP Xitle volcano in central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 120(3): 249-270.
- Chanie, T., Collick, A. S., Adgo, E., Lehmann, C. J. y Steenhuis, T. S. 2013. Ecohydrological impacts of *Eucalyptus* in the semi humid Ethiopian Highlands: the Lake Tana Plain. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 61(1): 21-29.
- Chapin, F. S., Matson, P. A. y Vitousek, P. M. 2011. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. 2a. edición. Springer, Nueva York.
- Chu, C., Mortimer, P. E., Wang, H., Wang, Y., Liu, X. y Yu, S. 2014. Allelopathic effects of *Eucalyptus* on native and introduced tree species. *Forest Ecology and Management*, 323: 79–84.
- Clements, F. E. 1916. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- Coppen, J.J.W. 2002. *Eucalyptus: The genus Eucalyptus*. Taylor and Francis, Londres.

- De la Fuente, J. 2005. Acuerdo por el que se rezonefica, delimita e incrementa la zona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. *Gaceta UNAM*, 2 de junio de 2005: 20-21.
- Espinosa-García, F. y Sarukhán, J. 1997. *Manual de malezas del Valle de México*. Ediciones Científicas Universitarias, Universidad Nacional Autónoma de México/Fondo de Cultura Económica, México.
- Estañol-Tecuatl, F. 2014. Estructura de la comunidad vegetal en zonas perturbadas, conservadas y sujetas a restauración ecológica en la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Estañol-Tecuatl, F. y Cano-Santana, Z. 2017. Recovery of basalt substrate for xeric scrub restoration in a lava field in Mexico City. *Ecological Restoration*, 35(1): 41-51.
- Ezcurra, E., Mazari-Hiriart, M., Pisanty, I. y Aguilar, A. G. 1999. *The basin of Mexico*. United Nations of University Press, Tokio.
- Fuller, R. J. y Warren, M. S. 1993. *Coppiced woodlands: their management for wildlife*. Nature Conservancy Council, Londres.
- Gebretsadik, Z. M. 2013. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh.) in Goro Woreda of Bale zone, Ethiopia. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, 2(9): 252-260.
- González-Jaramillo, S. I. 2018. Estructura y composición de la comunidad vegetal de dos sitios sujetos a acciones de restauración durante el periodo 2005-2012 en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Hernández-Herrerías, L. B. 2011. Estructura de la comunidad vegetal y de dos poblaciones animales en zonas conservadas y perturbadas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hinke, N. 2000. La llegada del eucalipto a México. *Ciencias*, (58): 60-62.
- Hölzel, N., Buisson, E. y Dutoit, T. 2012. Species introduction – a major topic in vegetation restoration. *Applied Vegetation Science*, 15(2): 161-165.
- Huston, M. y Smith, T. 1987. Plant succession: life history and competition. *The American Naturalist*, 130(2): 168-198.
- Hutcheson, K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology*, 29(1): 151-154.
- IBM Corp. Released. 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, version 20.0. IBM Corp. Armonk, Nueva York.
- IUCN, International Union for Conservation of Nature. 2000. Guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. Disponible en: <<https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/Rep-2000-052.pdf>>, consultado el 13 de marzo de 2018.
- Jiao, J., Zhang, Z., Bai, W., Jia, Y. y Wang, N. 2012. Assessing the ecological success of restoration by afforestation on the Chinese Loess Plateau. *Restoration Ecology*, 20(2): 240-249.
- Lindig Cisneros, R. 2017. *Ecología de restauración y restauración ambiental*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- List, R., Rodríguez, P., Pelz-Serrano, K., Benítez-Malvido, J. y Lobato, J. M. 2017. La conservación en México: exploración de logros, retos y perspectivas desde la ecología terrestre. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88: 65-75.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Oxford.
- Maravilla-Romero, M.C. 2012. Flora y vegetación de nueve áreas naturales de Ciudad Universitaria, México, D. F. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Maravilla-Romero, M.C. y Cano-Santana, Z. 2009. Riqueza florística, estado de conservación y densidad de eucaliptos en cinco zonas de amortiguamiento y un área natural no protegida de Ciudad Universitaria. Págs. 509-521, en: Lot, A. y Cano-Santana, Z. (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Margalef, R. 2004. *Ecología*. Omega, Barcelona.
- Martínez-Ramos, M. y García-Orth, X. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (80): 69-84.
- Martins, C., Natal-da-Luz, T., Sousa, J. P., Gonçalves, M. J., Salgueiro, L. y Canhoto, C. 2013. Effects of essential oils from *Eucalyptus globulus* leaves on soil organisms involved in leaf degradation. *PLoS One*, 8(4): e61233.
- McAleece, N., Lamshead, P. J. D., Paterson G. L. J. y Gage, J. G. 1997. Biodiversity Pro. Beta-Version. A program for analyzing ecological data. The Natural History Museum and The Scottish Association for Marine Science, Londres.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C.

- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. MT-Manuales y Tesis Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), Zaragoza, España.
- Moyers-Arévalo, L. y Cano-Santana, Z. 2009. Fenología de la comunidad de mariposas diurnas y su relación con la fenología floral de las plantas y otros factores ambientales. Págs. 411-419, en: Lot, A. y Cano-Santana, Z. (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Muñoz-Saavedra, R. 2013. Efecto de cinco años de restauración sobre la comunidad vegetal y dos poblaciones de artrópodos en el área A8 de la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Odum, E. P., Barrett, G. W. y Aguilar Ortega, M. T. 2006. *Fundamentos de ecología*. 5a. edición. Thomson, México.
- Palmer, M. A., Zedler, J. B. y Falk, D. A. 2016. *Foundations of restoration ecology*. 2a. edición. Island Press, Washington, D.C.
- Peña-Mendoza, M.T. 2016. Regeneración de la comunidad vegetal y de dos poblaciones de animales importantes en el NE de la Zona de Amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en respuesta a acciones de restauración ecológica. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Pereira, F. C. M., Nepomuceno, M. P., Pires, R. N., Pareira, M. C. y Alves, P. L. C. A. 2013. Response of eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) plants at different doses of glyphosate. *Journal of Agricultural Science*, 5(1): 66.

- Poore, M. D. y Fries, C. 1987. *Efectos ecológicos de los eucaliptos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma.
- Reed, T., Ranawana, K. y Nanayakkara, A. 2009. Methods of testing and their costs to control r-growth of coppiced *Eucalyptus camaldulensis* in harvested plantations in Naula, Matale District, Sri Lanka. *Ceylon Journal of Science (Biological Science)*, 38(2): 75-83.
- REPSA, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2018. Disponible en: <[www.repsa.unam.mx](http://www.repsa.unam.mx)>, consultado el 2 de abril de 2018.
- Rivero-Serrano, O. 1983. Beneficia a la zona sur del Distrito Federal la Reserva Ecológica de Ciudad Universitaria. *Gaceta UNAM*, 3 de octubre 1983: 16-17.
- Rojó, A. 1994. *Reserva ecológica "El Pedregal" de San Ángel": Ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ruwanza, S., Gaertner, M., Esler, K. J. y Richardson, D. M. 2018. Medium-term vegetation recovery after removal of invasive *Eucalyptus camaldulensis* stands along a South African river. *South African Journal of Botany*, 119: 63-68.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, México, 8(1-2): 59-129.
- San José-Alcalde, M. 2010. Monitoreo de las actividades de la fauna de vertebrados en dos zonas sujetas a restauración en la Reserva del Pedregal de San Ángel, D.F. (México). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- San-José, M., Garmendia, A. y Cano-Santana, Z. 2010. Monitoreo de Aves en dos zonas de restauración ecológica y una de referencia, en la reserva ecológica del pedregal de San Ángel, D. F., México. *El canto del ceniztonle*, 1(2): 148-164.

- San-José, M., Garmendia, A. y Cano-Santana, Z. 2013. Vertebrate fauna evaluation after habitat restoration in a reserve within Mexico City. *Ecological Restoration*, 31(3): 249-252.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halfpeter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S. y De la Maza, J. 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.
- Saucedo-Morquecho, E.A. 2011. Regeneración de la comunidad vegetal y de dos poblaciones de artrópodos durante un proceso de restauración ecológica en el área de amortiguamiento 8 de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- SCDB, Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. 2014. *Perspectiva mundial sobre la diversidad biológica 4*. Convenio sobre la Diversidad Biológica, Montreal.
- Segura-Burciaga, S. y Meave, J. 2001. Effect of the removal of the exotic *Eucalyptus resinifera* on the floristic composition of a protected xerophytic shrubland in southern Mexico City. Págs. 319-330, en: Brundu, G., Brock, J., Camarda, I., Child, L. y Wade, M. (eds.). *Plant invasions: Species ecology and ecosystem management*. Backhuys Publishers, Leiden, Holanda.
- SER, Society for Ecological Restoration. 2004. *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Society for Ecological Restoration International, Tucson.
- Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, Southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104: 45-64.

- Siebe, C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670+/-35 años AP y sus implicaciones. Págs. 43-49, en: Rojo, A. (comp.). *Reserva ecológica El Pedregal de San Ángel: Ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Siebe, C., Mendoza-Hernández, P. E., Juárez-Orozco, S. M., Vázquez-Selem, L. y Cram, S. 2016. Consecuencias de la actividad volcánica del Xitle y el disturbio antrópico sobre las propiedades del suelo y la diversidad vegetal del Parque Ecológico de la Ciudad de México en el Ajusco medio. Págs. 75-91, en: CONABIO-SEDEMA. *La biodiversidad en la Ciudad de México, vol. 1*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad/Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, México.
- Smith, M. D. y Knapp, A. K. 2003. Dominant species maintain ecosystem function with non-random species loss. *Ecology Letters*, 6(6): 509-517.
- Sørensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter*, 5: 1-34.
- Sousa, W. P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15(1): 353-391.
- Takahashi, N., Egashira, Y., Aikawa, S. I. y Kojima, T. 2009. Woody biomass production by utilizing coppice of *Eucalyptus camaldulensis* in an arid area in Western Australia. *Journal of Arid Land Studies*, 19(1): 53-56.
- Tansley, A. G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16(3): 284-307.

- Tuffi-Santos, L. D., Ferreira, F. A., Ferreira, L. R., Duarte, W. M., Tiburcio, R. A. S. y Santos, M. V. 2006. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. *Planta Daninha*, 24(2): 359-364.
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3): 559-902.
- Villaseñor-Ríos, J. L. y Espinosa-García, F. 1998. *Catálogo de malezas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México/Fondo de Cultura Económica, México.
- Villaseñor, J. L. y Espinosa-García, F. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions*, 10(2): 113-123.
- Walker, L. R., Walker, J. y Hobbs, R. J. 2007. *Linking restoration and ecological succession*. Springer, Nueva York.
- White, P. S. y Jentsch A. 2001. The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. *Progress in Botany*, 62:399-450.
- White, P. S. y Pickett, S. T. 1985. Natural disturbance and patch dynamics: An introduction. Págs. 3-13, en: Pickett, S.T. y White, P. S. (eds.) *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, San Diego, California.
- Whittaker, R. H. 1975. *Communities and ecosystems*. 2a. edición. Macmillan, Nueva York.
- Yang, Y. J., Tong, Y. G., Yu, G. Y., Zhang, S. B. y Huang, W. 2018. Photosynthetic characteristics explain the high growth rate for *Eucalyptus camaldulensis*: Implications for breeding strategy. *Industrial Crops and Products*, 124: 186-191.
- Zambrano, L., Rodríguez-Palacios, S., Pérez-Escobedo, M., Gil-Alarcón, G., Camarena, P. y Lot, A. 2016. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de riesgos*. 2a. edición. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Zar, J. H. 2014. *Biostatistical analysis*. 5a. edición. Pearson Education Limited, Harlow.

Zhang, D. J., Zhang, J., Yang, W. Q. y Wu, F. Z. 2010. Potential allelopathic effect of *Eucalyptus grandis* across a range of plantation ages. *Ecological Research*, 25(1): 13-23.

Zhao, X. Q., Yi, Q., Ding, N. y Xia, J. S. 2014. Changes in soil properties and quality for a *Eucalyptus* introduction area: a case study in Lancang County, Yunnan Province. *Journal of Residuals Science and Technology*, 11(4): 107-117.

## ANEXO 1

Tabla A1. Lista de especies de plantas vasculares registradas en las cinco parcelas de estudio en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México. Datos de los cuatro muestreos realizados en: agosto de 2017, abril, junio y agosto de 2018.

Especie	Familia	Tipo	Sitio de Estudio				
			R	Ac	Ic	Fs	Ns
<i>Adiantum andicola</i>	Pteridaceae	NnA					*
<i>Aegopogon</i> sp.	Poaceae	NA					*
<i>Aegopogon tenellus</i>	Poaceae	NA					*
<i>Agave salmiana</i>	Agavaceae	NnA	*				*
<i>Ageratina adenophora</i>	Asteraceae	NnA	*	*		*	
<i>Anredera cordifolia</i>	Basellaceae	E			*		
<i>Archibaccharis serratifolia</i>	Asteraceae	NA					*
<i>Arracacia toluensis</i>	Apiaceae	NA					*
<i>Asplenium praemorsum</i>	Aspleaniaceae	NnA					*
<i>Baccharis sordescens</i>	Asteraceae	NnA		*	*		
<i>Begonia gracilis</i>	Begoniaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Bidens</i> sp.	Asteraceae	NA		*	*	*	
<i>Bletia</i> sp.	Orchidaceae	NnA	*		*		
<i>Bouvardia ternuifolia</i>	Rubiaceae	NA	*	*	*	*	*
<i>Brickellia veronicifolia</i>	Asteraceae	NnA				*	
<i>Bromus carinatus</i>	Poaceae	NA	*				
<i>Bromus diandrus</i>	Poaceae	E			*		
<i>Bromus</i> sp.	Poaceae	NA					*
<i>Buchloe dactyloides</i>	Poaceae	NnA					*
<i>Buddleja cordata</i>	Loganiaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Buddleja parviflora</i>	Loganiaceae	NnA	*				*
<i>Buddleja sessiliflora</i>	Loganiaceae	NA					*
<i>Bursera cuneata</i>	Burseraceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Bursera fagaroides</i>	Burseraceae	NnA					*
<i>Calliandra grandiflora</i>	Mimosaceae	NnA		*			
<i>Calochortus barbatus</i>	Calochortaceae	NA	*			*	*
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	Sapindaceae	NA	*	*	*	*	*
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarinaceae	E	*				
<i>Cenchrus clandestinus</i>	Poaceae	E	*	*	*	*	*
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	Pteridaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Cheilanthes cuneata</i>	Pteridaceae	NnA					*
<i>Cheilanthes farinosa</i>	Pteridaceae	NnA					*
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	Pteridaceae	NnA					*
<i>Cheilanthes kaulfussii</i>	Pteridaceae	NnA					*

Tabla A1. (Continúa)

Especie	Familia	Tipo	Sitio de Estudio				
			R	Ac	Ic	Fs	Ns
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	Pteridaceae	NnA		*		*	*
<i>Cissus verticillata</i>	Vitaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Clematis dioica</i>	Ranunculaceae	NA	*				
<i>Commelina coelestis</i>	Commelinaceae	NA	*	*	*	*	*
<i>Commelina diffusa</i>	Commelinaceae	NA				*	*
<i>Commelina</i> sp.	Commelinaceae	NnA	*				*
<i>Commelina tuberosa</i>	Commelinaceae	NnA				*	*
<i>Conyza sophiifolia</i>	Asteraceae	NnA	*				*
<i>Conyza</i> sp.	Asteraceae	NnA	*				
<i>Crusea longiflora</i>	Rubiaceae	NnA	*				
<i>Cuphea aequipetala</i>	Lythraceae	NA		*	*		
<i>Cyperus manimae</i>	Cyperaceae	NA					*
<i>Cyperus</i> sp.	Cyperaceae	NnA	*	*	*		
<i>Dahlia coccinea</i>	Asteraceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Dalea foliolosa</i>	Fabaceae	NA				*	
<i>Dichondra</i> sp.	Convolvulaceae	NnA			*		
<i>Dicliptera peduncularis</i>	Acanthaceae	NA	*	*	*	*	
<i>Dioscorea galeottiana</i>	Dioscoreaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Dodonaea viscosa</i>	Sapindaceae	NA			*		*
<i>Echeandia mexicana</i>	Liliaceae	NnA	*	*		*	
<i>Echeveria gibbiflora</i>	Crassulaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Eragrostis mexicana</i>	Poaceae	NA	*		*		
<i>Eruca sativa</i>	Brassicaceae	E		*			
<i>Erythrina americana</i>	Fabaceae	NnA		*			
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Myrtaceae	E	*	*	*		
<i>Eupatorium petiolare</i>	Asteraceae	NnA		*	*	*	*
<i>Euphorbia macropus</i>	Euphorbiaceae	NnA					*
<i>Euphorbia</i> sp.	Euphorbiaceae	NnA			*	*	
<i>Evolvulus alsinoides</i>	Convolvulaceae	NnA					*
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Fabaceae	NnA	*	*	*		
<i>Funastrum elegans</i>	Asclepiadaceae	NnA		*	*	*	
<i>Galinsoga parviflora</i>	Asteraceae	NA	*	*	*		
<i>Gaudichaudia cynanchoides</i>	Malpighiaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Gaudichaudia mucronata</i>	Malpighiaceae	NnA		*	*	*	*
<i>Gaudichaudia</i> sp.	Malpighiaceae	NnA			*	*	
<i>Geranium</i> sp.	Geraniaceae	NnA			*		
<i>Gnaphalium canescens</i>	Asteraceae	NnA					*

Tabla A1. (Continúa)

Especie	Familia	Tipo	Sitio de Estudio				
			R	Ac	Ic	Fs	Ns
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	Asteraceae	NnA	*				
<i>Gnaphalium</i> sp.	Asteraceae	NnA					*
<i>Govenia</i> sp.	Orchidaceae	NnA					*
<i>Habenaria novemfida</i>	Orchidaceae	NnA	*			*	*
<i>Habranthus concolor</i>	Amaryllidaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Hypoxis decumbens</i>	Hypoxidaceae	NA					*
<i>Ipomoea hederifolia</i>	Convolvulaceae	NnA			*		
<i>Ipomoea murucoides</i>	Convolvulaceae	NnA		*			
<i>Ipomoea purpurea</i>	Convolvulaceae	NA			*		
<i>Ipomoea</i> sp.	Convolvulaceae	NA	*	*	*	*	*
<i>Iresine cassiniiformis</i>	Amaranthaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Bignoniaceae	E				*	
<i>Jaltomata procumbens</i>	Solanaceae	NA	*	*	*		
<i>Leonotis nepetifolia</i>	Lamiaceae	E	*		*		
<i>Lepidium virginicum</i>	Brassicaceae	NA	*	*	*		
<i>Macroptilium gibbosifolium</i>	Fabaceae	NnA				*	*
<i>Mammillaria magnimamma</i>	Cactaceae	NnA				*	
<i>Manfreda brachystachya</i>	Agavaceae	NnA				*	
<i>Manfreda scabra</i>	Agavaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Melilotus indica</i>	Fabaceae	E			*		
<i>Melinis repens</i>	Poaceae	E	*	*	*	*	*
<i>Metastelma angustifolium</i>	Asclepidaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Mirabilis jalapa</i>	Nyctaginaceae	NA	*	*	*	*	
<i>Montanoa tomentosa</i>	Asteraceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Muhlenbergia robusta</i>	Poaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Oplismenus</i> sp.	Poaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Opuntia lasiacantha</i>	Cactaceae	NnA					*
<i>Opuntia tomentosa</i>	Cactaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Oxalis corniculata</i>	Oxalidaceae	NA	*	*	*	*	*
<i>Oxalis lunulata</i>	Oxalidaceae	NnA			*	*	*
<i>Oxalis tetraphylla</i>	Oxalidaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Panicum</i> sp.	Poaceae	NnA			*		
<i>Paspalum prostratum</i>	Poaceae	NA	*				
<i>Passiflora subpeltata</i>	Passifloraceae	NnA	*	*	*	*	
<i>Pellaea cordifolia</i>	Pteridaceae	NnA				*	*
<i>Pennisetum villosum</i>	Poaceae	E	*		*	*	
<i>Peperomia campylotropa</i>	Piperaceae	NA	*	*	*	*	*

Tabla A1. (Continúa)

Especie	Familia	Tipo	Sitio de Estudio				
			R	Ac	Ic	Fs	Ns
<i>Phaseolus coccineus</i>	Fabaceae	NA				*	
<i>Phaseolus leptostachyus</i>	Fabaceae	NnA	*				
<i>Phaseolus pluriflorus</i>	Fabaceae	NnA				*	
<i>Phaseolus</i> sp.	Fabaceae	NnA					*
<i>Phlebodium areolatum</i>	Polypodiaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Physalis</i> sp.	Solanaceae	NnA			*		
<i>Phytolacca icosandra</i>	Phytolaccaceae	NA	*				
<i>Pittocaulon praecox</i>	Asteraceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Plumbago pulchella</i>	Plumbaginaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Plumbago</i> sp.	Plumbaginaceae	NnA	*	*	*		
<i>Polypodium polypodioides</i>	Polypodiaceae	NnA		*	*	*	*
<i>Polypodium thysanolepis</i>	Polypodiaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Reseda luteola</i>	Resedaceae	E			*		
<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	E				*	
<i>Rubus liebmannii</i>	Rosaceae	NnA			*		
<i>Salix</i> sp.	Salicaceae	NnA			*		
<i>Salvia mexicana</i>	Lamiaceae	NnA	*			*	*
<i>Salvia tiliifolia</i>	Lamiaceae	NA		*		*	*
<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	E	*	*	*	*	
<i>Sedum oxypetalum</i>	Crassulaceae	NnA	*			*	*
<i>Selaginella lepidophylla</i>	Sellaginaceae	NnA	*		*	*	*
<i>Setaria grisebachii</i>	Poaceae	NA	*				
<i>Setaria</i> sp.	Poaceae	NnA					*
<i>Sisymbrium altissimum</i>	Brassicaceae	E	*				
<i>Solanum nigrescens</i>	Solanaceae	NA	*	*	*	*	
<i>Sonchus oleraceus</i>	Asteraceae	E		*	*		
<i>Spermacoce</i> sp.	Rubiaceae	NnA			*	*	
<i>Spiranthes</i> sp.	Orchidaceae	NnA				*	
<i>Sporobolus indicus</i>	Poaceae	NA			*		
<i>Stevia</i> sp.	Asteraceae	NA					*
<i>Tagetes filifolia</i>	Asteraceae	NA	*				
<i>Tagetes lunulata</i>	Asteraceae	NA					*
<i>Tigridia pavonia</i>	Iridaceae	NnA				*	*
<i>Tillandsia recurvata</i>	Bromeliaceae	NnA	*	*	*	*	*
<i>Tinantia erecta</i>	Commelinaceae	NA	*	*	*	*	*
<i>Trifolium</i> sp.	Fabaceae	NA		*			
<i>Tripsacum dactyloides</i>	Poaceae	NnA	*				

Tabla A1. (Continúa)

Especie	Familia	Tipo	Sitio de Estudio				
			R	Ac	Ic	Fs	Ns
<i>Verbesina virgata</i>	Asteraceae	NnA	*	*	*	*	
<i>Wigandia urens</i>	Hydrophyllaceae	NA	*	*	*	*	*
Sp. 01	S.I.	S.I.		*			
Sp. 02	S.I.	S.I.			*		
Sp. 03	S.I.	S.I.			*		
Sp. 04	S.I.	S.I.			*		
Sp. 05	S.I.	S.I.				*	
Sp. 1	S.I.	S.I.		*			
Sp. 2	S.I.	S.I.		*			
Sp. 21	S.I.	S.I.				*	
Sp. 31	S.I.	S.I.		*		*	