



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**Evaluación integral de la necesidad y factibilidad de restauración de la vegetación
nativa en parches de pedregal colindantes al Estadio Olímpico de Ciudad**

Universitaria

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BIÓL. MANUEL BONILLA RODRÍGUEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. ZENÓN CANO SANTANA

FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. ALICIA CASTILLO ÁLVAREZ

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ

INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**Evaluación integral de la necesidad y factibilidad de restauración de la
vegetación nativa en parches de pedregal colindantes al Estadio Olímpico de**

Ciudad Universitaria

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BIÓL. MANUEL BONILLA RODRÍGUEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. ZENÓN CANO SANTANA

FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. ALICIA CASTILLO ÁLVAREZ

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ

INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

MÉXICO, CD. MX.

NOVIEMBRE, 2019

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

OFICIO FCIE/DAIP/0940/2019

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas y Biología Evolutiva y Sistemática del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **26 de agosto de 2019** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Manejo Integral de Ecosistemas** del estudiante **BONILLA RODRÍGUEZ MANUEL** con número de cuenta **409015801** con la tesis titulada **"Evaluación integral de la necesidad y factibilidad de restauración de la vegetación nativa en remanentes de pedregal colindantes al Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria"**, realizada bajo la dirección del **DR. ZENÓN CANO SANTANA**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: **DRA. SILKE CRAM HEYDRICH**
Vocal: **DRA. ELIANE CECCON**
Secretario: **DRA. ALICIA CASTILLO ÁLVAREZ**
Suplente: **DR. ROBERTO ANTONIO LINDIG CISNEROS**
Suplente: **DR. JOSÉ JAIME ZÚÑIGA VEGA**

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 4 de noviembre de 2019

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



AGNS/MMVA/ASR/grf*

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por la oportunidad de realizar mis estudios de maestría. Al CONACYT por la beca otorgada para cursar estos estudios de 2017 a 2019 (CVU/Becario: 756243/629340). Al programa de becas PAEP por los apoyos otorgados para asistir a un diplomado y a un congreso como parte de mi formación. Al proyecto PAPIIT-UNAM IV200117 que ha apoyado financieramente a este y otros proyectos. Finalmente, al Dr. Zenón Cano Santana, a la Dra. Alicia Castillo y al Dr. Luis Zambrano por su asesoría como parte del Comité tutor.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Al Pedregal de San Ángel por esta oportunidad de comprenderlo, admirarlo y poder realizar propuestas para su recuperación y conservación.

A todos los que antes de mi estudiaron al Pedregal y generaron conocimientos que guiaron e inspiraron este trabajo.

A todos los que con un gran esfuerzo han luchado por la conservación del Pedregal de San Ángel, este maravilloso lugar en donde la vida florece entre las rocas.

A mis padres, Lourdes Rodríguez Herrera y Manuel Bonilla Flores, quienes me dieron el maravilloso regalo de la vida, me educaron y siempre me apoyaron a cumplir grandes hazañas; inculcando en mí el amor al universo y todos los seres con los que compartimos la aventura de la vida. Sus esfuerzos se ven aquí reflejados.

A mi novia Marcela Negrete González por su amor, consejos, paciencia, comprensión y ánimo. Este trabajo fue posible gracias a todo el apoyo y enseñanzas sobre la vida que hemos tenido a lo largo de estos años.

A la sociedad y a mi país, que a través de la Universidad Nacional Autónoma de México y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología han invertido en mi formación para llegar a ser un maestro en ciencias con especialidad en manejo integral de ecosistemas que aporte nuevos conocimientos y contribuya a la resolución de problemas nacionales.

Al Dr. Zenón Cano Santana, por aceptarme para la realización de este proyecto, por sus enseñanzas y orientación. También por darme ánimos y enseñarme cosas maravillosas en aspectos emocionales que me permitieron vencerme a mí mismo y demostrarme que podía terminar este proyecto. No cabe duda de que al afilar el hacha el trabajo resulta más eficiente y placentero.

A los doctores Alicia Álvarez Castillo y Luis Zambrano González por su asesoría, revisión de este trabajo, comentarios y observaciones para mejorarlo. En especial a la doctora Alicia por su asesoría en temas socioambientales.

A los responsables de los remanentes de pedregal y del personal universitario alrededor del Estadio Olímpico por permitir la realización de las actividades de investigación en los espacios y con la comunidad universitaria a su cargo.

A Hilda Marcela Pérez Escobedo y Saúl Rodríguez Palacios de la SEREPSA por proporcionarme los permisos para entrar a las zonas conservadas y la cartografía de pedregales de la REPSA.

Al M. en C. Iván Castellanos Vargas por sus asesorías en temas metodológicos y estadísticos, así como su apoyo continuo a mi trabajo en el laboratorio.

A la M. en C. Yuriana Martínez y al M. en C. Ramiro Cruz Durán por la identificación de buena parte de los ejemplares botánicos.

A los doctores Eliane Ceccon, Roberto Bonifaz Alfonzo, Robert Manson y Yohan Alexander Correa Metrio por sus enseñanzas durante mis estudios de maestría en temas de restauración ecológica, sistemas de información geográfica y estadística en ecología que enriquecieron este proyecto.

A Surya Ivonne González Jaramillo, Diana Ferrusca Domínguez, Diana Laura Manríquez Guzmán, Miguel Hernández Palacios, Brenda Melisa Medina Alvarado, Marcela Negrete González, Yury Glebskiy, Paulina Corona Tejeda, Ethel Erandeni Luna Chaparro, Fernando Sámano Romero y Martín Nicolás Rivero por su apoyo en campo.

A todas las personas que aportaron su tiempo y sinceridad al participar en la encuesta llevada a cabo en este estudio.

A Diana Ixchel Fajardo Zavala, Jose Fernando Rodríguez Rodríguez y Joel A. Tovar Velasco por el apoyo al autor para terminar este documento.

A mis amigos Yutzil Castán Aquino, Surya Ivonne González Jaramillo, Alejandra Argüelles Castañeda, Octavio Gutiérrez Vilchis y Fernando García Feliciano. Gracias a todos ustedes por estar conmigo en cada momento, bueno y malo, compartir maravillosas experiencias, por su lealtad, por haberme enseñado tantas cosas. Siempre recibí buenos consejos de ustedes y estuvieron ahí para darme ánimos. Sin su amistad, afecto y todo el aliento que me brindaron este trabajo no habría llegado a concretarse. Los amigos son la familia que uno elige.

A la humanidad

A la comunidad universitaria de la UNAM

DEDICATORIA

Actualmente la sociedad y los ecosistemas de nuestro planeta enfrentan una crisis sin precedentes en la historia de la humanidad. La búsqueda de nosotros, los seres humanos, por mejorar nuestra calidad de vida, ser felices y muchos propósitos más que son naturales del ente humano —esto tomando en cuenta que somos parte de la naturaleza— nos ha llevado a tener un gran impacto sobre los procesos físicos, químicos, biológicos y sociales de la Tierra. En mi opinión, la gran mayoría de nosotros hemos contribuido de una u otra forma a la contaminación del ambiente, a la pérdida de la biodiversidad o a impactar de forma negativa el bienestar de otras personas. Cada uno de nosotros tiene una historia de vida en la cual hemos desarrollado afectos particulares por ciertos aspectos de la realidad y quizá algunos hemos olvidado o no somos conscientes de todo lo que el universo nos ofrece, desde la belleza de una galaxia, de una roca, una flor, una obra de arte o los pensamientos de otra persona. Pero el dilema es: ¿hasta qué punto podemos amar una porción de la realidad y olvidar al resto sin destruir lo mismo que amamos y el contexto en el que se encuentra y nos da vida?

Ante esta crisis en que se encuentra nuestra especie, el mensaje que quisiera expresar a todos mis hermanos humanos es el siguiente. Este no es momento de alejarnos, de luchar entre nosotros, de destruir a los que no tienen conocimiento o están equivocados, de dejarnos llevar por nuestra visión parcial del mundo, por nuestra arrogancia, intolerancia o incapacidad de perdonar al otro, de evitar el diálogo y el debate. Ahora más que nunca es necesario darnos el tiempo y la oportunidad de dialogar y decidir cuáles son los límites al crecimiento de nuestra civilización, de nuestros anhelos y pasiones, y del tamaño de nuestra población. A pesar de que, en mi opinión, no podemos juzgar como humanos la validez de nuestra gran diversidad de sueños, es necesario darnos cuenta de que vivimos en un planeta finito en el que toda esta diversidad debería poder coexistir. Lo más justo para todos es que quizá tengamos que renunciar a algunas cosas.

Además de todos los beneficios materiales que nos ofrece la biodiversidad y que nos mantienen con vida, también es importante recordar que hasta ahora la Tierra es el único planeta en

varios años luz a la redonda, en donde conocemos que existe vida, y esto por sí mismo es algo extraordinario. Se podría decir que todos estos organismos son bellos dependiendo del cristal con que se mire y nos inspiran de formas distintas a muchos seres humanos. Nos hacen sentir acompañados, nos dan felicidad por el simple hecho de existir. Todos nos hemos visto beneficiados de una u otra forma por estos organismos. Por ello pienso que es necesario que entendamos la razón por la que algunos de nosotros los atesoramos al igual que otros valoran cosas distintas. Aprendamos a entender que en el fondo, quizá las razones por las que ciertas personas le dan alto valor a la biodiversidad, es la misma por la que nosotros damos valor a otros aspectos de la realidad, es decir, las emociones que despiertan en nosotros. Permitámonos a nosotros mismos y a otros retribuir al resto de la naturaleza lo que nos ha dado para que cada uno de nosotros tenga aquí y ahora la posibilidad de estar vivos y buscar la felicidad.

Considero que esta tesis ha sido un esfuerzo personal que he realizado para entender a otras personas y expresar mi opinión respecto a lo que puede ser un futuro para nuestra especie, aunque sea a un nivel local. Por ello, he dedicado esta obra a la humanidad y a la comunidad universitaria de la UNAM, ya que espero que este trabajo pueda ayudar a contar con un enfoque documentado de una alternativa para el manejo de los remanentes de pedregal en el *campus* universitario que ayude a reflexionar a su vez sobre los límites al crecimiento de nuestra Universidad y sus anhelos, que si bien son nobles, debemos recordar que están en un contexto finito y donde hemos hecho de lado por mucho tiempo a algunos elementos de la naturaleza que también son valiosos.

ÍNDICE

.....	1
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	4
II. OBJETIVOS	9
III. ANTECEDENTES	10
IV. MÉTODOS	14
4.1 Área de estudio	14
4.2 Definición y selección de las unidades de estudio.....	17
4.3 Evaluación de la necesidad y factibilidad de restauración	19
4.4 Análisis de clasificación y componentes principales.....	24
V. RESULTADOS	25
5.1 Factor de necesidad de restauración	25
5.1.1 Criterio: <i>grado de conservación de la vegetación</i>	25
5.2 Factor de factibilidad de restauración.....	27
5.2.1 <i>Factibilidad ecológica.</i>	29
5.2.1.1 Criterio: <i>Fuente local de propágulos de plantas nativas</i>	31
5.2.1.2 Criterio: <i>Competencia con especies de plantas exóticas y arvenses</i>	32
5.2.1.3 Criterio: <i>Grado de conservación de la roca basáltico</i>	33
5.2.1.4 Criterio: <i>Forma del parche</i>	34
5.2.1.5 Criterio: <i>Tamaño del parche</i>	35
5.2.1.6 Criterio: <i>Aislamiento del parche</i>	36
5.2.2 <i>Factibilidad económica de restauración.</i>	37
5.2.2.1 Criterio: <i>Costo económico de la restauración</i>	39
5.2.2.1.1 Indicador: <i>Cantidad de árboles exóticos a remover</i>	39
5.2.2.1.2 Indicador: <i>Cantidad de roca basáltica a adicionar.</i>	40
5.2.3 <i>Factibilidad social.</i>	41
5.2.3.1 Criterio: <i>Impacto antrópico.</i>	43
5.2.3.2 Criterio: <i>Valoración del ecosistema</i>	51
5.2.3.3 Criterio: <i>Disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración</i>	54
5.3 Índice de necesidad y factibilidad de restauración	56
5.3 Análisis de clasificación y de componentes principales.....	58
VI. DISCUSIÓN	62
VII. CONCLUSIONES	73

LITERATURA CITADA	74
ANEXO A: Técnicas y métodos para evaluar indicadores del análisis multicriterio	87
A1. Factor de necesidad de restauración	87
A1.1. Criterio: grado de conservación de la vegetación.....	87
A2. Factor de factibilidad de restauración.....	90
A2.1. Criterios ecológicos	90
A2.1.1. Criterio: fuente local de propágulos de plantas nativas	90
A2.1.2. Criterio: competencia con especies de plantas exóticas y arvenses	91
A2.1.3. Criterio: grado de conservación de la roca basáltica	92
A2.1.4. Criterio: forma del parche	92
A2.1.5. Criterio: tamaño del parche.....	93
A2.1.6. Criterio: aislamiento del parche	93
A2.2. Criterio económico.....	95
A2.3. Criterios sociales	97
A2.3.1. Criterio: impacto antrópico.	97
A2.3.2. Criterio: valoración del ecosistema.....	102
A2.3.3. Criterio: disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración.....	110
ANEXO B: Detalles de preparación y desarrollo de la encuesta.	118
B.1. Preparación y diseño de la encuesta.....	118
B.2. Definición de la muestra de la comunidad universitaria a ser encuestada.	119
B.3. Desarrollo de la encuesta	119
B.4. Asignación de los resultados de la encuesta a las unidades de estudio.....	121
ANEXO C: Ejemplo de formato de encuesta	123
ANEXO D: Script de R utilizado para llevar a cabo los análisis de clasificación y componentes principales.	127
ANEXO E: Listado de familias y especies de plantas registradas	128
ANEXO F: Ejemplo de oficio de solicitud de permiso para realizar encuestas	136

Se recomienda citar este trabajo de la siguiente manera: Bonilla-Rodríguez, M. 2019. *Evaluación integral de la necesidad y factibilidad de restauración de la vegetación nativa en parches de pedregal colindantes al Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 137 pp.

RESUMEN

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), que se encuentra en Ciudad Universitaria (CU), *campus* principal de la Universidad Nacional Autónoma de México, alberga uno de los últimos remanentes de un ecosistema de matorral xerófilo que se desarrolla sobre un pedregal en el sur de la Ciudad de México. Sin embargo, dada la compleja interacción del ecosistema de la reserva con la comunidad universitaria y con los habitantes de sus alrededores, existen una serie de riesgos y fuentes de perturbación que amenazan su existencia, junto a la de los servicios ecosistémicos que aporta y que serán vitales para transitar hacia la sostenibilidad en la Ciudad de México. Una de las acciones que se ha propuesto para revertir los procesos de degradación, es la ampliación de áreas de amortiguamiento a través de la restauración de remanentes de pedregal de CU, no incluidos dentro de la REPSA. Esto con el fin de extender y mejorar la calidad del hábitat, contar con mayor amortiguamiento a los disturbios y acercar este ecosistema a los universitarios para que puedan conocerlo, valorarlo y, con esto, contribuir a su conservación. Para lograr esto es muy importante analizar cuáles espacios necesitan ser restaurados en función del grado de deterioro de su vegetación, y en cuáles es factible la restauración. Tomando en cuenta lo anterior, el presente estudio se centra en evaluar de manera integral, la necesidad y factibilidad de llevar a cabo la restauración de la vegetación de matorral xerófilo en parches remanentes de pedregal —referidos aquí como unidades de estudio, UE— colindantes al Estadio Olímpico de CU. Para ello se construyó un *índice de necesidad y factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración (INFR)* a través de un análisis multicriterio que tomó en cuenta algunos de los indicadores ecológicos, económicos y sociales que se consideraron relevantes para conocer si un sitio necesita y puede ser restaurado. Adicionalmente, se llevaron a cabo un análisis de clasificación y uno de componentes principales con el fin de conocer cuáles unidades de estudio presentaron características similares y cuáles fueron los indicadores más importantes del análisis multicriterio para determinar la variabilidad entre los grupos de UE y definir el valor de *INFR* para cada UE. Se obtuvo que todas las unidades de estudio tienen necesidad de ser restauradas y se clasificaron en cuatro grupos. Las UE de los grupos 1, 2 y 3 obtuvieron menores valores para el *INFR*



en comparación con el grupo 4 debido a su menor factibilidad ecológica. Por ello la restauración sería prioritaria en las UE del grupo 4. Sin embargo, la restauración en las UE del grupo 4 tendría mayor costo y existían asentamientos humanos irregulares, cuyo retiro podría causar conflictos sociales. Además, estas UE tuvieron mayor área por lo que podrían ser más atractivos para los desarrolladores de infraestructura. Los grupos 1 y 2 se distinguieron del grupo 3 por estar dentro de entidades universitarias o del estacionamiento del Estadio Olímpico. Tuvieron menor factibilidad social, la roca basáltica cubrió un mayor porcentaje de su área, y hubo menor cobertura de especies exóticas y arvenses. Por su parte el grupo 2 se distinguió del 1 ya que estuvo conformado por UE con menor área y la mayoría tuvieron topografías accidentadas que podrían haber contribuido a impedir el acceso de personas, lo que pudo derivar en el menor impacto antrópico observado. La restauración de las UE de este último grupo sería más económica ya que en su poca extensión albergaron pocos árboles exóticos y la extensión del área a recuperar con roca basáltica sería reducida. Sin embargo, su escasa extensión podría implicar que estas UE podrían tener baja factibilidad ecológica de restauración por el efecto de borde al que estaban sometidas. Se sugiere intentar restaurar el mayor número de remanentes de los diferentes grupos priorizando según su valor de *INFR*, su contribución a la conectividad y el presupuesto disponible. Esto permitiría llevar a cabo investigación para conocer los umbrales dentro de los que se puede restaurar la vegetación de matorral xerófilo en remanentes de pedregal. En caso de que durante este esfuerzo se identifiquen remanentes que no pueden ser restaurados, en ellos se podrían llevar a cabo acciones de rehabilitación ecológica y xerojardinería para contribuir a mantener las posibilidades de restaurar otros remanentes.



ABSTRACT

The Ecological Reserve of the Pedregal of San Ángel (ERPSA), located in “Ciudad Universitaria” (CU), the main *campus* of the National Autonomous University of Mexico, hosts one of the last remnants of a xerophytic scrub ecosystem that develops on a lava field in the south of Mexico City. Nonetheless, due to the complex interactions of the ecosystem at the reserve with the university community and with the human inhabitants of its surroundings, there are a series of risks and perturbation sources that threaten its existence and that of the environmental services that it provides, which are vital to transit to sustainability in Mexico City. One of the actions that has been proposed to revert the degradation processes, is the increase of buffer areas around the reserve through the ecological restoration of lava field remnants inside CU, which do not have a protection status as part of the reserve. This action has been proposed to increase the area and quality of the habitat, increase the buffer capacity from disturbance and approach this ecosystem to the university community so they can know and value it, and with this, contribute to its conservation. To achieve this, it is relevant to analyze which lava field remnants need to be restored according to the degree of degradation of their vegetation and in which of them is ecological restoration feasible. Considering this, the present study sought to integrally evaluate the need and feasibility of carrying out ecological restoration of the native plant community in lava field remnants —here referred as study units, SU— neighboring the Olympic Stadium at CU. In order to achieve this, an *index of need and feasibility of carrying out restoration actions (INFR)* was designed through a multicriteria analysis, which took into account some of the ecological, economic and social indicators considered relevant to know if a site needs and can be restored. Additionally, classification and principal components analysis were carried out to identify study units with similar characteristics and to identify the main indicators from the multicriteria analysis that determined the variability between groups of study units and defined the *INFR* value for each of them. The results showed that all study units need to be restored and that they can be classified into four groups. SU from groups 1, 2 and 3 got lower values for the *INFR* in relation



to group 4 due to their lower ecological feasibility. Therefore, restoration of SU from group 4 should be a priority. Nonetheless, restoration in SU from group 4 would have higher costs and there were irregular human settlements in these SU, which removal could cause social conflicts. In addition, these SU had larger areas and thus could be attractive to infrastructure developers. Groups, 1 and 2 were distinguished from group 3 for being inside university entities and the parking lot of the Olympic Stadium. They had lower social feasibility, their basaltic substrate was better preserved, and they have lower exotic and weed plant cover. Group 2 differed from group 1 because it was conformed by SU with less area and most of them had a rugged topography which may have contributed to prevent human access, thus lowering anthropic impacts. Restoration of this group of SU could be cheaper because in their reduced areas there were few exotic trees to remove and the amount of basaltic substrate to recover was lower. Nonetheless, their small size could imply that these sites would have lower ecological feasibility due to the border effect to which they are subjected. An effort to try to restore as many SU as possible from different groups is suggested, prioritizing remnants according to their *INFR* value, contribution to connectivity and the available budget. This may allow to carry out research to identify real thresholds in which the xerophytic scrub of this lava field can be restored. In case that restoration is recognized as not feasible in some remnants, their recovery could be performed through ecological rehabilitation and the establishment of xerophytic gardens in order to contribute to restoration of other remnants.

I. INTRODUCCIÓN

En algunas ciudades es posible encontrar remanentes de ecosistemas nativos inmersos en la infraestructura urbana o en sus alrededores. Estas áreas son de gran importancia ya que pueden proporcionar numerosos servicios ecosistémicos adicionales a los que aportan otros tipos de áreas verdes urbanas (Threlfall y Kendal, 2018). Por ejemplo, pueden albergar fauna que requiere sitios sometidos a menor disturbio (Kang *et al.*, 2015). También la estética de estos sitios es diferente y



cada vez parece haber mayor número de personas que la prefieren (Threlfall y Kendal, 2018). Además, una mayor biodiversidad puede relacionarse con beneficios psicológicos (Fuller *et al.*, 2007). De particular interés es que estos sitios permiten que existan oportunidades para que la gente conozca los ecosistemas originales de su región, lo cual puede contribuir a desarrollar valores y actitudes que favorezcan su conservación incluso en zonas fuera de la ciudad (Miller y Hobbs, 2002; Konijnendijk, 2005). Algunos de estos espacios pueden albergar ecosistemas únicos con especies prioritarias para la conservación, especialmente plantas (Ives *et al.*, 2016).

A pesar de su importancia, los remanentes de ecosistemas nativos en zonas urbanas están sometidos a fuentes de disturbio por la actividad humana lo que puede degradarlos o destruirlos y afectar su estructura y funcionamiento (Natale *et al.*, 2015). La restauración ecológica es una acción que puede llevarse a cabo para recuperar los ecosistemas dañados en contextos urbanos (Gann *et al.*, 2019). En un sentido estricto, ésta se entiende como el proceso a través del cual se asiste la recuperación de un sitio que ha sido dañado, degradado o destruido tomando en cuenta las características de un ecosistema de referencia, eliminando los factores que generaron la degradación y buscando que el ecosistema recuperado pueda continuar su trayectoria histórica de forma independiente y autosustentable (Clewel y Aronson, 2013). Sin embargo, actualmente se reconoce que en ocasiones es necesario continuar con acciones que permitan mantener al ecosistema en la trayectoria deseada, por lo que se pueden requerir acciones de mantenimiento, como son la remoción de especies exóticas invasoras y realización de quemas controladas (Gann *et al.*, 2019).

Como un ejemplo de un ecosistema nativo inmerso en una zona urbana tenemos a un matorral xerófilo de palo loco (*Pittocaulon praecox*) que se desarrolla en el sur de la Ciudad de México. Este ecosistema se desarrolla en el norte y parte baja de una zona conocida como el Pedregal de San Ángel (Rzedowski, 1954).

Este ecosistema alberga una importante biodiversidad, gracias a los microambientes que generan las irregularidades de la roca volcánica producida tras la erupción del volcán Xitle y a la



confluencia en este sitio de las regiones biogeográficas, Neártica y Neotropical (Cano-Santana *et al.*, 2008). Además, ofrece diversos servicios ecosistémicos, como son la recarga de mantos acuíferos, gracias a las fracturas en la roca que permiten la infiltración del agua (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009), la producción de oxígeno, captura de dióxido de carbono, amortiguamiento del ruido y mantenimiento de la biodiversidad. Este ecosistema también permite la recreación, la relajación, y ofrece posibilidades para la educación ambiental y la investigación científica (Nava-López *et al.*, 2009). Algunos remanentes de Pedregal son parte de las zonas de amortiguamiento que ayudan a resguardar el casco central de Ciudad Universitaria (CU), perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual, es patrimonio de la humanidad (UNESCO, 2007). Estos servicios ecosistémicos son vitales dada la pérdida de los ecosistemas nativos en la Cuenca del Valle de México, los cuales han sido devastados por el crecimiento no sostenible de la ciudad capital. Dicho crecimiento ha traído consigo problemas como el desabasto de agua, la contaminación atmosférica, el hacinamiento y el estrés en las personas; problemas que precisamente las áreas naturales pueden ayudar a mitigar a través de los servicios ecosistémicos que proveen (Pisanty *et al.*, 2009).

A pesar de su gran valor, este ecosistema ha sido reducido a menos de 10% de su extensión original principalmente debido a la urbanización de la zona (Cano-Santana *et al.*, 2008). Con el fin de conservar algunos de estos remanentes, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) declaró en 1983 un área de conservación dentro de Ciudad Universitaria (CU), que desde entonces ha aumentado en extensión hasta 237 hectáreas y que actualmente se conoce como la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009). Sin embargo, dada la compleja interacción de la reserva con la comunidad universitaria y con los habitantes de sus alrededores, existen una serie de riesgos y procesos de degradación que amenazan su existencia, como son la invasión de las áreas protegidas, el relleno con materiales no consolidados, la introducción de fauna y flora exótica invasora, el saqueo de especies, el desarrollo de actividades ilícitas, la provocación de incendios y la presencia de indigentes (Zambrano *et al.*, 2016). Todo ello



lleva al riesgo de perder este ecosistema y los servicios ecosistémicos que aporta, los cuales son muy importantes para lograr el tránsito hacia un desarrollo sostenible en la Ciudad de México (Pisanty *et al.*, 2009).

Para revertir este proceso de degradación de la reserva universitaria, se han emprendido tareas como son la mejora del monitoreo y la vigilancia, la identificación de riesgos, el desarrollo de programas de participación social y la restauración ecológica de espacios degradados (Antonio-Garcés, 2008; SEREPSA, 2008; Antonio-Garcés *et al.*, 2009; Saucedo-Morquecho, 2011; González-Rebeles-Guerrero, 2012; Muñoz-Saavedra, 2013; Zambrano *et al.*, 2016).

Además de las acciones de conservación mencionadas en el párrafo anterior, también se ha propuesto ampliar las áreas de amortiguamiento de la REPSA y crear corredores de interconexión entre sus fragmentos, a través de la restauración ecológica de remanentes de pedregal dentro de CU que no se han incluido dentro de la REPSA. Esto permitiría extender y mejorar la calidad del hábitat, contar con mayor amortiguamiento a los disturbios y acercar este ecosistema a la comunidad universitaria para que pueda conocerlo, apreciarlo y valorarlo, con lo que se buscaría aumentar las posibilidades para su conservación (Camarena, 2010; Lara-Deras, 2016).

Aunque podría ser deseable restaurar todos los espacios degradados en un paisaje particular, en este caso, los 407 remanentes de pedregal dentro de CU que suman 47.53 hectáreas (DCSIG-SEREPSA, 2016), esto podría no ser posible en la práctica, ya que existen una serie de factores, en especial limitantes económicas, que pueden restringir la factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración en un sitio particular y por tanto limitar el éxito del proyecto. Por esto es necesario identificar las áreas que necesitan ser restauradas y al mismo tiempo, en donde la restauración es factible (Orsi *et al.*, 2011; Tobón *et al.*, 2017).

Una de las herramientas que se ha utilizado para este fin es el análisis multicriterio realizado con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Con este tipo de análisis es posible estudiar variables ecológicas, económicas y sociales, las cuales se entienden como múltiples criterios que son evaluados

en cada sitio de estudio, son representadas espacialmente en un SIG, posteriormente son ponderadas, y finalmente se conjuntan para otorgar un valor a cada sitio (Mendoza y Martins, 2006; Corzo-Ramírez *et al.*, 2012). Dados los valores otorgados, es posible ordenarlos jerárquicamente de acuerdo con su necesidad y factibilidad de ser restaurados (Orsi *et al.*, 2011; Tobón *et al.*, 2017). De esta manera, en un análisis multicriterio se puede ordenar la información de diferentes áreas del conocimiento para permitir comprender problemas complejos de forma interdisciplinaria. Además, estos métodos permiten la participación de diversos actores sociales, que pueden ponderar los criterios de acuerdo con sus conocimientos e intereses y, al mismo tiempo, permiten ponderar sus opiniones (Mendoza y Martins, 2006; Corzo-Ramírez *et al.*, 2012).

Tomando en cuenta lo anterior, el presente estudio se centró en evaluar, a través de un índice construido por medio de un análisis multicriterio, la necesidad y factibilidad de restauración de la vegetación original, en distintos parches remanentes de pedregal y sus áreas verdes asociadas, en las inmediaciones del Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria. La restauración de los parches de pedregal colindantes al Estadio Olímpico es especialmente interesante, ya que esto podría permitir extender el área de influencia de los espacios de la REPSA ubicados al poniente de CU. Además, dada la importancia de esta zona como parte del patrimonio e identidad universitaria, podrían existir interesantes posibilidades de establecer vínculos con los actores sociales vecinos a estos pedregales, quienes podrían colaborar en actividades de restauración ecológica que busquen mejorar las áreas verdes con vegetación nativa aledañas al estadio. De esta manera, se puede contribuir a la conservación del patrimonio natural, histórico y arquitectónico de la UNAM. Esto es relevante considerando que el área es visitada por muchos universitarios y personas externas a la UNAM por su valor cultural y, como lo propusieron Camarena (2010) y Lara Deras (2016), los parches de pedregal restaurados podrían funcionar como atractivos turísticos y espacios para promover educación ambiental que aborde la importancia de la conservación del ecosistema del pedregal.



II. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es evaluar de manera integral, y bajo una perspectiva ecológica, económica y social, la necesidad y factibilidad de restauración de la vegetación nativa en parches de pedregal remanentes y sus áreas verdes asociadas colindantes al Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria. Los objetivos particulares, derivados del anterior, son los siguientes:

1. Evaluar la necesidad de llevar a cabo acciones de restauración en cada unidad de estudio a través de estimar el grado de similitud de su vegetación respecto a dos sitios conservados de referencia para conocer su grado de deterioro.
2. Evaluar la factibilidad ecológica de restauración de cada unidad de estudio a través de indicadores relacionados al efecto de borde, grado de aislamiento, a la presencia de especies de plantas nativas, a la cobertura de especies de plantas exóticas y el porcentaje de área cubierta con roca basáltica.
3. Evaluar la factibilidad económica de restauración a través de la estimación de la cantidad de árboles exóticos a remover y la cantidad de roca basáltica a adicionar.
4. Evaluar la factibilidad social de restauración de cada unidad de estudio a través de indicadores como el grado de impacto humano negativo en los sitios, del grado de valoración del ecosistema de matorral xerófilo del pedregal y la disposición a llevar a cabo acciones de restauración por parte de la comunidad universitaria.
5. Construir un índice a través de un análisis multicriterio que permita conocer el grado de necesidad y factibilidad de restaurar cada uno de los remanentes de pedregal en estudio al conjuntar la información de indicadores de grado de conservación de la vegetación y de factibilidad ecológica, económica y social.



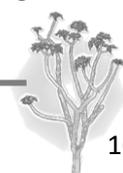
III. ANTECEDENTES

La priorización de sitios para llevar a cabo acciones de restauración se ha desarrollado en distintas regiones y ecosistemas a través del análisis multicriterio o herramientas similares. Tobón y colaboradores (2017) mencionan que el primer estudio de priorización de sitios para restauración fue llevado a cabo por Llewellyn y colaboradores en 1996. En este estudio se identificaron sitios prioritarios para la restauración de humedales boscosos en una cuenca que forma parte de la planicie aluvial del río Mississippi. Algunos de los criterios que utilizaron fueron: sitios perturbados en una matriz forestal, cercanos a cursos de agua permanentes, alejados de carreteras, donde la matriz forestal fuera de mayor tamaño y que estuvieran próximos a otros macizos forestales.

En la siguiente década, Cipollini y colaboradores (2005) utilizaron un análisis de decisión donde tomaron en cuenta a expertos para determinar objetivos fundamentales a cumplir para elegir sitios de pradera prioritarios para la restauración, así como los atributos que se tendrían que estudiar para evaluar los sitios. Dos de los objetivos fundamentales que determinaron los expertos fueron la necesidad de manejo de sitios y la calidad de estos en términos de conectividad, pendiente, geología y riqueza de especies.

Durante la última década, también existen ejemplos del uso del análisis multicriterio para establecer prioridades para la restauración en distintas regiones del mundo. Rahman, Shi y Chongfa (2014) establecieron sitios prioritarios para restauración en la región de Danjiangkou en China. Para ello, primero realizaron una evaluación de la calidad ambiental en la zona con distintos criterios físicos, químicos, biológicos y sociales; algunos de los cuáles se evaluaron con métodos de percepción remota. Identificaron que las zonas urbanizadas eran de las más deterioradas. A partir de esto, seleccionaron las zonas más degradadas y vulnerables para hacer restauración, considerando además la distancia a zonas de construcción, la condición de la vegetación, la precipitación, la pendiente del terreno y la tasa de erosión.

En cuanto a humedales, Darwiche-Criado y colaboradores (2017) realizaron priorización para su restauración en Huesca, España, con el objetivo de lograr la remoción de nitratos del agua. Para



ello, evaluaron la pendiente del terreno, la proximidad de los sitios a cursos de agua, la permeabilidad del suelo, la disponibilidad de tierras públicas y el costo de restauración. Por su parte, Guida-Jhonson y Zuleta (2017) trabajaron con ambientes riparios en un gradiente urbano-rural, dando importancia a la recuperación de sitios que ofrecieran beneficios sociales a la población. Para ello consideraron criterios como una mayor distancia a otras áreas verdes, mayor proporción de zonas con construcciones, y mayor densidad poblacional. De esta manera lograron identificar sitios en donde las áreas verdes son pocas y la recuperación de espacios beneficiaría a un mayor número de personas.

Un ejemplo de priorización de sitios para restaurar matorrales en la zona urbana de la Ciudad del Cabo en Sudáfrica es el de Mostert y colaboradores (2018). El principal interés de este grupo fue recuperar matorrales invadidos por plantas exóticas y tomaron en cuenta los criterios de densidad y duración de la invasión, cobertura de la vegetación nativa, uso de la tierra, nivel de disturbio, tamaño del área, textura y profundidad del suelo, susceptibilidad a la erosión, pendiente, tipo y grado de conservación de la vegetación y conectividad como criterios para selección de sitios.

Para el caso de México uno de los ejemplos más recientes y relevantes del uso del análisis multicriterio para evaluar la necesidad y factibilidad de restauración ecológica de ecosistemas fue la generación del mapa de prioridades de restauración para el país por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) (Tobón *et al.*, 2017). Para la elaboración de este mapa se llevó a cabo un análisis multicriterio que permitió identificar las áreas con prioridades de restauración usando dos factores principales: su importancia biológica y factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración. Cada uno de estos componentes se evaluó tomando en cuenta diversos criterios como son: las prioridades de conservación en las zonas, la fragmentación del paisaje, el tipo de uso de la tierra y el grado de degradación del suelo.

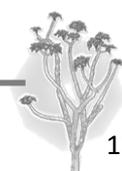
Otros ejemplos son los trabajos de Lithgow y colaboradores (2013, 2015), donde desarrollaron un índice que, a través de un análisis multicriterio, permitió hacer un diagnóstico de los sitios en los que se pretenden llevar a cabo acciones de restauración, rehabilitación o conservación de dunas

costeras frontales en México. En esos trabajos los autores involucrados usan los términos “probabilidad de éxito”, “factibilidad” y “viabilidad” para señalar el mismo concepto, que está relacionado con el potencial que tiene un sitio para ser restaurado, y por tanto pueden considerarse como sinónimos válidos.

En ciertos contextos, para identificar sitios con potencial para llevar a cabo acciones de restauración con un análisis multicriterio, es indispensable incluir criterios de factibilidad social, ya que este factor puede limitar la implementación de los proyectos de restauración (Januchowski-Hartley *et al.*, 2012; Tobón *et al.*, 2017). Miller y Hobbs (2007) consideran que las limitantes sociales también pueden restringir el presupuesto que se puede asignar a la restauración, además de que las reacciones negativas de la población hacia el proyecto de restauración pueden frenarlo, por lo que es muy importante explicar a la población las razones por las que se ejecutan acciones de restauración.

Por su parte, Orsi y colaboradores (2011) diseñaron una guía valiosa para definir los criterios sociales a ser evaluados en diferentes contextos para implementar proyectos de restauración ecológica. Estos autores consultaron a expertos en manejo y restauración de ecosistemas a través del método Delphi¹ sobre los criterios e indicadores que pueden utilizarse para identificar sitios prioritarios para la restauración. Entre los criterios de factibilidad socioeconómica que sugirieron los expertos están la sostenibilidad económica, la gobernanza de zonas forestales, la propiedad de la tierra, las capacidades de monitoreo, la voluntad política, el costo de la restauración, conocimientos técnicos y la disposición de la comunidad local. Para evaluar este último criterio propusieron indicadores, tales como la cantidad de dinero que la comunidad local está dispuesta a invertir, así como el número de personas y el grado de interés de estas en participar en las acciones de restauración.

¹ El método Delphi fue desarrollado a principios de los cincuenta por RAND Corporation y busca estructurar el proceso de comunicación de un grupo de tal forma que permita a los individuos abordar problemas complejos. El enfoque se basa en cuestionarios estructurados y escritos que se proporcionan a los panelistas para contestar de forma anónima. Las respuestas son resumidas y proporcionadas de vuelta a los panelistas para que puedan tener la oportunidad de revisar su juicio (Orsi *et al.*, 2011).



Por otro lado, para el caso de los remanentes de pedregal en Ciudad Universitaria, se han desarrollado índices con el objeto de conocer su valor para la conservación, aunque sin un enfoque explícito en su restauración. Uno de ellos, presentado por Maravilla-Romero y Cano-Santana (2009) considera el uso de nueve parámetros relacionados con su tamaño, cercanía con zonas conservadas, composición de especies vegetales, densidad de eucaliptos, impactos antropogénicos, presencia de fauna feral y actividad de fauna nativa, con los que calcularon el valor para la conservación de seis remanentes de pedregal. Por otro lado, Cano-Santana y colaboradores (2008) publicaron un estudio sobre el valor de conservación de tres áreas que se incorporaron a la REPSA en el cual utilizaron un índice de ocho variables relacionadas principalmente con la riqueza de especies y grado de conservación de la vegetación.

También se han desarrollado estudios que involucran aspectos sociales relacionados con la conservación y restauración de remanentes de pedregal en CU. Por su parte, Ríos-Martínez-Soto (2008) presentó una tesis sobre la valuación económica de la biodiversidad en la REPSA. En ella evaluó el grado de conocimiento que tienen los alumnos de licenciatura respecto a la importancia de la REPSA y estudió su disposición a pagar para contribuir a llevar a cabo acciones de conservación y restauración de este ecosistema. El autor encontró que hasta un 77% de los encuestados estuvo dispuesto a pagar para estos fines.

Más recientemente, Lara-Deras (2016) presentó un mapa con espacios dentro del *campus* central de CU en los cuales se podría llevar a cabo xerojardinería con especies nativas. Para identificar estos sitios tomó en cuenta dos criterios: que la instalación de xerojardines no afectara las actividades de esparcimiento de la comunidad universitaria y que tampoco interfiriera con la arquitectura que da designación al *campus* como Patrimonio Cultural de la Humanidad. Además, evaluó el grado de conocimiento sobre el ecosistema del pedregal entre la comunidad universitaria.

Adicionalmente, es importante resaltar los esfuerzos que ya se han concretado en cuanto a la restauración de remanentes de pedregal en CU y el monitoreo de este proceso. En particular, el Dr.

Zenón Cano Santana y sus tesisas han llevado a cabo acciones de restauración de la vegetación en las zonas de amortiguamiento A8 y A11 y, además han estudiado la recuperación de una porción de la zona núcleo suroriente de la REPSA; asimismo, estimaron el costo económico de las acciones en las primeras dos zonas (Antonio-Garcés, 2008; Antonio-Garcés *et al.*, 2009; Saucedo-Morquecho, 2011; González-Rebeles-Guerrero, 2012; Muñoz-Saavedra, 2013; Estañol-Tecuatl y Cano-Santana, 2017; González-Jaramillo, 2018).

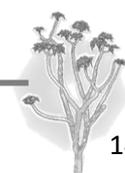
IV. MÉTODOS

4.1 Área de estudio

El Pedregal de San Ángel se encuentra al suroeste de la Ciudad de México (Fig. 4.1) en las delegaciones Coyoacán, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Tlalpan (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009). Su extremo meridional se localiza en la Sierra del Chichinautzin (Siebe, 2000, 2009). El gradiente altitudinal en la zona va de los 2250 a los 3150 m.s.n.m. Su extensión original era de 80 km² (Zambrano *et al.*, 2016).

El sustrato principal en la zona está constituido por rocas basálticas generadas a partir de la erupción del volcán Xitle, ubicado en el campo volcánico de la Sierra del Chichinautzin, que ocurrió en el año 280 ± 35 d.n.e (Siebe, 2000, 2009). A través del tiempo, se ha venido acumulando una capa de suelo incipiente dentro de grietas y fisuras de la roca. Los tipos de lavas que pueden observarse en la zona son de tipo aa y pahoehoe (Carrillo-Trueba, 1995). Las irregularidades del terreno derivadas de las formas caprichosas de estas lavas produjeron una importante complejidad topográfica en la zona (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009).

Sobre la porción del Pedregal de San Ángel que se distribuye en la actual alcaldía de Coyoacán se inició la construcción del *campus* de la Ciudad Universitaria (CU) de la UNAM en 1949 (UNESCO, 2007). El *campus* se encuentra en la zona baja del pedregal cerca de lo que fueron sus límites norteños con el lago de Texcoco (Fig. 4.1). Su extensión es de 730 ha, de las cuales solamente



285 en la actualidad están cubiertas con el ecosistema y roca basáltica del Pedregal. La afluencia diaria en este complejo universitario es de más de 300,000 personas considerando trabajadores, docentes, investigadores, alumnos y público en general (Dirección General de Comunicación Social, UNAM, 2019). Su casco central fue designado como patrimonio cultural de la humanidad por la UNESCO (2007).

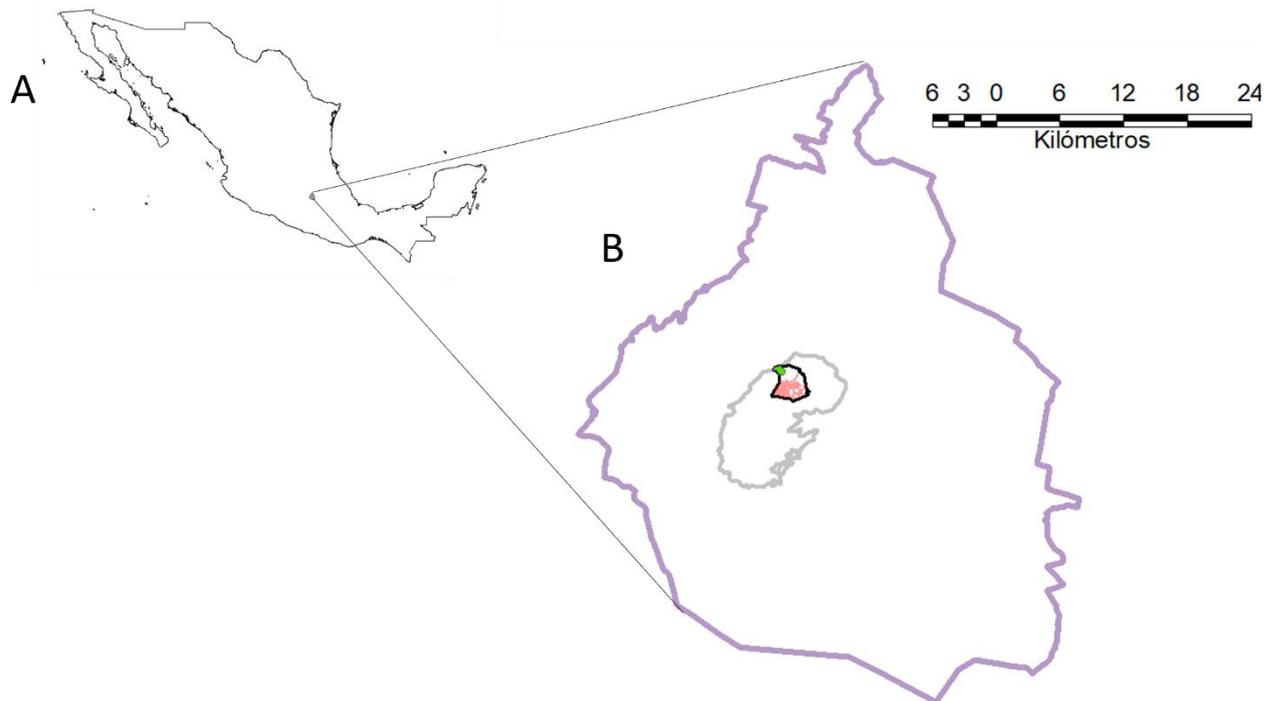
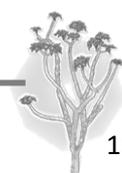


Figura 4.1. A, ubicación de la Ciudad de México en México. B, ubicación del Pedregal de San Ángel (borde gris oscuro), la Ciudad Universitaria (borde negro), la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (polígono rojo) y el área de estudio alrededor del Estadio Olímpico (polígono verde) dentro de la Ciudad de México (borde morado).

Dentro de Ciudad Universitaria se creó la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) en 1983 con una extensión original de 124 ha (Fig. 4.1). Esta ha ido aumentando en extensión a 237 ha en 2005 (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009). La REPSA está constituida por tres áreas núcleo y 13 áreas de amortiguamiento (Zambrano *et al.*, 2016). El clima en la zona es templado subhúmedo con lluvias de mayo a octubre; la temperatura media anual es de 15.6 °C y la precipitación anual promedio ronda los 833 mm (SEREPSA, 2017).

La vegetación nativa que se desarrollaba en donde ahora se encuentra el *campus* universitario y que aún se encuentra en la reserva y algunos remanentes fuera de ella es el matorral xerófilo de palo loco (*Pittocaulon praecox*). La presencia del matorral xerófilo en la zona puede explicarse por la baja capacidad de retención de agua de la roca generando condiciones de aridez en la temporada seca (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009). Algunas de las especies de plantas características de este matorral son el palo loco, agaves (*Agave* spp.), cactáceas, asteráceas, tepozanes (*Buddleja* spp.) y crasuláceas, como la oreja de burro (*Echeveria gibbiflora*) (Castillo-Argüero *et al.*, 2004, 2007). Aunque el matorral xerófilo domina la zona, también es posible encontrar microambientes donde se acumula la humedad —por ejemplo, sitios sombreados, oquedades y grietas— y donde pueden crecer algunas especies de orquídeas y helechos (Castillo-Argüero *et al.*, 2007). Sin embargo, en algunas zonas del pedregal puede acumularse mayor humedad. Entre los componentes de su fauna es posible encontrar zorras (*Urocyon cinereoargenteus*), zorrillos (*Spilogale putorius angustifrons* y *Mephitis macroura*), cacomiztles (*Bassariscus astutus astutus*), tlacuaches (*Didelphis virginiana californica*), aves (148 especies), lagartijas, víbora de cascabel (*Crotalus molossus*), salamandras, arañas, y gran variedad de insectos entre los que se encuentran chapulines y chinches (Lot y Cano-Santana, 2009).

Asimismo, en el *campus* se encuentra el Estadio Olímpico Universitario (Fig. 4.1), en cuyas inmediaciones, así como en dependencias y entidades académicas universitarias colindantes al mismo, aún es posible encontrar remanentes de pedregal en medio de la infraestructura urbana. Algunas de las dependencias que cuentan con estos elementos son la Dirección General de Obras y Conservación (DGOCC), el edificio de las Asociaciones Autónomas del Personal Académico de la UNAM (AAPAUNAM), el edificio de la Dirección de Relaciones Laborales, el anexo de la Facultad de Filosofía y Letras, las instalaciones de la Unidad de Transparencia (antes Unión de Universidades de América Latina, UDUAL) y el edificio de las Comisiones Mixtas del Sindicato de Trabajadores de la UNAM (STUNAM). Estos pedregales remanentes suman 4.4 ha, con base en el plano digital de pedregales remanentes de CU, versión 2016, elaborado y proporcionado por el Departamento de



Cartografía y Sistemas de Información Geográfica de la Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (DCSIG-SEREPSA, 2016).

Las fronteras del área de estudio son: al oriente, la Avenida Insurgentes Sur; al norte la Avenida San Jerónimo; al sur, el circuito zona deportiva; al poniente, el límite de Ciudad Universitaria con la colonia Jardines del Pedregal. Las coordenadas extremas son: 19°20'09" y 19°19'43" N y 99°11'23" y 99°11'52" O.

4.2 Definición y selección de las unidades de estudio

Se buscó evaluar la necesidad y factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración de la vegetación nativa en 44 unidades de estudio (UE) (Figura 4.2) constituidas por parches remanentes de pedregal registrados por la SEREPSA (DCSIG-SEREPSA, 2016) y sus áreas verdes asociadas, todas ellas colindantes al Estadio Olímpico. Sin embargo, las UE 3 y 36.2 (ver Fig. 4.2) no fueron evaluados en este estudio ya que la primera no correspondía a un remanente de pedregal sino más bien a una jardinería y la segunda fue destruida para construir una rampa de cemento entre el periodo en que se inventariaron las UE y en el momento en que se comenzó con el trabajo de campo en las mismas. Las áreas verdes asociadas a un remanente de pedregal fueron aquellas donde la roca basáltica pudo estar cubierta por materiales no consolidados (por ejemplo, tierra, basura inorgánica, escombros y desechos de jardinería) que entran en contacto directo con la roca basáltica remanente y que se ubican dentro de las mismas fronteras de infraestructura humana, las cuales pueden ser bardas, cercas, vialidades edificios, etc. No todas las unidades de estudio tuvieron áreas verdes asociadas.

Para poder realizar el análisis multicriterio dentro de ArcGIS (Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, U.S.A.), el cual es un sistema de información geográfica, primero fue necesario obtener un mapa base donde se representaron las UE. Para ello, se realizó un recorrido en campo durante el cual se identificaron las áreas verdes asociadas y las fronteras humanas de los remanentes de pedregal. Con esta información se procedió a trazar directamente en campo los polígonos de las UE mediante el uso de una computadora portátil y un teléfono móvil con GPS y con



ayuda de las vistas satelitales de los programas Maps y MyMaps de Google con los que además se pudo visualizar en campo y ubicar los remanentes de pedregal identificados por el Departamento de Cartografía y Sistemas de Información Geográfica de la Secretaría Ejecutiva de la REPSA (DCSIG-SEREPSA, 2016).

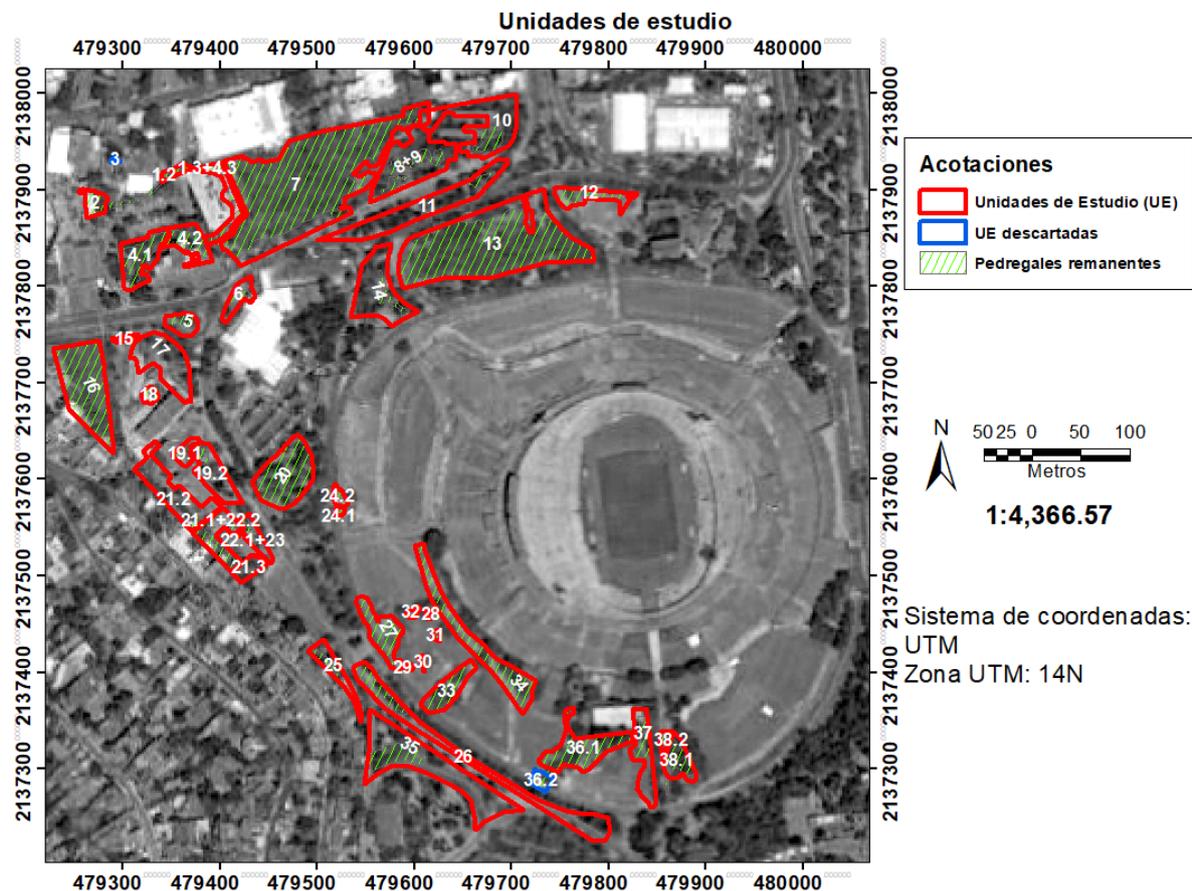
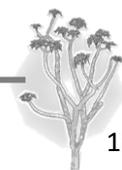


Figura 4.2. Mapa del Estadio Olímpico Universitario en el que se resalta la ubicación de las 42 unidades de estudio evaluadas (en rojo), la de las UE 3 y 36.2 que se descartaron del estudio (en azul) y de los remanentes de pedregal reconocidos por la SEREPSA (líneas diagonales verdes). Este mapa fue elaborado a partir del plano digital de pedregales remanentes de CU versión 2016, proporcionado el 27 de agosto de 2017, por el Departamento de Cartografía y Sistemas de Información Geográfica de la SEREPSA.

Cuando dos o más parches de pedregal compartieron áreas verdes y fronteras se tomaron dentro de una misma unidad de estudio. Cuando se encontró en campo que un remanente de pedregal reconocido por la SEREPSA estaba dividido por fronteras humanas se dividió en distintas unidades de estudio. La numeración asignada a las unidades de estudio corresponde en primera instancia a la designada por DCSIG-SEREPSA (2016) para identificar cada remanente de pedregal ya que la



información generada en este estudio podría ser utilizada por la SEREPSA. Esta numeración se modificó de tal manera que cuando una unidad de estudio incluía dos remanentes que compartían fronteras y área verde sus números aparecen como una suma (por ejemplo, 8+9) y cuando un remanente de pedregal se encontró que estaba dividido por fronteras humanas, cada uno de sus fragmentos se indicó con números decimales (por ejemplo, 24.1 y 24.2). Una vez trazadas las unidades de estudio, el mapa vectorial resultante para las UE se exportó desde Google MyMaps como un archivo en formato KML.

4.3 Evaluación de la necesidad y factibilidad de restauración

Para el diseño del análisis multicriterio que permitió evaluar la necesidad y factibilidad de restaurar la vegetación en cada uno de los remanentes de pedregal colindantes al estadio se tomaron en cuenta las consideraciones conceptuales y métodos empleados por Orsi y colaboradores (2011), Lithgow y colaboradores (2015, 2013) y Tobón y colaboradores (2017). En la Tabla 4.1 se presenta el diseño global del análisis multicriterio. De manera general, el índice consta de dos factores: la *necesidad* y la *factibilidad* de restaurar un sitio de estudio. La necesidad indica el grado en que la vegetación de un sitio está deteriorada y que a mayor deterioro o menor similitud respecto a un sitio conservado existirá una mayor necesidad de restauración. La factibilidad indica si un sitio cuenta con mayores posibilidades relativas de ser restaurado tomando en cuenta factores ecológicos, económicos y sociales.

Tanto la necesidad como la factibilidad de restauración se evaluaron a través de criterios ecológicos, mientras que la factibilidad se evaluó, además, con criterios de tipo económico y social. Los criterios considerados en este estudio se identificaron con base en la revisión de tesis y publicaciones sobre restauración del matorral xerófilo en Ciudad Universitaria, así como a través de la consideración de algunos criterios propuestos por Orsi y colaboradores (2011). Los criterios a su vez se evaluaron a través de indicadores, los cuales corresponden a la forma concreta en que se midieron las

calificaciones para cada criterio. Los indicadores que se utilizaron para evaluar cada uno de los criterios de factibilidad se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Criterios e indicadores ecológicos, económicos y sociales de los factores de necesidad y factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración en remanentes de pedregal dentro de Ciudad Universitaria. Se incluyen las unidades utilizadas para medir cada indicador y se especifica si cada uno es positivo o negativo, es decir si sus valores son directa (positivos) o inversamente (negativos) proporcionales a la calificación que se les asigna. Con la letra *w* se designa el peso asignado a cada componente del análisis multicriterio.

Criterios	Indicadores	Unidades	Tipo de indicador
Necesidad de restauración (w=0.3)			
Criterio ecológico (w=1)			
Grado de conservación de la vegetación	Grado de similitud respecto a una zona conservada	Porcentaje de similitud	Negativo
Factibilidad de restauración (w=0.7)			
Criterios ecológicos (w=0.7)			
Fuente local de propágulos de plantas nativas (w=0.1)	Número de especies de plantas nativas no arvenses	Número de especies	Positivo
Competencia con especies de plantas exóticas y arvenses (w=0.1)	Cobertura de especies de plantas exóticas y arvenses	Porcentaje de cobertura	Negativo
Grado de conservación de la roca basáltica (w=0.1)	Porcentaje del área cubierto con roca basáltica	Porcentaje	Positivo
Forma del parche (w=0.2)	Relación perímetro/área	m/m ²	Negativo
Tamaño del parche (w=0.4)	Área	m ²	Positivo
Aislamiento del parche (w=0.1)	Análisis de proximidad en FRAGSTATS	No aplica	Positivo
Criterio económico (w=0.15)			
Costo económico de la restauración (w=1)	Cantidad de árboles exóticos a remover (w=0.5) Cantidad de roca basáltica a adicionar (w=0.5)	m ³ m ³	Negativo
Criterios sociales (w=0.15)			
Impacto antrópico (w=0.33)	Índice de perturbación antrópica (w=0.33)	Escala del 0 al 10	Negativo
	Índice de interacciones antrópicas negativas (w=0.33)	Escala del 0 al 10	Negativo
	Número de asentamientos humanos irregulares (w=0.33)		
Valoración del ecosistema (w=0.33)	Índice de grado de valoración del ecosistema (w=1)	Escala del 0 al 10	Positivo
Disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración (w=0.33)	Índice de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración (w=1)	Escala del 0 al 10	Positivo

En particular el criterio económico de costo de restauración corresponde a dos indicadores relacionados con dos de las acciones de restauración que consumen una parte importante de los recursos monetarios en un proyecto de restauración de remanentes de pedregal; la remoción de árboles exóticos y la adición de roca basáltica (Antonio-Garcés *et al.*, 2009). Los indicadores pueden ser de tipo positivo o negativo dependiendo de la relación entre sus valores originales y la calificación que se les asigna en una escala del 0 al 10. Los indicadores con una relación inversamente proporcional respecto a su calificación se consideran negativos, mientras que los que tienen una relación directamente proporcional se consideran positivos. En el Anexo A se presentan de forma detallada los métodos que se utilizaron para evaluar los indicadores del análisis multicriterio.

A cada factor, criterio e indicador del índice se le puede asignar un peso, que se designa como *w*, proceso que se conoce como ponderación. Este valor de ponderación se multiplica por el valor del factor, criterio o indicador. El peso asignado depende del grado relativo de relevancia que se considere pueda tener para definir si un sitio requiere y puede ser restaurado (Lithgow *et al.*, 2013, 2015; Tobón



et al., 2017). En este estudio se asignaron pesos diferenciales a los criterios de factibilidad ecológica de restauración considerando que el tamaño ($w=0.4$) y la forma del parche ($w=0.2$) son aspectos importantes ya que influyen en el número y tipo de especies que pueden albergar (Forman, 1995) y, por tanto, también influyen en la autosustentabilidad de un sitio, requisito indispensable para su restauración (Clewel y Aronson, 2013). En el caso de los criterios e indicadores económicos y sociales de factibilidad de restauración se asignó el mismo peso a cada uno ($w = 0.15$). El peso relativo asignado a los indicadores económicos se debió a que la cotización de acciones de remoción de árboles exóticos y adición de roca basáltica dentro del *campus* universitario depende, hasta donde se tiene conocimiento, de dependencias universitarias con las cuales no se tuvo colaboración para realizar la presente investigación. Tomando en cuenta esto, se tomaron como indicadores del costo únicamente el volumen de madera de árboles exóticos a remover y de roca basáltica a adicionar sin asignarles valores monetarios. Debido a que se desconoce el costo unitario de estas acciones —es decir, por metro cúbico— no es posible saber si debe asignarse un mayor peso a alguna de ellas por tener una mayor influencia en incrementar los costos de restauración. Por su parte, a los criterios e indicadores sociales se asignó el mismo peso ya que se desconoce si alguno de ellos podría ser más relevante para determinar si un sitio puede ser restaurado en el contexto del *campus* universitario.

Dentro de los criterios de factibilidad de restauración se llevó a cabo un proceso de ponderación entre la factibilidad socioeconómica —que incluye los criterios sociales y económicos— y la factibilidad ecológica —que incluye los criterios ecológicos—. Para ello, se llevó a cabo el proceso de ponderación desarrollado por Tobón y colaboradores (2017) en el cual se obtienen y grafican los valores promedio para dos elementos a ponderar—en este caso, la factibilidad ecológica y la factibilidad socioeconómica— para diferentes escenarios de ponderación. En el gráfico se determina el escenario de ponderación óptima en el punto donde confluyen las líneas de valores promedios para los dos elementos (Fig. 4.3A). En este sentido, se obtuvo un peso de 0.7 para la factibilidad ecológica y de 0.3 para la factibilidad socioeconómica el cual se dividió en partes iguales

($w=0.15$) para la factibilidad económica y social, respectivamente. Este mismo proceso se aplicó para determinar el peso a asignar a la necesidad ($w=0.3$) y factibilidad ($w=0.7$) de restauración (Fig. 4.3B).

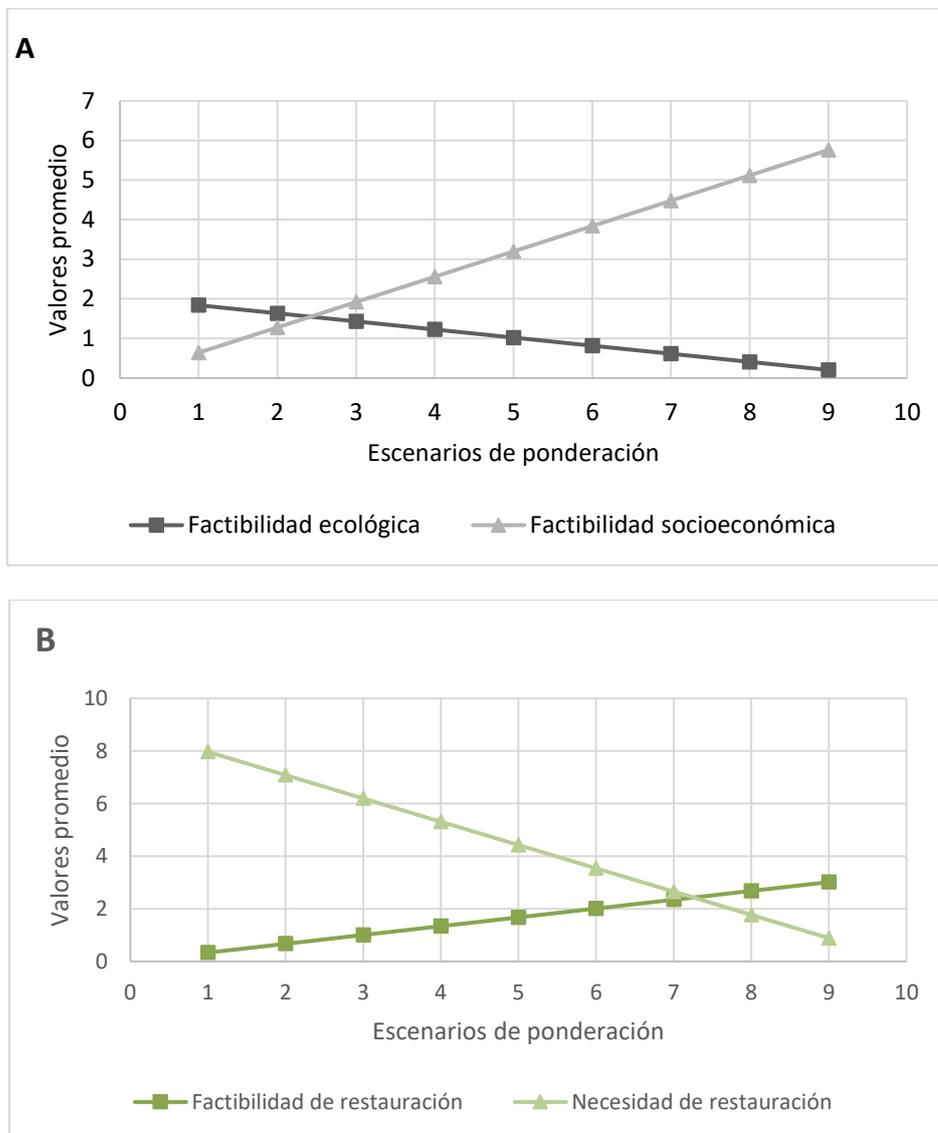


Figura 4.3. Gráficas de valores promedio de los factores del análisis multicriterio para diferentes escenarios de ponderación. A, gráfica para la factibilidad ecológica y socioeconómica; B, gráfica para la factibilidad y necesidad de restauración. Los escenarios de ponderación comienzan con el 1 que corresponde a dar un peso de 0.1 y 0.9 respectivamente a cada variable, y terminan con el escenario 9 que corresponde a dar un peso de 0.9 y 0.1. En cada escenario los valores de ponderación varían en 0.1.

Tomando en cuenta lo anterior, el cálculo del *índice de necesidad y factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración (INFR)* en cada remanente de pedregal se calculó con la siguiente fórmula:

$$INFR = (Nw_n) + (\sum_{i=1}^m F_i w_i) w_f \tag{Ec. 4.1}$$



donde: $INFR$ = valor del índice de necesidad y factibilidad de restauración, N = valor obtenido para el factor de necesidad de restauración, w_n = peso asignado al factor de necesidad de restauración n , w_i = peso asignado a cada i tipo de factibilidad de restauración, F_i = valor asignado a cada i tipo de factibilidad de restauración, w_f = peso asignado al factor de factibilidad de restauración, y m = número de tipos de factibilidad de restauración y sus respectivos pesos.

Este índice se estandarizó de tal manera que abarcara valores entre el 0 y el 10. De hecho, todos los factores, criterios e indicadores se evaluaron con esta misma escala. De esta manera, aquellos parches para los que el índice obtuvo valores altos corresponden a aquéllos que tienen alta necesidad de ser restaurados y para los que podría ser más factible llevar a cabo las acciones de restauración.

Para obtener mapas en ArcGIS que representaran los resultados obtenidos para el análisis multicriterio se llevó a cabo el siguiente proceso. En primer lugar, las calificaciones de cada indicador de necesidad y factibilidad de restauración se incorporaron como campos a la tabla de atributos de la capa vectorial base de las UE con la herramienta de edición de ArcGIS. A partir de esta capa y su respectiva tabla de atributos se generaron capas *raster* para cada indicador, criterio, tipo de factibilidad y factores con la herramienta de conversión *Polygon to raster*. Los parámetros para realizar esta operación fueron los siguientes: tamaño de celda de 0.3 m y método de área máxima para generar el *raster*.

Para las UE 8+9, 10 y 16 fue necesario crear una capa con polígonos que funcionaran como máscaras para estas UE debido a que no se autorizó la obtención de información para algunos indicadores por parte de la DGOC. Esta capa se creó con la herramienta de edición de ArcGIS como un archivo vectorial de polígonos.

A partir de las capas *raster* generadas para los indicadores, la necesidad y factibilidad de restauración y el $INFR$ se generaron mapas en ArcGIS en la vista de *Layout*. En estos mapas se

incluyó el título, la escala gráfica y numérica, las acotaciones, la información referente al *DATUM* y sistema de coordenadas, la fecha de elaboración y la rosa de los vientos.

4.4 Análisis de clasificación y componentes principales

Se llevó a cabo un análisis de clasificación a través del cálculo de distancias euclidianas y ligamiento completo junto a un análisis de componentes principales de las calificaciones obtenidas por cada UE para cada uno de los elementos del análisis multicriterio (Tabla 4.1). Solamente se trabajó con las UE que tuvieron datos completos para todos los criterios e indicadores del análisis multicriterio. Se eligió el ligamiento completo ya que presentó una alta correlación (0.92) entre la distancia euclidiana calculada y la distancia cofenética (Legendre y Legendre, 2012). El dendrograma obtenido con el análisis de clasificación se cortó para obtener cuatro grupos de UE, ya que con este número se obtuvo el máximo de grupos sin generar UE aisladas. Para el análisis de componentes principales se probó la significancia de los componentes principales obtenidos mediante el método de *Broken stick*, resultando que los dos primeros componentes principales fueron significativos (Legendre y Legendre, 2012). Tanto el análisis de clasificación como el análisis de componentes principales se realizaron en el programa R versión 3.5.2 (R Development Core Team, 2018). El código utilizado para llevar a cabo este análisis se presenta en el Anexo D.

El análisis de clasificación sirvió para obtener grupos discretos de unidades de estudio con características similares en cuanto a los indicadores evaluados de necesidad y factibilidad de restauración, y que por tanto podrían tener una estrategia de manejo similar. Estos grupos se representaron en la gráfica que muestra los resultados del análisis de componentes principales, lo cual permitió entender cuáles fueron los indicadores más importantes del análisis multicriterio que separaron los grupos de unidades de estudio y que definieron la calificación obtenida para el *INFR*.



V. RESULTADOS

5.1 Factor de necesidad de restauración

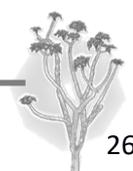
5.1.1 Criterio: grado de conservación de la vegetación

5.1.1.1 Indicador: grado de similitud respecto a una zona conservada. En cuanto al primer indicador, criterio y factor del análisis multicriterio que corresponde a la necesidad de restauración, en la Figura 5.1 se presenta un mapa con los valores del mismo para cada una de las UE. Se observa que todas las UE tienen calificaciones por arriba de 6 por lo que todas tienen necesidad de ser restauradas, ya que la composición de especies vegetales difiere en más del 50% respecto a vegetación de zonas conservadas de referencia. De hecho, la mayor parte de las UE presentó valores de necesidad de restauración en el rango de 9 a 10 (ver Tabla 5.1), lo que indica que su vegetación nativa de matorral xerófilo se encuentra altamente deteriorada. Por otra parte, las UE 7 y 13, que tienen una mayor extensión, son las que tienen una vegetación con mayor grado de similitud respecto a las zonas conservadas y por tanto una menor necesidad de ser restauradas. De las 41 UE con información, 24 mostraron una mayor similitud con el sitio de referencia de la Zona Núcleo Oriente y 17 con el sitio de la Zona Núcleo Poniente.

En los muestreos realizados en las unidades de estudio y en las parcelas ubicadas en las zonas núcleo se registraron 333 especies y morfoespecies de plantas, de las cuales se identificaron 241 (72.37%) a nivel de especie, 54 (16.21%) se identificaron a nivel de género y 38 (11.41%) sólo se diferenciaron como morfoespecies distintas y no pudieron ser identificadas. Por otro lado, las tres familias con mayor número de especies fueron: Asteraceae (49 especies), Poaceae (24) y Fabaceae (17). En el Anexo E se presenta un listado de las familias y especies determinadas.

Tabla 5.1. Valores de mayor porcentaje de similitud del índice de Horn-Morisita entre las unidades de estudio y uno de los dos sitios de referencia y la calificación derivada para el indicador, criterio y factor de necesidad de restauración. Las unidades de estudio se ordenaron en orden decreciente, según la calificación del indicador. ZNO: zona núcleo oriente; ZNP: zona núcleo poniente; NE, no evaluado.

Unidad de estudio	Porcentaje de similitud	Sitio de referencia con mayor similitud	Calificación
26	1.6	ZNO	9.84
35	2.8	ZNP	9.72
32	3.6	ZNP	9.64
24.1	3.8	ZNO	9.62
20	4	ZNO	9.6
14	4.3	ZNO	9.57
15	4.7	ZNO	9.53
1.2	4.9	ZNP	9.51
21.3	5.3	ZNO	9.47
4.1	5.3	ZNO	9.47
33	5.4	ZNP	9.46
38.2	6	ZNP	9.4
22.1+23	6.2	ZNO	9.38
5	6.7	ZNO	9.33
11	6.8	ZNO	9.32
1.3+4.3	7.3	ZNO	9.27
18	8.2	ZNO	9.18
34	8.3	ZNO	9.17
12	8.6	ZNO	9.14
31	8.9	ZNP	9.11
19.2	9.3	ZNO	9.07
25	9.5	ZNP	9.05
28	10.2	ZNP	8.98
17	10.4	ZNO	8.96
21.1+22.2	10.5	ZNO	8.95
38.1	10.9	ZNP	8.91
4.2	12.5	ZNO	8.75
10	14.2	ZNO	8.58
36.1	16.1	ZNO	8.39
8+9	16.6	ZNO	8.34
37	18.6	ZNO	8.14
29	19.2	ZNP	8.08
6	19.4	ZNO	8.06
21.2	19.4	ZNO	8.06
24.2	20.4	ZNP	7.96
30	20.4	ZNP	7.96
2	20.7	ZNP	7.93
27	21.1	ZNP	7.89
19.1	23.6	ZNP	7.64
7	31.8	ZNP	6.82
13	38.1	ZNP	6.19
16	NE	NE	NE



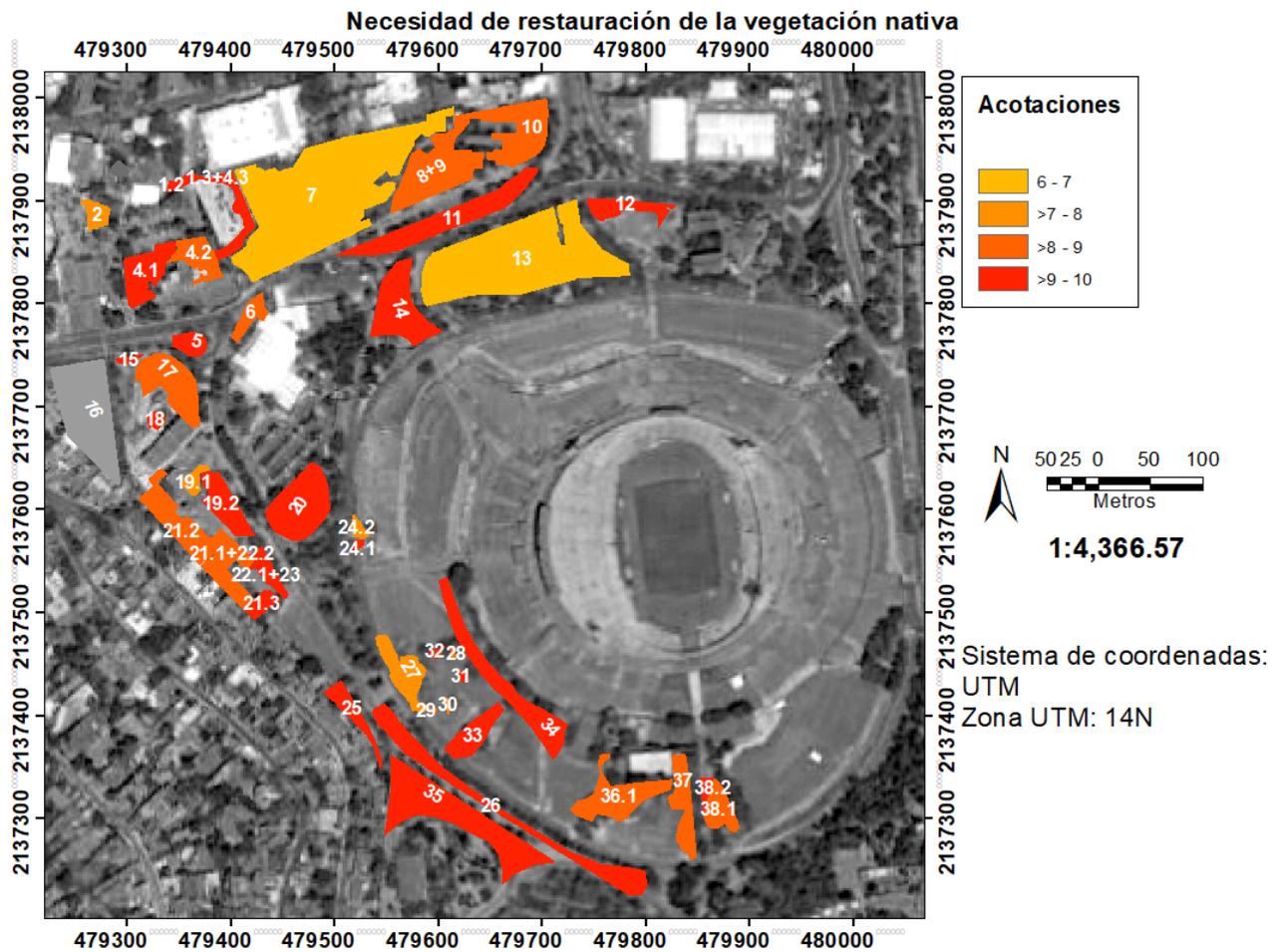


Figura 5.1. Mapa de necesidad de restauración de la vegetación nativa de matorral xerófilo para las unidades de estudio, las cuales se derivan de su mayor grado de similitud con alguna de las dos áreas conservadas de referencia que se encuentran dentro de las zonas núcleo de la REPSA.

5.2 Factor de factibilidad de restauración

En la Tabla 5.2 se presentan las calificaciones obtenidas para cada tipo de factibilidad de restauración (ecológica, económica y social), con los cuales se obtuvo el valor del factor de factibilidad general para cada unidad de estudio, lo que se representa espacialmente en el mapa de la Figura 5.2. En este se observa que las UE 7 y 13, que son más grandes y tienen mayor factibilidad ecológica, tienen la mayor factibilidad general de restauración. Por otro lado, las UE 15, 28 y 32 presentan los menores valores de factibilidad y tienen en común el ser áreas pequeñas que se encuentran fuera de entidades universitarias.

Tabla 5.2. Calificaciones para la factibilidad ecológica, económica, social y general de restauración para las unidades de estudio. Las unidades de estudio se presentan ordenadas de acuerdo con su calificación para la factibilidad general de restauración en orden descendente. UE, unidad de estudio; FECOL, factibilidad ecológica; FECON, factibilidad económica; FS, factibilidad social; FG, factibilidad general de restauración; NE, no evaluado.

UE	FECOL	FECON	FS	FG
7	8.20	3.75	4.22	6.94
13	6.71	0.05	4.45	5.37
20	2.85	7.10	5.11	3.83
4.1	2.61	8.33	4.07	3.69
4.2	2.32	9.23	4.10	3.62
36.1	2.68	7.49	4.06	3.61
2	2.17	9.69	4.16	3.60
14	2.43	7.28	5.12	3.56
21.2	2.31	8.66	4.22	3.55
37	2.19	9.08	4.23	3.53
35	2.72	5.72	5.00	3.51
18	1.90	9.97	4.43	3.49
19.1	1.90	9.89	4.25	3.45
1.3+4.3	1.94	9.57	4.24	3.43
17	2.04	8.42	4.26	3.33
27	2.11	8.14	4.05	3.31
38.2	1.74	9.56	4.31	3.30
11	2.16	7.08	4.86	3.30
21.1+22.2	1.66	9.06	4.64	3.22
24.2	1.61	9.74	3.99	3.19
33	2.10	7.32	4.09	3.18
38.1	2.02	7.50	4.01	3.14
29	1.41	9.99	4.29	3.13
5	1.34	9.33	5.06	3.09
26	1.99	6.20	5.05	3.08
30	1.35	9.98	4.25	3.08
6	1.44	9.61	3.95	3.04
24.1	1.30	9.99	4.18	3.03
19.2	1.59	8.58	4.18	3.03
1.2	1.28	9.95	4.24	3.02
22.1+23	1.23	9.57	4.74	3.01
21.3	1.26	9.43	4.63	2.99
34	2.46	4.31	4.07	2.98
25	1.28	8.88	5.02	2.98
31	1.27	9.71	4.15	2.97
12	1.27	8.99	4.13	2.86
28	1.01	9.81	4.16	2.80
32	1.00	9.60	4.15	2.76
15	0.35	9.76	5.08	2.47
8+9	3.91	NE	NE	NE
10	3.94	NE	NE	NE
16	NE	NE	NE	NE



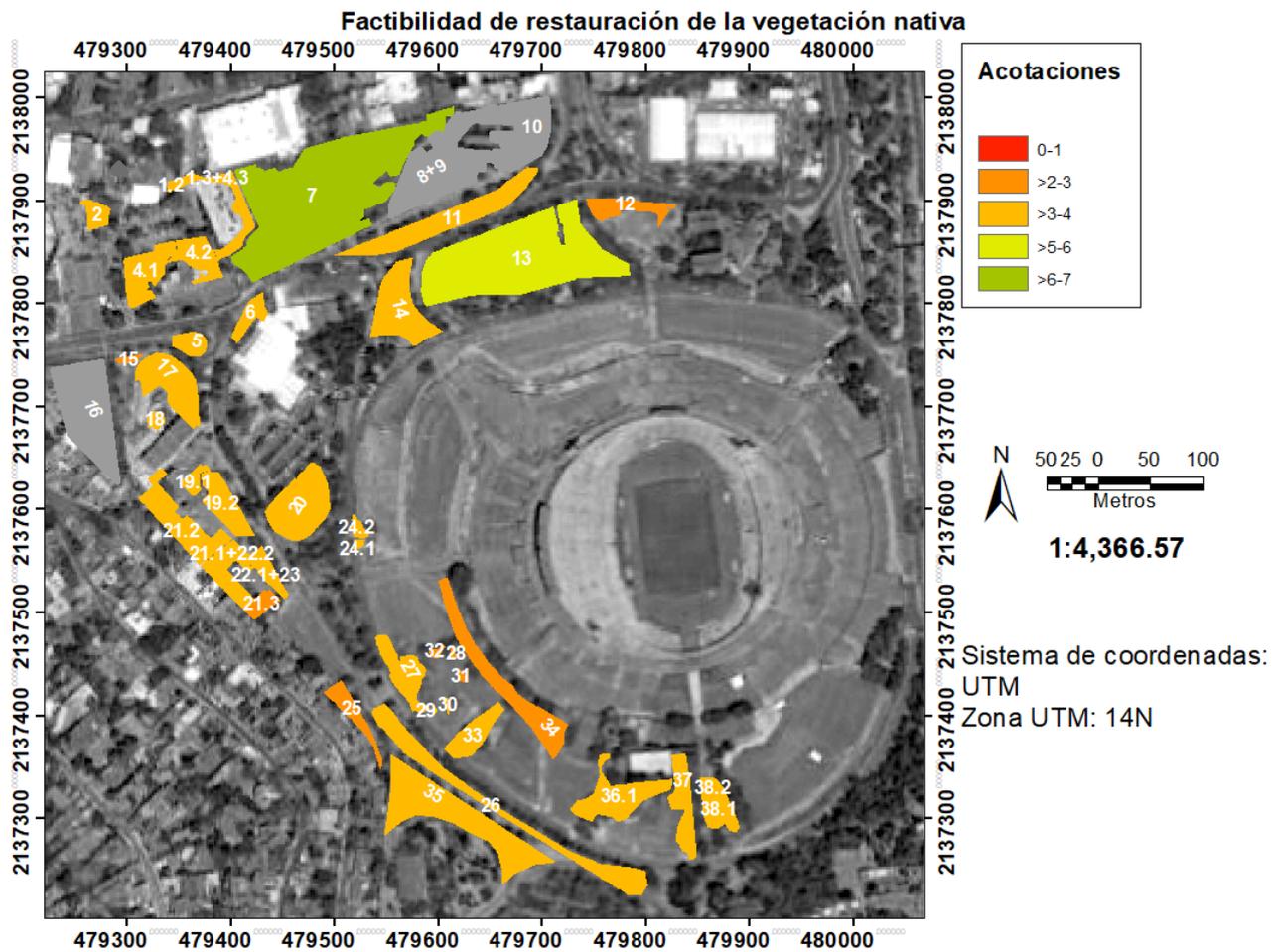


Figura 5.2. Mapa de las calificaciones asignadas a cada una de las unidades de estudio para la factibilidad general de restauración.

A continuación, se presentan los detalles de los resultados obtenidos para cada tipo y criterio de factibilidad de restauración.

5.2.1 Factibilidad ecológica. En la Tabla 5.3 se presentan las calificaciones obtenidas por cada UE para los criterios ecológicos de factibilidad de restauración y para la factibilidad ecológica derivada de cada uno de estos criterios. A su vez, las calificaciones de factibilidad ecológica se representan espacialmente en el mapa de la Figura 5.3. En este mapa se observa que la mayoría (97.62%) de las UE presentan calificaciones por debajo de 4 lo que se puede interpretar como un alto deterioro ecológico de esos sitios en general. Los remanentes 7, 13, 8+9 y 10, que se ubican en un conglomerado al norte del Estadio Olímpico, son los que presentan valores más altos de factibilidad de restauración ecológica.

Tabla 5.3. Calificaciones para los criterios ecológicos de factibilidad de restauración y para la factibilidad ecológica obtenidas por las unidades de estudio. Las unidades de estudio se presentan ordenadas de acuerdo con su calificación para la factibilidad ecológica en orden descendente. UE, unidad de estudio; FLPN, fuente local de propágulos de plantas nativas; CEPEA, competencia con especies de plantas exóticas y arvenses; GCSB, grado de conservación de la roca basáltica; FP, forma del parche; TP, tamaño del parche; AP, aislamiento del parche; NE, no evaluado.

UE	FLPN	CEPEA	GCSB	FP	TP	AP	FER
7	10.00	5.06	4.51	10.00	10.00	2.46	8.20
13	9.71	5.06	2.69	9.95	7.43	0.05	6.71
10	5.71	3.42	3.18	4.37	2.09	10.00	3.94
8+9	6.86	2.92	1.98	6.01	2.30	6.12	3.91
20	2.86	1.03	2.70	6.88	2.04	0.01	2.85
35	0.57	1.16	0.76	5.34	3.49	0.09	2.72
36.1	5.14	2.64	4.88	3.91	1.54	0.14	2.68
4.1	4.00	2.65	5.04	4.27	1.19	1.12	2.61
34	3.43	3.19	3.52	3.18	2.03	0.03	2.46
14	3.43	0.63	1.29	5.61	1.90	0.12	2.43
4.2	3.71	3.64	5.38	3.53	0.84	0.06	2.32
21.2	6.00	2.14	0.97	3.48	1.58	0.73	2.31
37	3.14	3.31	4.28	3.43	1.03	0.20	2.19
2	3.14	6.27	5.62	2.62	0.36	0.00	2.17
11	2.29	1.20	1.12	3.82	2.28	0.21	2.16
27	2.57	3.11	4.41	3.41	1.05	0.02	2.11
33	3.43	1.96	3.91	2.92	0.82	2.60	2.10
17	1.14	1.21	1.05	5.20	1.64	0.02	2.04
38.1	3.43	2.35	4.15	3.53	0.68	0.49	2.02
26	1.43	2.83	1.33	2.44	2.33	0.11	1.99
1.3+4.3	2.57	2.70	4.87	1.78	0.77	2.62	1.94
18	3.71	3.13	7.86	1.88	0.14	0.02	1.90
19.1	4.29	3.87	5.30	1.88	0.25	0.77	1.90
38.2	3.14	3.16	5.45	1.49	0.15	2.09	1.74
21.1+22.2	1.14	1.32	1.53	3.04	0.98	2.60	1.66
24.2	3.14	2.83	6.02	1.74	0.15	0.02	1.61
19.2	1.43	1.25	1.06	3.92	1.00	0.34	1.59
6	2.57	3.06	2.73	2.11	0.44	0.07	1.44
29	1.43	6.45	4.77	0.66	0.02	0.10	1.41
30	1.43	7.01	3.65	0.62	0.03	0.01	1.35
5	1.71	0.98	2.21	3.39	0.41	0.03	1.34
24.1	1.14	1.09	8.19	1.14	0.05	0.04	1.30
25	1.43	2.87	2.14	1.96	0.59	0.08	1.28
1.2	0.86	2.21	4.82	1.34	0.08	1.88	1.28
12	2.29	1.65	0.66	2.58	0.72	0.08	1.27
31	1.71	2.59	6.05	1.08	0.05	0.02	1.27
21.3	0.86	1.25	1.91	2.40	0.33	2.42	1.26
22.1+23	1.14	2.24	2.27	2.39	0.45	0.07	1.23
28	1.43	3.10	3.61	0.87	0.03	0.05	1.01
32	0.86	1.75	4.83	1.12	0.07	0.02	1.00
15	0.29	0.17	0.44	1.07	0.08	0.14	0.35
16	NE	NE	NE	7.19	2.73	0.01	NE



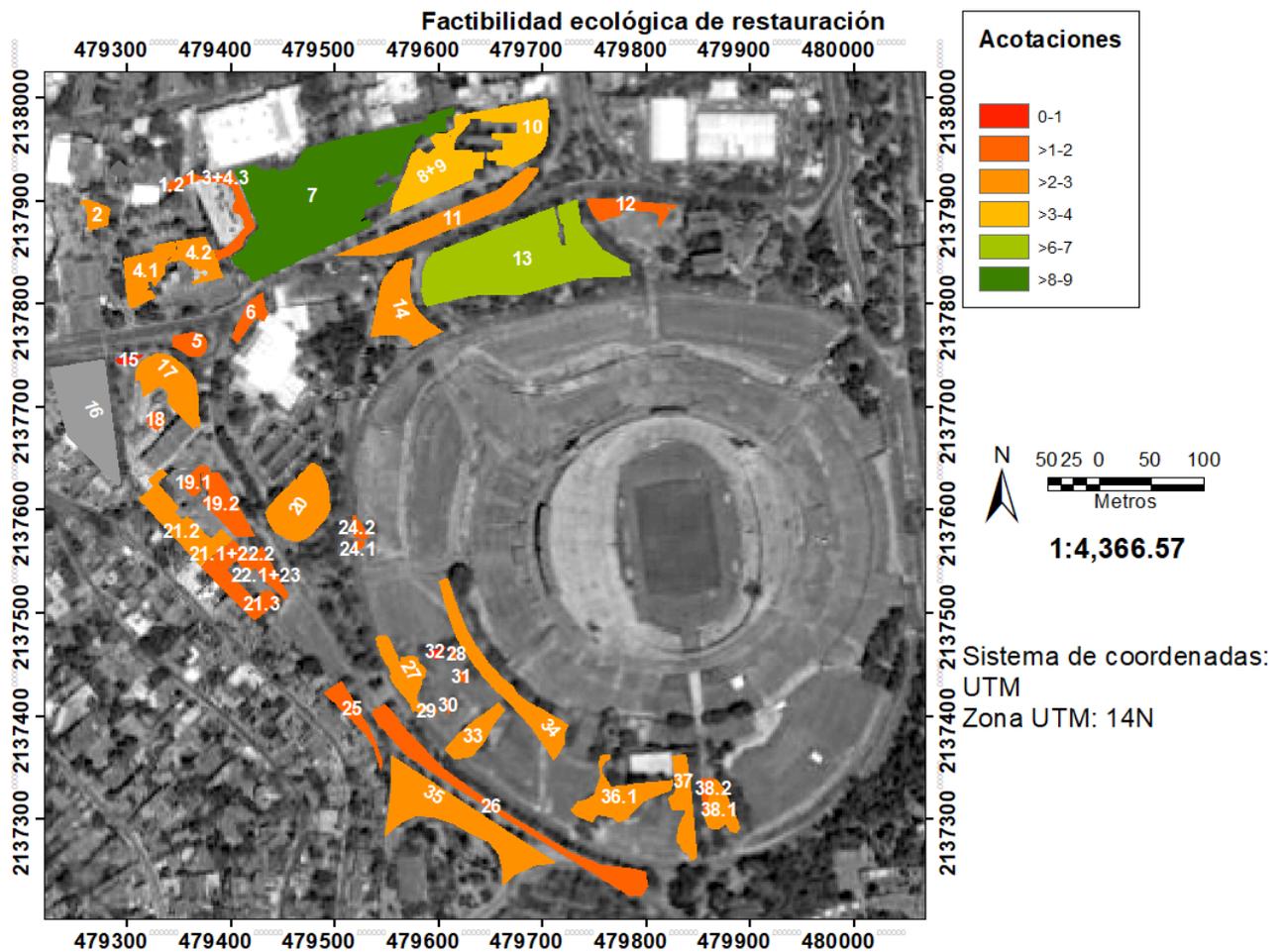


Figura 5.3. Mapa de las calificaciones asignadas a cada una de las unidades de estudio para la factibilidad ecológica de restauración.

A continuación, se abordan los resultados obtenidos para cada criterio de factibilidad ecológica de restauración.

5.2.1.1 Criterio: Fuente local de propágulos de plantas nativas

5.2.1.1.1 Indicador: Número de especies de plantas nativas no arvenses. En la Figura 5.4 se presenta un mapa con las calificaciones de la Tabla 5.3 para este criterio y su indicador, en cual se puede observar que la mayoría (85.36%) tienen valores de calificación para el indicador por debajo de 5, lo que indica que tienen menos de la mitad de las especies que el parche que presenta el valor máximo. En particular, las UE 7 y 13 presentaron las mayores calificaciones para este indicador al tener 38 y 35 especies de plantas nativas no arvenses, respectivamente. Se observó que las UE 10 y 8+9, que se

encuentran próximas a la 7 y 13, también presentaron calificaciones relativamente altas para este indicador. Todas las UE contaron con al menos una especie de planta nativa no arvense.

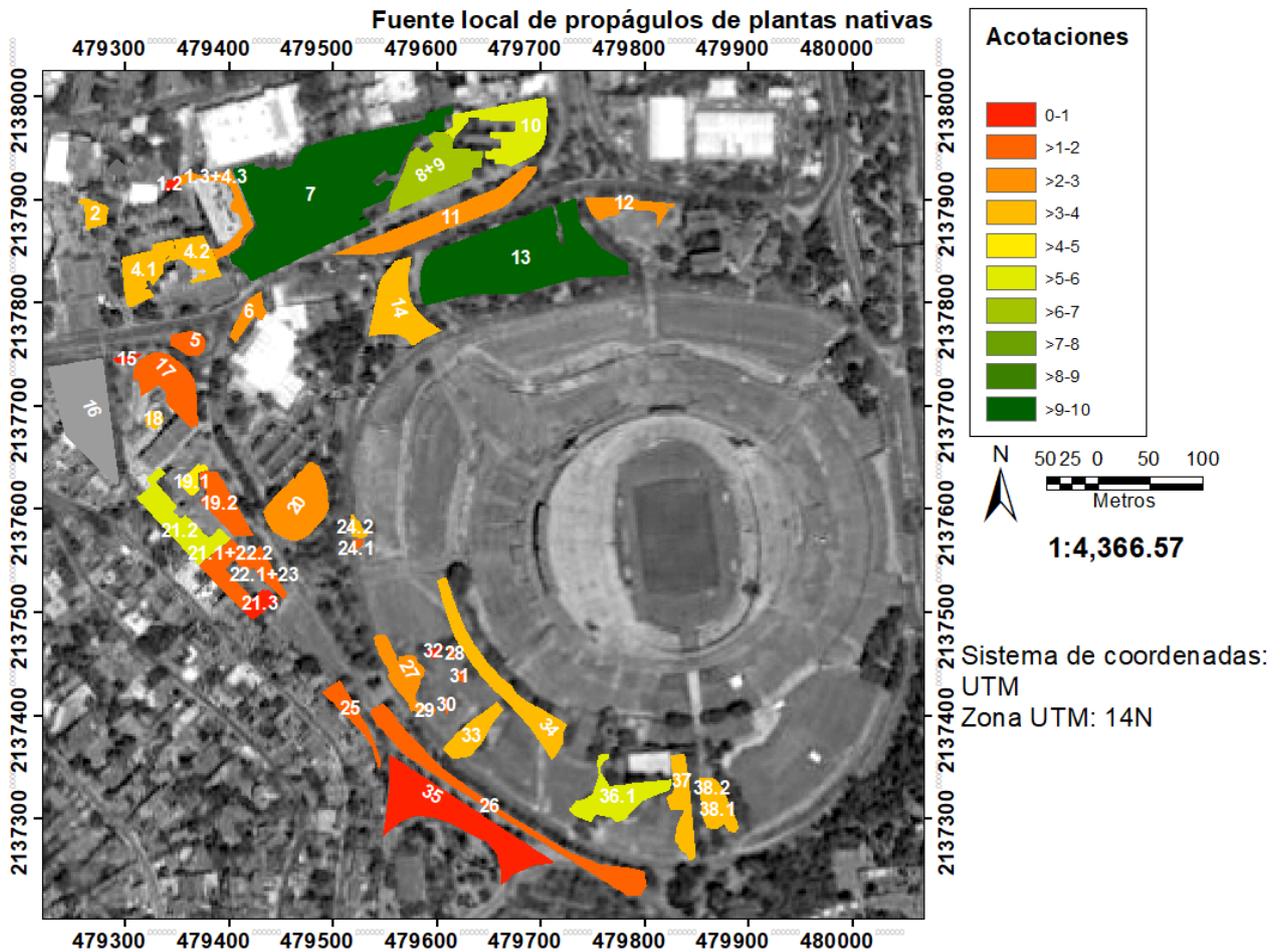
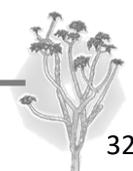


Figura 5.4. Mapa de las calificaciones asignadas al criterio de fuente local de propágulos de plantas nativas y su indicador.

5.2.1.2 Criterio: Competencia con especies de plantas exóticas y arvenses

5.2.1.2.1 Indicador: Cobertura de especies de plantas exóticas y arvenses. En la Figura 5.5 se presenta un mapa con las calificaciones de la Tabla 5.3 para este criterio y su indicador, en la cual se puede observar que la mayor parte de las UE (87.8%) obtuvieron calificaciones por debajo de 5 lo que se traduce en que mostraron una cobertura mayor al 50% de plantas exóticas y arvenses. Por otro lado, varias UE pequeñas (2, 29 y 30) obtuvieron altas calificaciones para este criterio ya que en su escasa área se desarrollan árboles o plantas arbustivas relictuales que, por sus dimensiones, ocupan buena



parte del espacio. Nuevamente, las UE 7 y 13 obtienen valores relativamente altos para este criterio e indicador, aunque casi el 50% de la cobertura vegetal total de esas UE corresponde a plantas exóticas y nativas arvenses, lo que seguramente repercute en los valores que se observaron para la necesidad de restauración.

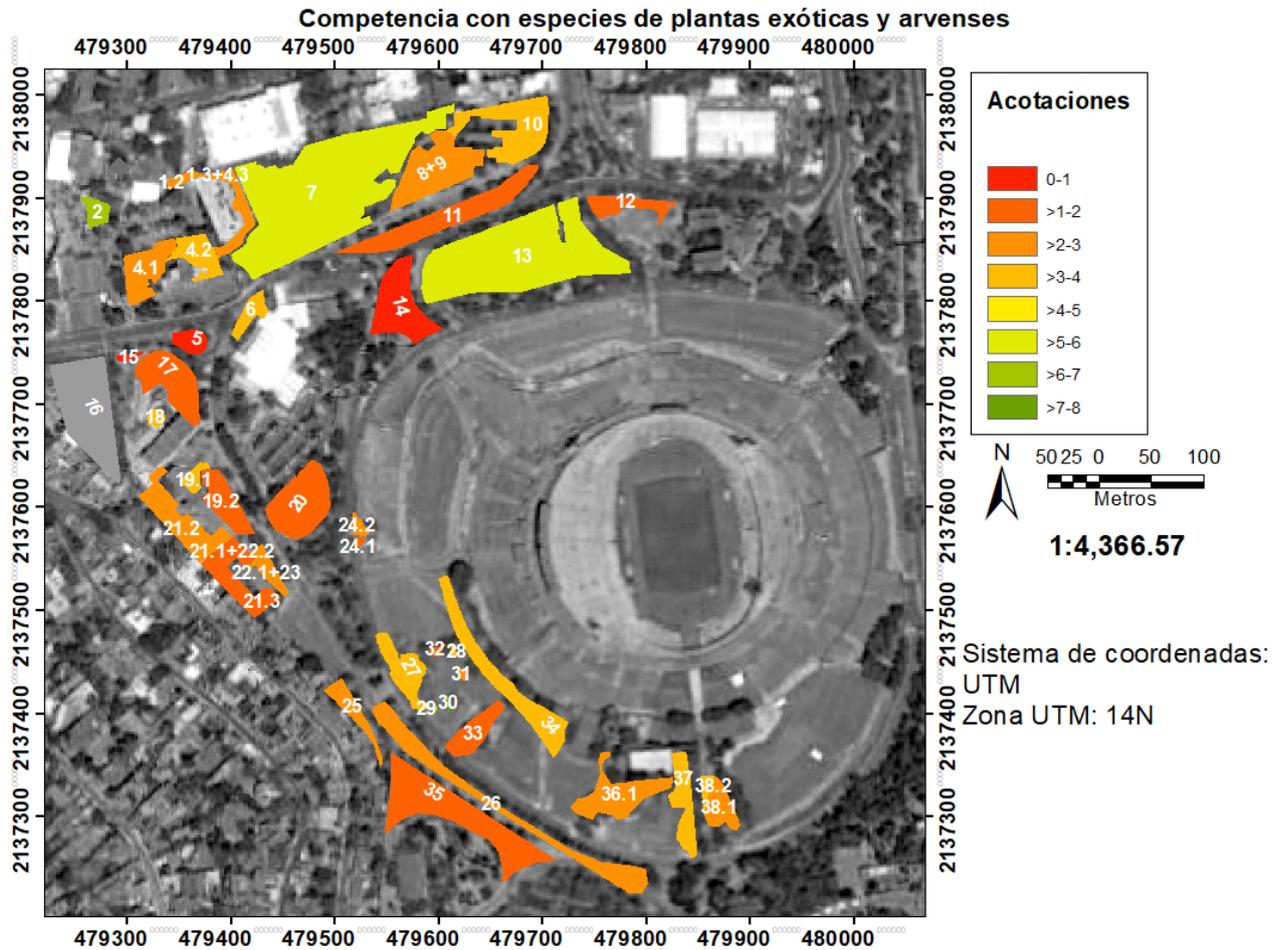


Figura 5.5. Mapa de las calificaciones asignadas al criterio de competencia con especies de plantas exóticas y arvenses y su indicador.

5.2.1.3 Criterio: Grado de conservación de la roca basáltica

5.2.1.3.1 Indicador: Porcentaje del área cubierto con roca basáltica. En la Figura 5.6 se presenta un mapa con las calificaciones de la Tabla 5.3 para este criterio y su indicador. Se observa que la mayor parte de las UE (78.04%) tienen calificaciones menores a 5, lo que se traduce en coberturas de roca basáltica de menos de 50%, por lo que se puede decir que en la mayoría de las zonas se ha perdido

de forma considerable la roca basáltica original dentro de las áreas verdes. Dos UE pequeñas (18 y 24.1) son las que obtuvieron mejores calificaciones, ya que cuentan con un mayor porcentaje de área cubierta por roca basáltica (78%).

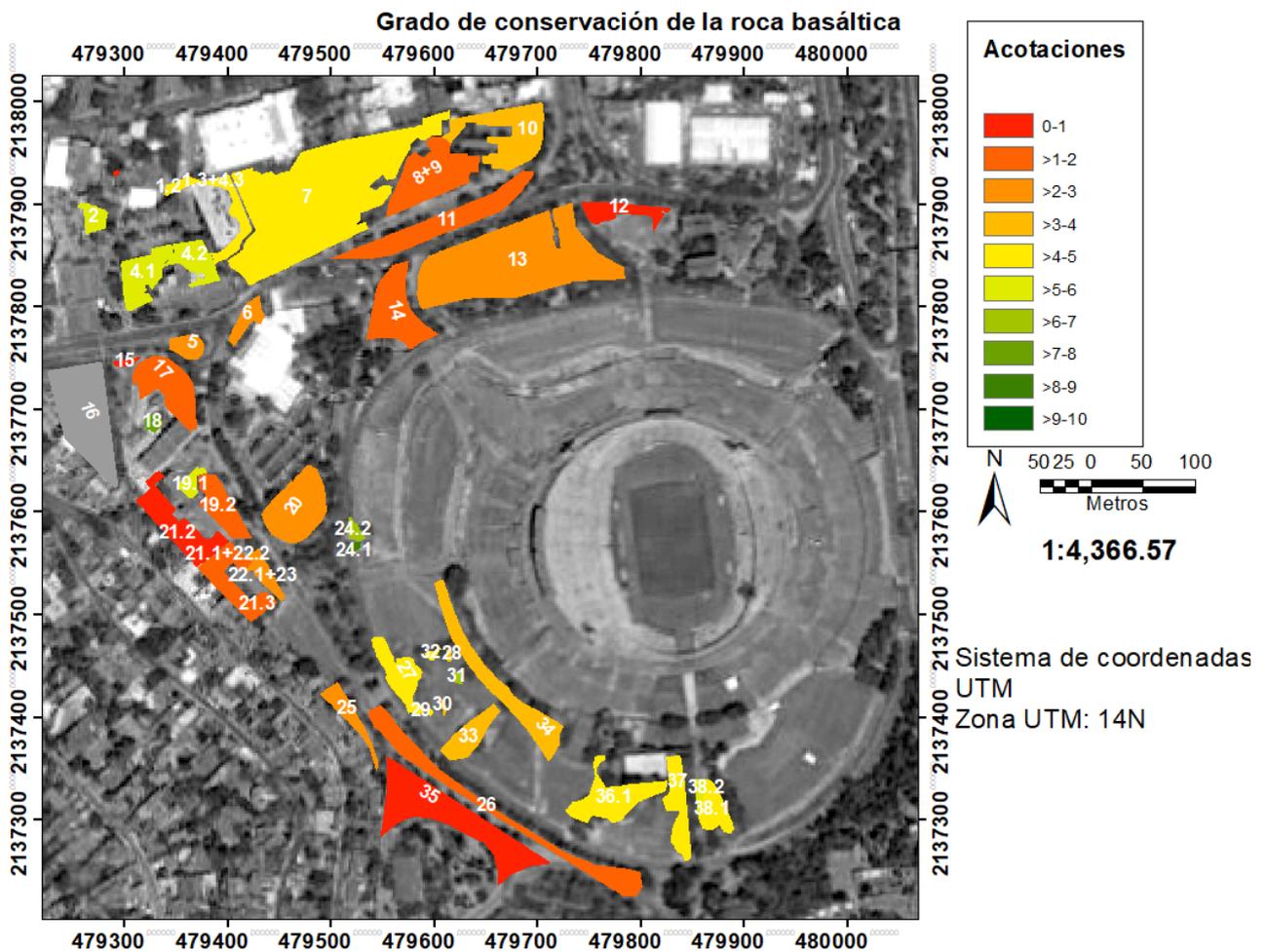


Figura 5.6. Mapa de las calificaciones asignadas al criterio de grado de conservación de la roca basáltica y su indicador.

5.2.1.4 Criterio: Forma del parche

5.2.1.4.1 Indicador: Relación perímetro/área. En la Figura 5.7 se presenta un mapa con las calificaciones de la Tabla 5.3 para este criterio y su indicador. Se observa que la mayoría de las UE (80.95%) obtuvieron calificaciones menores a 5 para el criterio de forma del parche evaluado a través de la relación perímetro/área. Esto se debe a que la mayoría presentan tamaños reducidos con relación a otros parches o muestran formas alargadas. Por otro lado, las UE más grandes y con formas más

compactas (7, 13, 8+9, 16 y 20) obtuvieron calificaciones mayores por lo que podrían presentar menor efecto de borde relacionado con su forma.

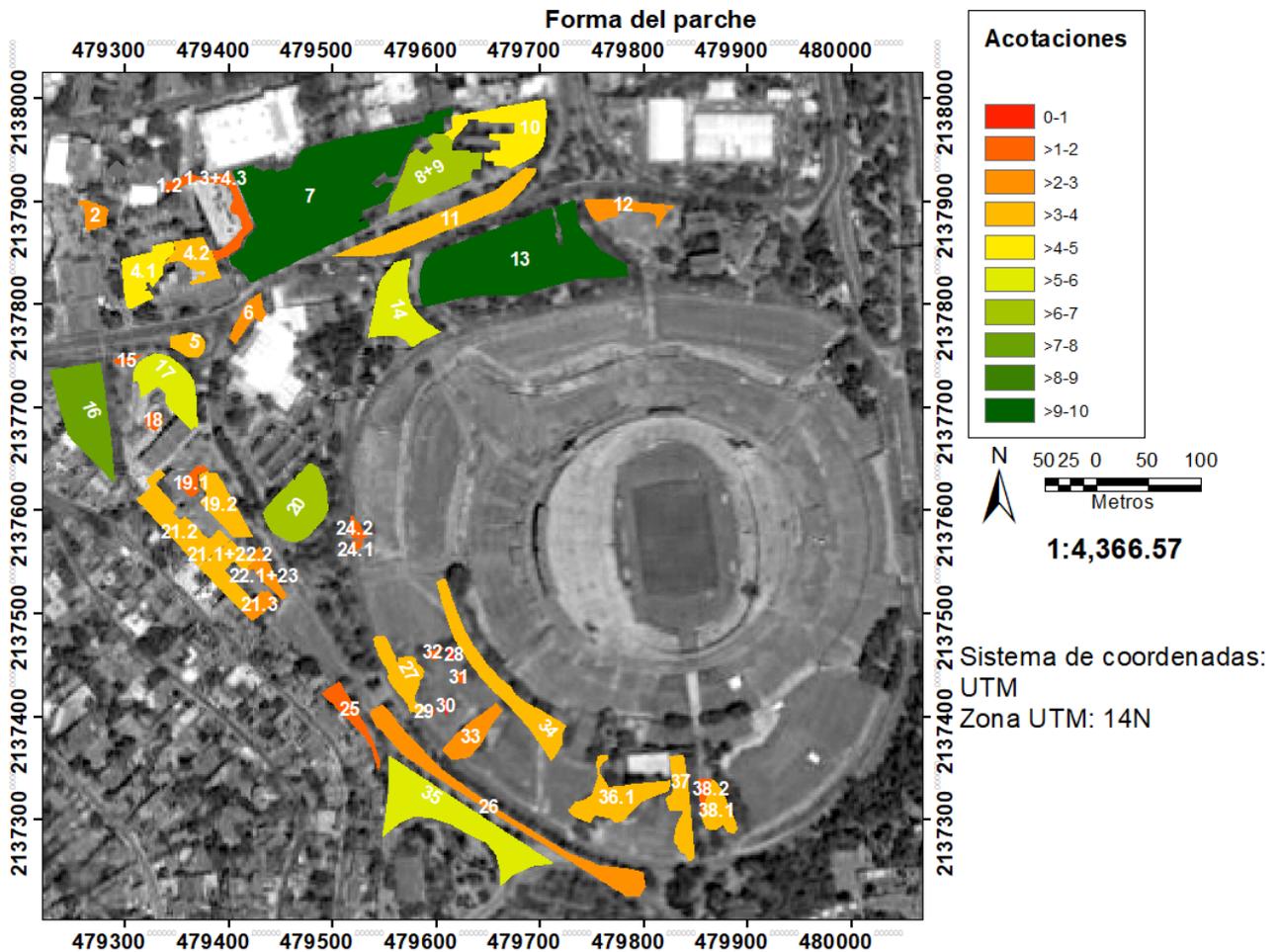


Figura 5.7. Mapa de las calificaciones asignadas al criterio de forma del parche y su indicador.

5.2.1.5 Criterio: *Tamaño del parche*

5.2.1.5.1 Indicador: Área. En la Figura 5.8 se presenta un mapa con las calificaciones de la Tabla 5.3 para este criterio y su indicador. Se observa que las UE más grandes (7 y 13) con más de una hectárea de extensión presentan calificaciones mayores mientras que el resto presentan valores por debajo de 5 al tener áreas al menos un 50% más chicas que la UE 7 que obtuvo la mejor calificación.

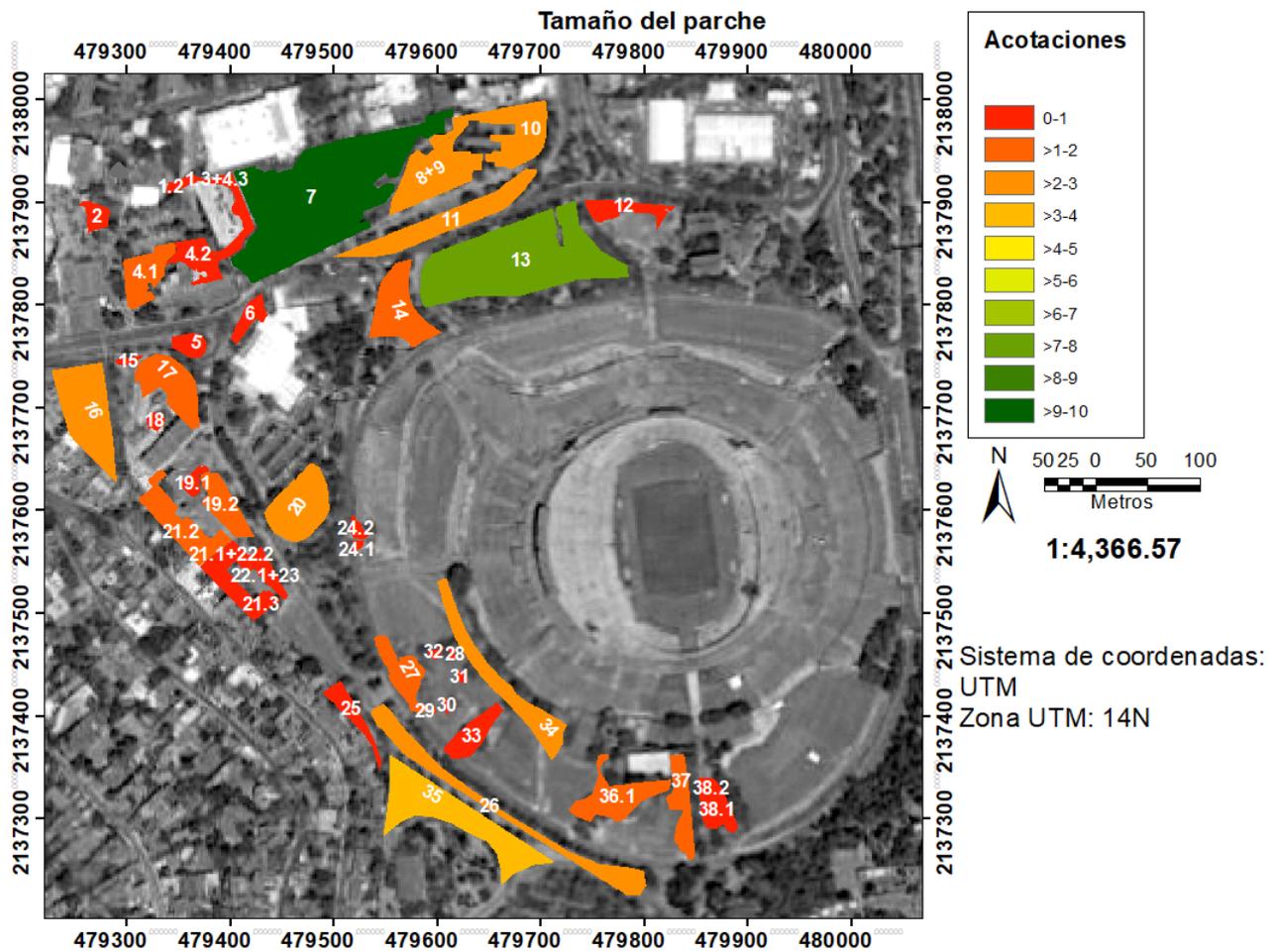


Figura 5.8. Mapa de las calificaciones asignadas al criterio de tamaño del parche y su indicador.

5.2.1.6 Criterio: Aislamiento del parche

5.2.1.6.1 Indicador: Análisis de proximidad en FRAGSTATS. En la Figura 5.9 se presenta un mapa con las calificaciones de la Tabla 5.3 para este criterio y su indicador. Se observa que prácticamente todas las UE (95.35%) presentan valores relativamente bajos de proximidad lo que se refleja en calificaciones por debajo de 3. Esto puede deberse a que las UE vecinas cercanas a la mayoría fueron de tamaño pequeño. Las UE 8+9 y 10 obtuvieron la mejor calificación posiblemente debido a su ubicación al norte del Estadio Olímpico en dónde se encuentra un conglomerado de parches relativamente grandes y cercanos entre sí. Algunos vecinos más cercanos a estos parches son precisamente las UE más grandes.

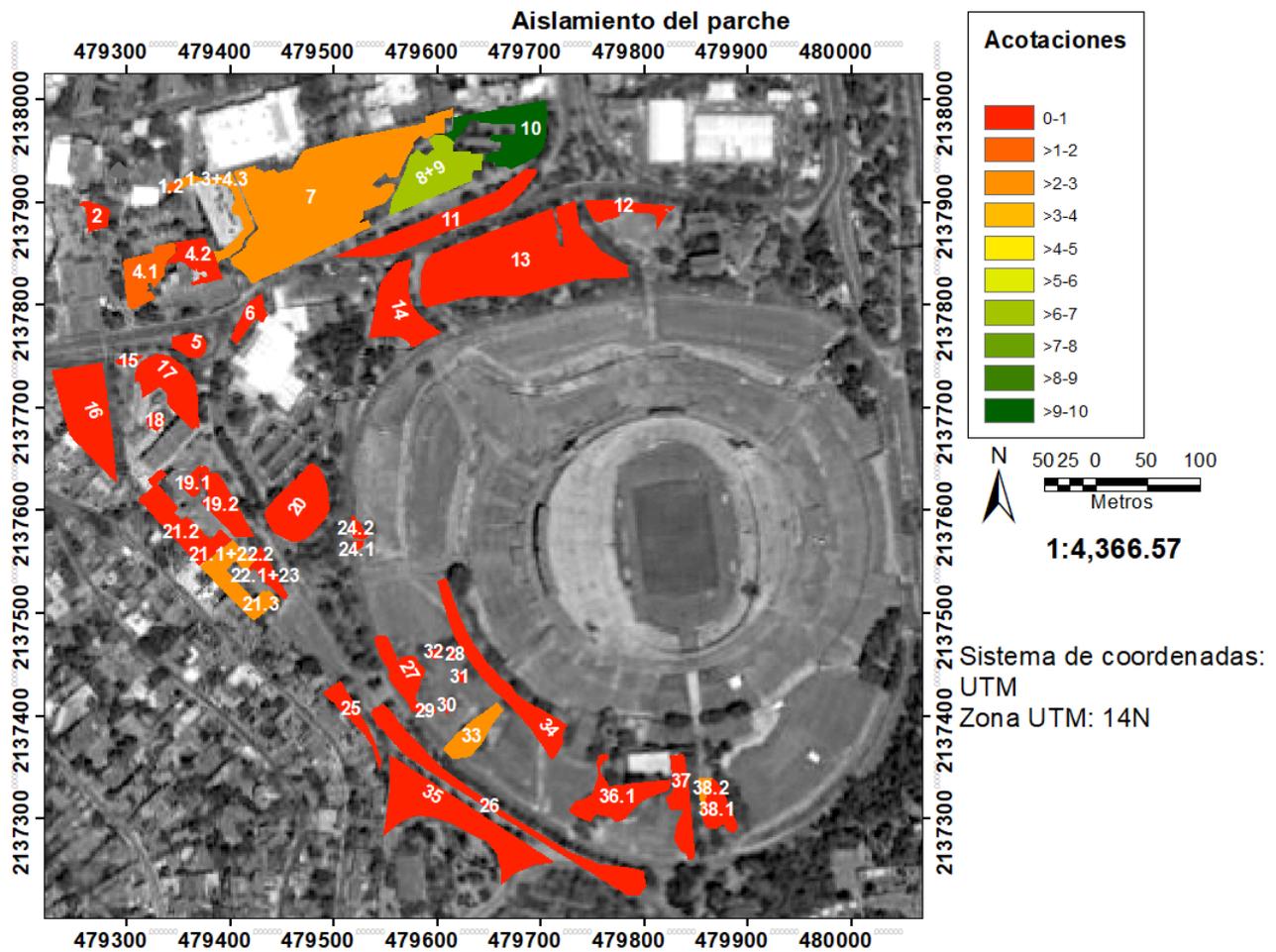


Figura 5.9. Mapa de las calificaciones asignadas al criterio de aislamiento del parche y su indicador.

5.2.2 Factibilidad económica de restauración. La factibilidad económica de restauración corresponde al volumen de árboles exóticos a remover y de roca volcánica a adicionar en sitios donde ésta ha sido cubierta por tierra o ha sido retirada. A mayores volúmenes de árboles a remover y roca a adicionar se esperaría que los costos fueran más elevados. En la Tabla 5.4 se presentan las calificaciones obtenidas por cada UE para estos indicadores económicos de factibilidad de restauración, así como para la factibilidad económica que se calculó a partir de cada uno de estos elementos. A su vez, las calificaciones de factibilidad económica se representan espacialmente en el mapa de la Figura 5.10. En este mapa se observa que las UE más grandes (7 y 13) tienden a presentar menor factibilidad económica de restauración ya que cuentan con áreas extensas donde la roca basáltica pudo ser afectada y cuentan con cantidades importantes de árboles exóticos. Por otro lado, el 54% de los

remanentes evaluados para la factibilidad económica presentaron calificaciones mayores a 9, por lo que llevar a cabo las acciones de restauración de remoción de árboles exóticos y adición de roca basáltica en ellos sería más económico principalmente debido a su reducido tamaño y, por ende, bajo número de árboles exóticos y roca que adicionar. De hecho, la ejecución de las acciones de restauración consideradas en la factibilidad económica de todas estas unidades de estudio con alta calificación podría ser más económico que hacerlo en los remanentes 7 y 13, ya que el volumen de árboles y roca es de 85.62 y 18,069 m³ para los remanentes con alta calificación y de 143 y 47,873 m³ para el 7 y 13.

Tabla 5.4. Valores para indicadores y factibilidad económica de restauración para cada unidad de estudio. Las unidades de estudio se presentan ordenadas de acuerdo con su calificación para la factibilidad económica en orden descendente. UE, unidad de estudio; VAEX, volumen de árboles exóticos a remover en m³; CVAEX, calificación asignada para la cantidad de árboles exóticos a remover; VR, volumen de rocas basálticas a adicionar en m³; CVR, calificación del volumen de roca basáltica a adicionar; FENR, calificación para la factibilidad económica de restauración; NE, no evaluado.

UE	VAEX	CVAEX	VR	CVR	FENR
29	0	10	34.53	9.99	9.99
24.1	0	10	43.01	9.98	9.99
30	0	10	85.71	9.96	9.98
18	0.02	10	134.13	9.94	9.97
1.2	0.38	9.97	178.88	9.93	9.95
19.1	0	10	513.17	9.79	9.89
28	3.98	9.65	95.8	9.96	9.81
15	4.03	9.65	324.07	9.87	9.76
24.2	4.71	9.59	257.91	9.89	9.74
31	6.34	9.45	79.4	9.97	9.71
2	3.93	9.66	687.89	9.71	9.69
6	2.14	9.81	1403.98	9.42	9.61
32	8.57	9.25	147.32	9.94	9.6
22.1+23	2.59	9.77	1508.73	9.37	9.57
1.3+4.3	1.59	9.86	1739.52	9.28	9.57
38.2	8.61	9.25	307.32	9.87	9.56
21.3	7.5	9.35	1182.42	9.51	9.43
5	8.6	9.25	1414.01	9.41	9.33
4.2	9.63	9.16	1700.13	9.29	9.23
37	8.82	9.23	2575.71	8.93	9.08
21.1+22.2	4.18	9.63	3655.46	8.48	9.06
12	9.19	9.2	2944.19	8.78	8.99
25	16.14	8.59	2019.68	9.16	8.88
21.2	0.93	9.92	6274.71	7.39	8.66
19.2	13.88	8.79	3927.76	8.37	8.58
17	5.65	9.51	6428.61	7.33	8.42
4.1	26.04	7.73	2583.93	8.93	8.33
27	30.22	7.36	2586.16	8.93	8.14
38.1	48.97	5.72	1749.48	9.27	7.5
36.1	41.09	6.41	3452.66	8.56	7.49
33	50.86	5.56	2195.37	9.09	7.32
14	27.81	7.57	7267.02	6.98	7.28
20	35.36	6.91	6512.31	7.29	7.1
11	24.72	7.84	8870.47	6.31	7.08
26	44.77	6.09	8858.67	6.32	6.2
35	30.78	7.31	14136.85	4.12	5.72
34	102.96	1.01	5766.74	7.6	4.31
7	28.71	7.49	24059.26	0	3.75
13	114.54	0	23813.99	0.1	0.05
8+9	NE	NE	8089.28	6.64	NE
10	NE	NE	6240.2	7.41	NE
16	NE	NE	NE	NE	NE



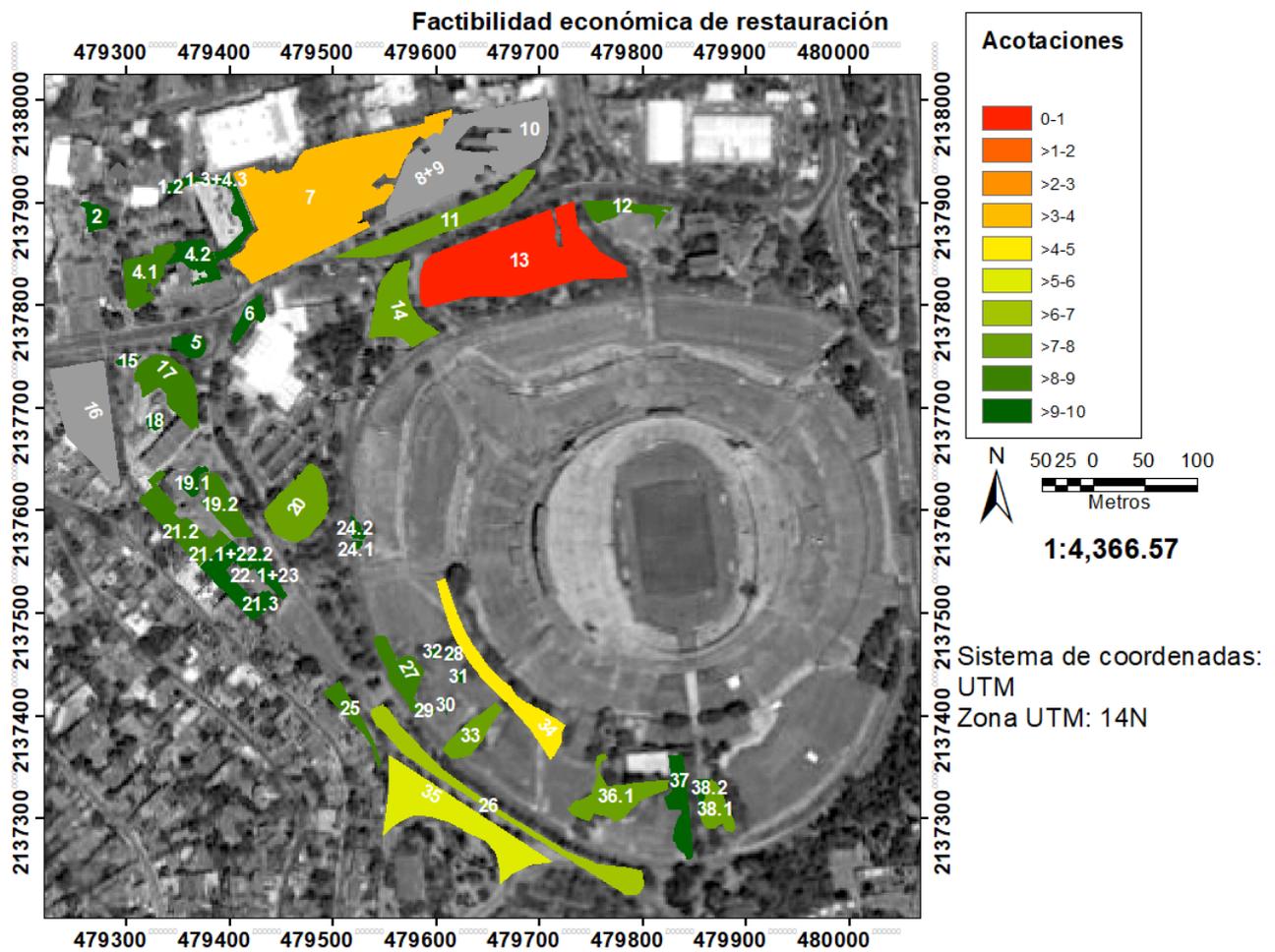


Figura 5.10. Mapa de las calificaciones asignadas a cada una de las unidades de estudio para la factibilidad económica de restauración.

5.2.2.1 Criterio: Costo económico de la restauración

5.2.2.1.1 Indicador: Cantidad de árboles exóticos a remover. En la Figura 5.11 se presenta un mapa con las calificaciones obtenidas por las UE para la cantidad de árboles exóticos a remover. Los remanentes 13 y 34 son los que cuentan con mayor volumen de árboles a remover y, por tanto, menor calificación. Esto se debe a que estos remanentes tienen 72 y 21 pirules (*Schinus molle*), respectivamente, que en conjunto aportan el 86 y 83% del volumen de árboles exóticos en esas UE. Por otro lado, en los remanentes 19.1, 24.1, 29, y 30 no se encontraron árboles exóticos.

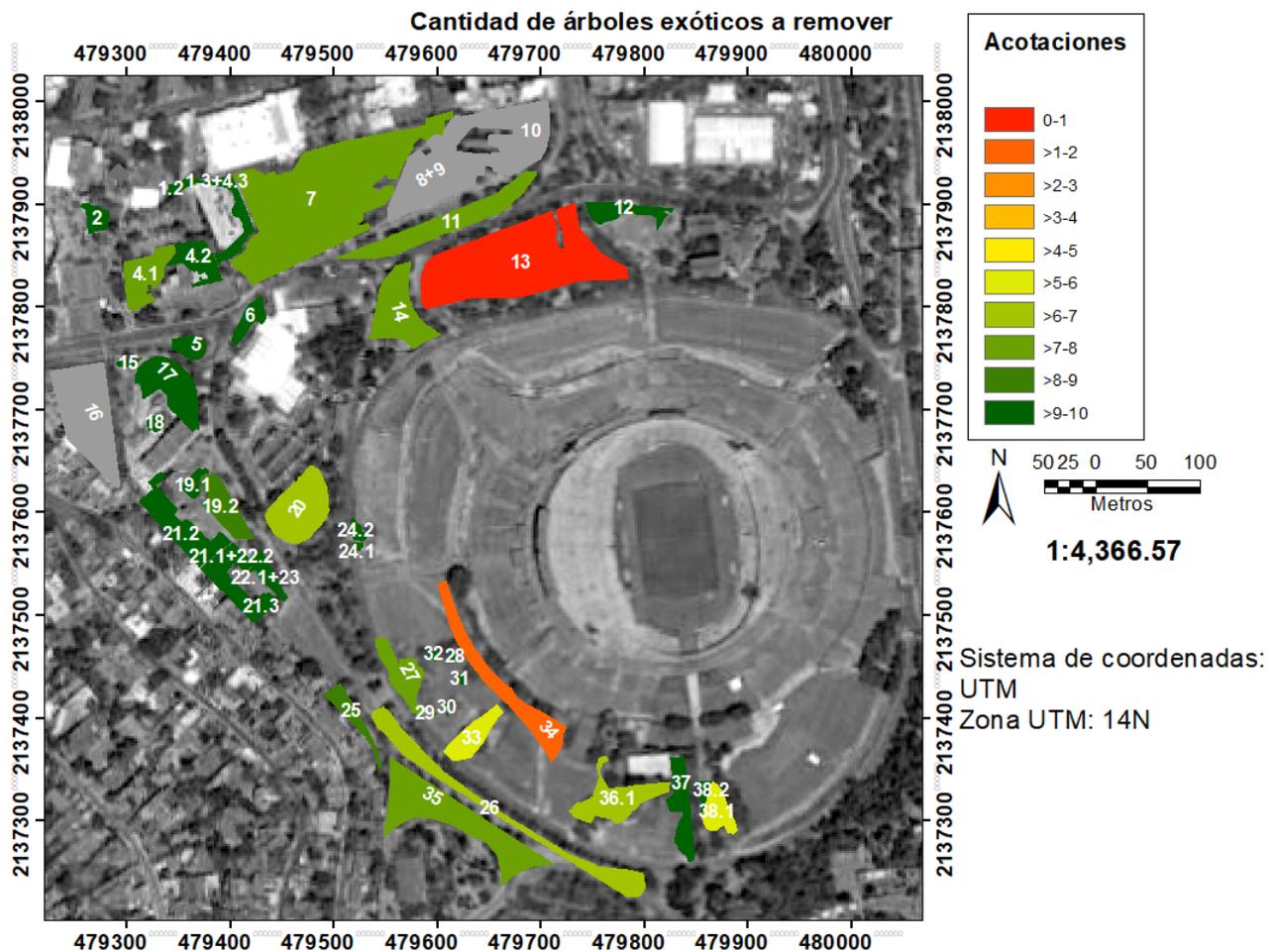


Figura 5.11. Mapa de las calificaciones asignadas a cada una de las unidades de estudio para el indicador de cantidad de árboles exóticos a remover.

5.2.2.1.2 Indicador: Cantidad de roca basáltica a adicionar. En la Figura 5.12 se presenta el mapa con las calificaciones obtenidas para el indicador de cantidad de roca basáltica a adicionar. Se observa que las unidades de estudio 7 y 13 presentan calificaciones mucho más bajas que el resto de las UE lo que implicaría que la cantidad de roca a adicionar sería considerablemente mayor. Por otro lado, muchos remanentes pequeños en el estacionamiento del Estadio Olímpico tienen relativamente mayor cobertura de roca basáltica. De hecho, el sustrato no consolidado de estas zonas corresponde principalmente a materia orgánica de origen vegetal.

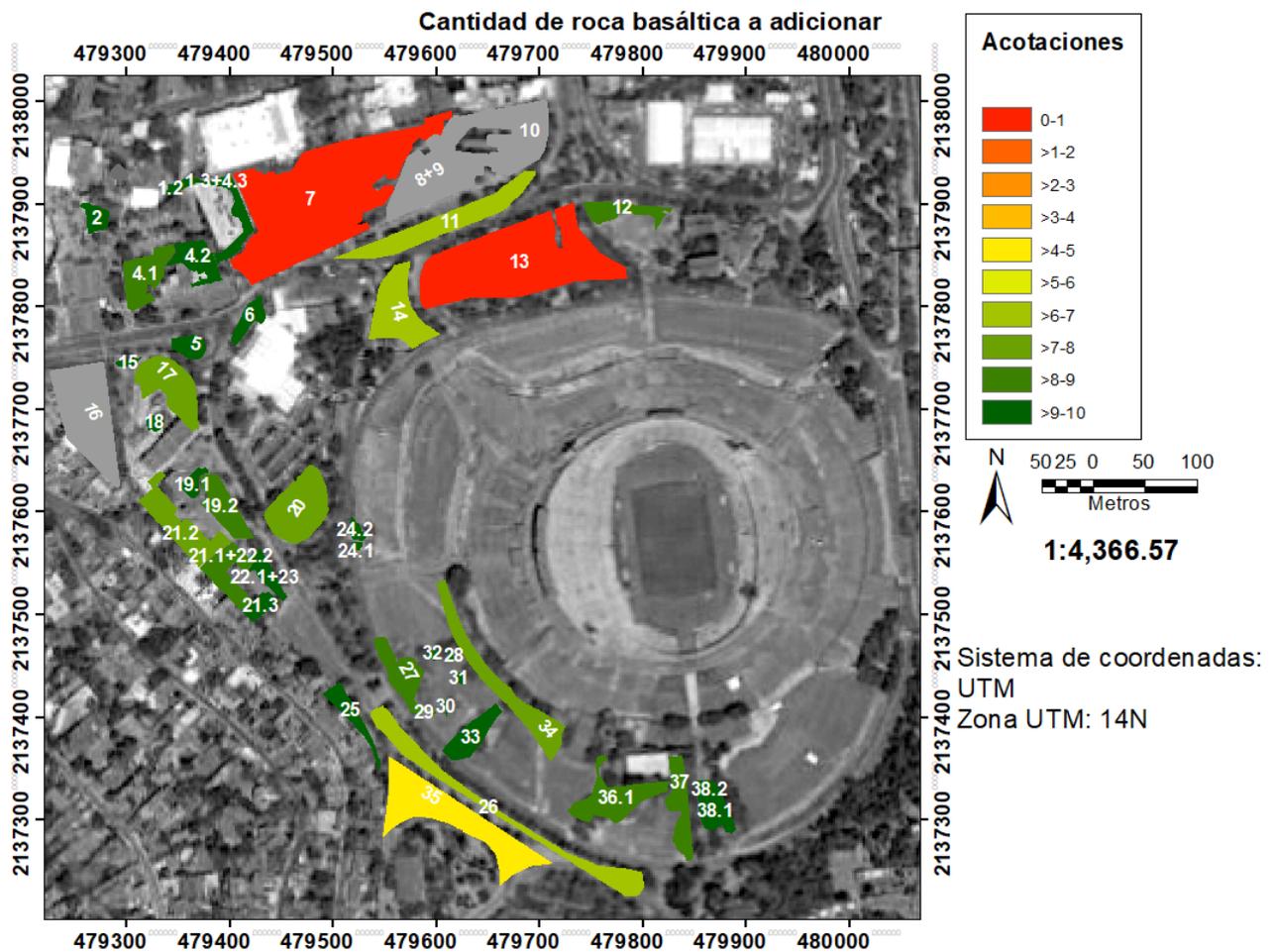


Figura 5.12. Mapa de las calificaciones asignadas a cada una de las unidades de estudio para el indicador de cantidad de roca basáltica a adicionar.

5.2.3 Factibilidad social. En la Tabla 5.5 se muestran las calificaciones asignadas a cada UE para los criterios sociales de factibilidad de restauración, así como el valor para la factibilidad social obtenida a partir de estos elementos del análisis multicriterio. En el mapa de la Figura 5.13 se presenta gráficamente la factibilidad social para las unidades de estudio. Se observa que las calificaciones fueron intermedias para casi todas las unidades de estudio. Resaltan con mejores calificaciones las unidades de estudio que se encuentran en camellones fuera de entidades universitarias y del estacionamiento del Estadio Olímpico.

Tabla 5.5. Calificaciones para los criterios e indicadores sociales de factibilidad de restauración y para la factibilidad social obtenidas por las unidades de estudio. Las unidades de estudio se presentan ordenadas de acuerdo con su calificación para la factibilidad social en orden descendente. UE, unidad de estudio; IPA, índice de perturbación antrópica; IIAN, índice de interacciones antrópicas negativas; AHI, número de asentamientos humanos irregulares; IA, impacto antrópico; V, valoración del ecosistema; D, disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración; NE, no evaluado.

UE	IA	V	D	FSR
14	7.14	7.24	6.11	5.12
20	7.07	7.24	6.11	5.11
15	6.99	7.24	6.11	5.08
5	6.90	7.23	6.11	5.06
26	6.83	7.25	6.11	5.05
25	6.75	7.22	6.11	5.02
35	6.66	7.25	6.11	5.00
11	6.09	7.23	6.11	4.86
22.1+23	7.24	6.75	4.97	4.74
21.1+22.2	6.85	6.73	4.97	4.64
21.3	6.81	6.75	4.97	4.63
13	4.15	7.23	6.42	4.45
18	7.77	5.40	4.54	4.43
38.2	7.67	5.08	4.50	4.31
29	7.47	5.20	4.50	4.29
17	7.10	5.40	4.54	4.26
19.1	7.10	5.36	4.54	4.25
30	7.29	5.21	4.50	4.25
1.3+4.3	7.21	5.41	4.35	4.24
1.2	7.20	5.41	4.35	4.24
37	7.22	5.19	4.50	4.23
7	3.66	7.11	6.11	4.22
21.2	6.93	5.39	4.54	4.22
24.1	7.16	5.07	4.50	4.18
19.2	6.75	5.42	4.54	4.18
28	7.02	5.13	4.50	4.16
2	6.83	5.44	4.35	4.16
31	7.00	5.12	4.50	4.15
32	7.04	5.07	4.50	4.15
12	6.98	5.36	4.18	4.13
4.2	6.77	5.28	4.35	4.10
33	6.76	5.09	4.50	4.09
4.1	6.65	5.29	4.35	4.07
34	6.67	5.11	4.50	4.07
36.1	6.59	5.17	4.50	4.06
27	6.50	5.21	4.50	4.05
38.1	6.42	5.12	4.50	4.01
24.2	6.26	5.21	4.50	3.99
6	6.38	4.95	4.48	3.95
8+9	NE	NE	NE	NE
10	NE	NE	NE	NE
16	NE	NE	NE	NE



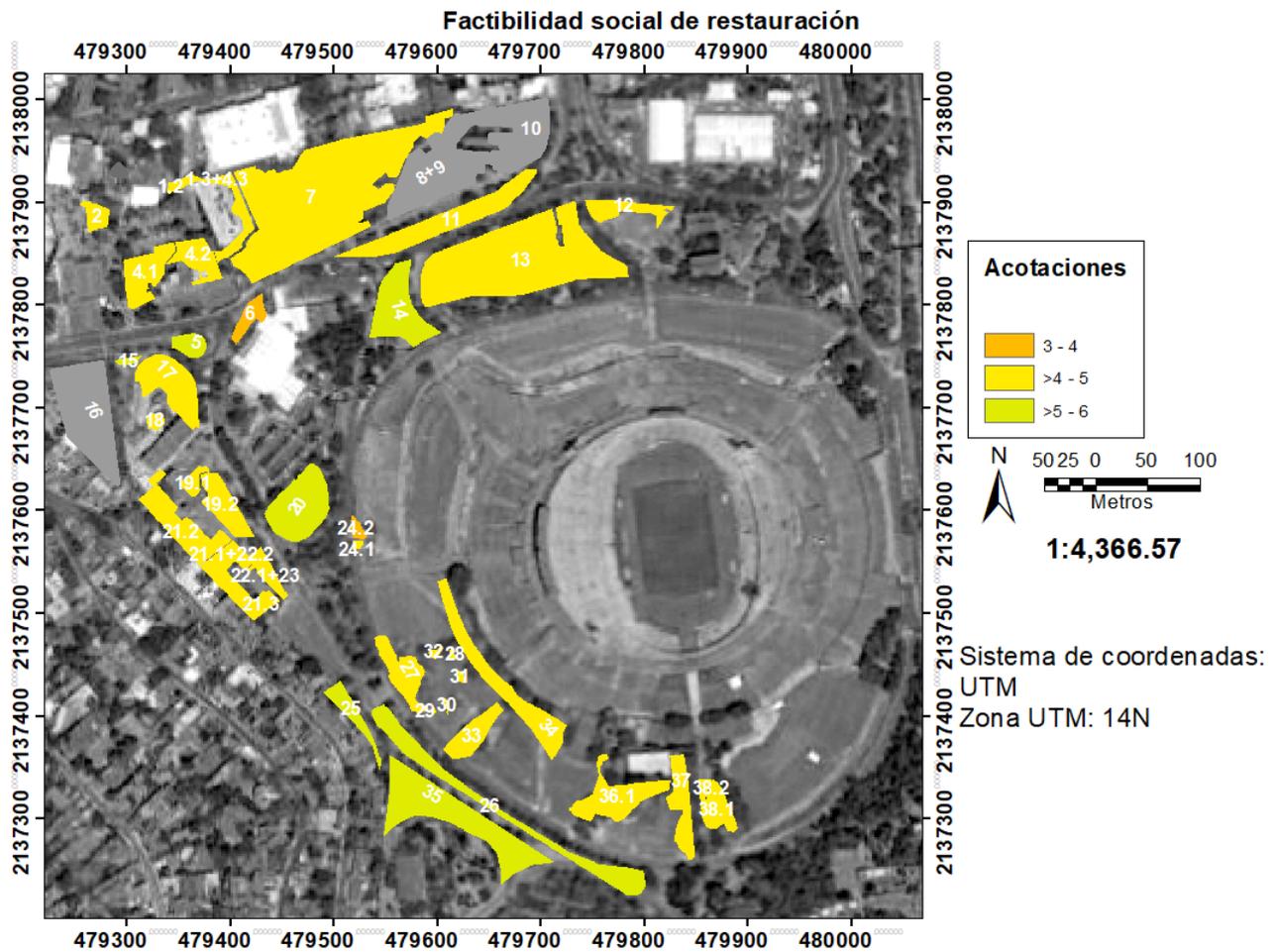


Figura 5.13. Mapa de las calificaciones asignadas a cada una de las unidades de estudio para la factibilidad social de restauración.

5.2.3.1 Criterio: Impacto antrópico. Al conjuntar los valores obtenidos para los indicadores de este criterio, que corresponden al índice de perturbación antrópica (PA), al índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN) y al número de asentamientos humanos irregulares, se obtuvieron las calificaciones para el criterio de impacto antrópico que se muestran en la Tabla 5.6. En la Figura 5.14 se representan espacialmente las calificaciones para el criterio de impacto antrópico de las UE. A partir de estos resultados, se puede decir que cerca del 95% de las UE obtuvieron calificaciones por encima de 6 y menores a 9. Además, las UE 18, 38.2, 29 y 30 obtuvieron mejores calificaciones para el criterio de impacto antrópico, ya que prácticamente no son visitadas por la gente y tienen relativamente baja perturbación antrópica posiblemente debido a su terreno escarpado (UE 18 y 38.2)

y ubicación al lado de una caseta de vigilancia (UE 29 y 30). Por otro lado, los remanentes 7 y 13 obtuvieron las calificaciones más bajas, lo que se debe a que son las únicas unidades de estudio en donde hay asentamientos humanos irregulares.

Tabla 5.6. Calificaciones para cada unidad de estudio del índice de perturbación antrópica (PA), del índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN), y del número de asentamientos humanos irregulares que en conjunto son usados para obtener la calificación del criterio de impacto antrópico (IA). Las calificaciones se muestran en orden descendente. NE, no evaluado.

UE	IPA	IIAN	AHI	IA
18	3.31	10.00	10.00	7.77
38.2	3.33	9.67	10.00	7.67
29	2.42	10.00	10.00	7.47
30	1.88	10.00	10.00	7.29
22.1+23	2.37	9.34	10.00	7.24
37	2.50	9.15	10.00	7.22
1.3+4.3	1.93	9.71	10.00	7.21
1.2	1.59	10.00	10.00	7.20
24.1	1.63	9.86	10.00	7.16
14	1.62	9.80	10.00	7.14
19.1	1.61	9.70	10.00	7.10
17	1.39	9.90	10.00	7.10
20	1.97	9.26	10.00	7.07
32	2.00	9.11	10.00	7.04
28	1.21	9.86	10.00	7.02
31	2.00	8.99	10.00	7.00
15	1.57	9.39	10.00	6.99
12	1.17	9.76	10.00	6.98
21.2	1.55	9.26	10.00	6.93
5	1.87	8.82	10.00	6.90
21.1+22.2	1.86	8.69	10.00	6.85
2	1.41	9.08	10.00	6.83
26	1.89	8.59	10.00	6.83
21.3	1.56	8.89	10.00	6.81
4.2	1.39	8.91	10.00	6.77
33	1.19	9.08	10.00	6.76
25	1.58	8.68	10.00	6.75
19.2	1.38	8.88	10.00	6.75
34	1.38	8.61	10.00	6.67
35	1.40	8.57	10.00	6.66
4.1	1.62	8.33	10.00	6.65
36.1	2.00	7.76	10.00	6.59
27	1.63	7.86	10.00	6.50
38.1	1.66	7.61	10.00	6.42
6	1.58	7.56	10.00	6.38
24.2	1.37	7.40	10.00	6.26
11	1.57	6.69	10.00	6.09
13	1.21	7.92	3.33	4.15
7	1.41	9.56	0.00	3.66
8+9	NE	8.75	10.00	NE
10	NE	9.36	10.00	NE
16	NE	NE	NE	NE



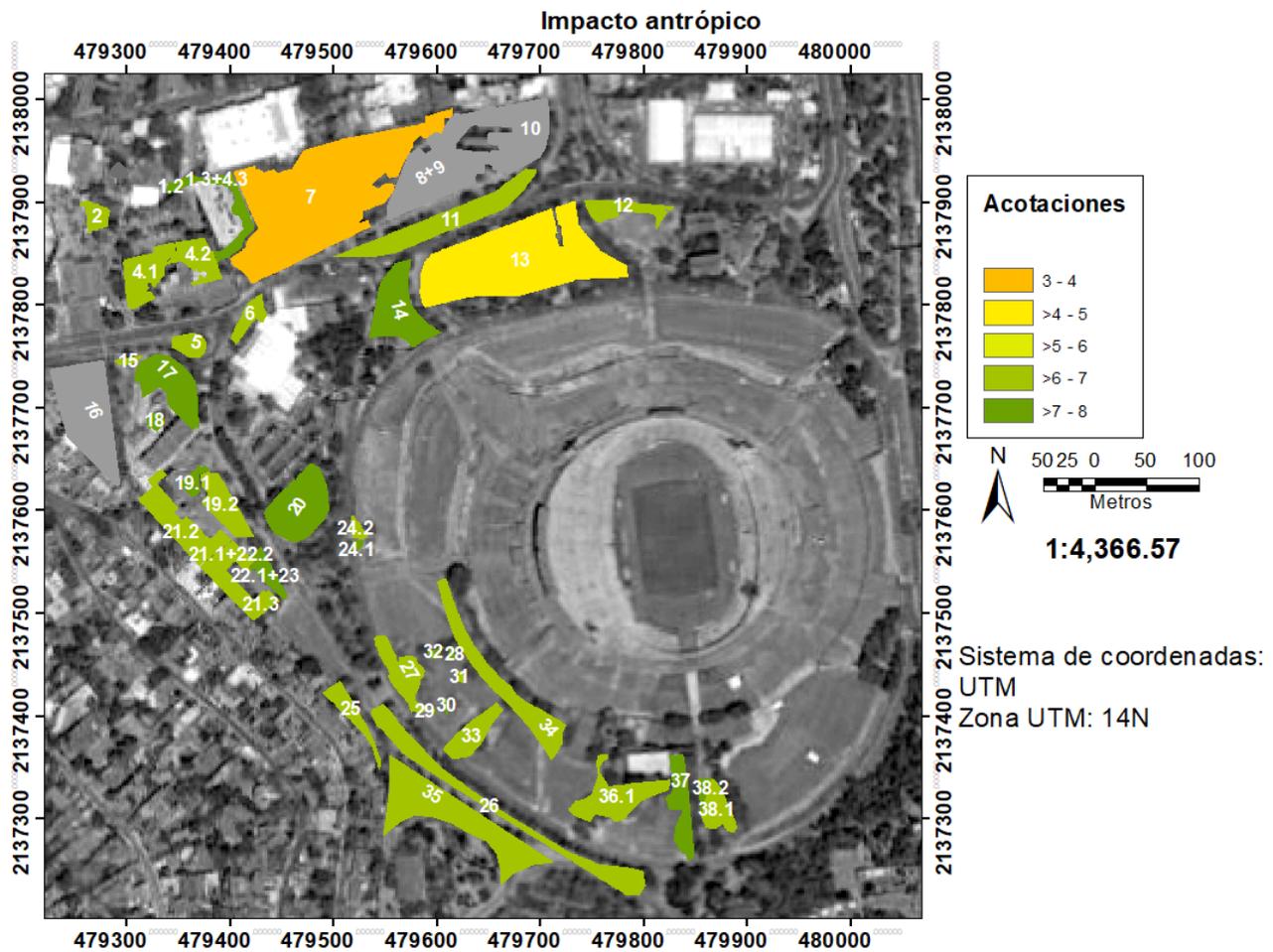


Figura 5.14. Mapa de las calificaciones para el criterio de impacto antrópico de las unidades de estudio.

A continuación, se presentan los detalles de los resultados obtenidos correspondientes a los dos indicadores del criterio de impacto antrópico, los índices PA e IIAN, así como el número de asentamientos humanos irregulares.

5.2.3.1.1 Indicador: índice de perturbación antrópica. En la Figura 5.15 se representan los valores del índice de perturbación antrópica para las unidades de estudio de forma espacial. Se observa que en todas las UE se encontraron evidencias de perturbación antrópica y obtuvieron calificaciones de entre 1 y 4 (Tabla 5.7). Las UE con una menor perturbación antrópica fueron la 18, 37 y 38.2. Estas tienen terrenos escarpados y son poco frecuentadas por la gente como se puede observar en la Figura 5.16. Por otro lado, en la Tabla 5.7 se observa que el mayor número de tipos de evidencias de perturbación antrópica registrado en las UE fue de siete, lo cual ocurre en los remanentes 12, 13, 28 y 33. En

contraste, en las UE 38.2 y 18 solamente se encontró basura inorgánica y cascajo. Las UE 3, 21.1+22.2, 21.2 y 21.3 tuvieron una mayor cobertura porcentual de evidencias de impacto antrópico, mientras que las UE 32, 37 y 38.2 presentaron los valores menores. El tipo de evidencia de perturbación más extendido en todas las unidades de estudio fue la poda (945 m) seguido de la presencia de infraestructura (113 m) y el cascajo (52 m), mientras que la basura inorgánica fue el tipo de evidencia que se encontró en el mayor número de UE (95%), seguido de la poda (87.5%) y el cascajo (82.5%).

Tabla 5.7. Datos de evidencias de perturbación antrópica. Se presenta el porcentaje de cobertura de los diferentes tipos de evidencias de impacto antrópico que se encontraron en cada unidad de estudio (UE), el número de tipos de evidencias en cada UE (NTE), la cobertura porcentual total de todos los tipos de evidencias (%Total), el total de metros de línea de interceptación impactados en todas UE por cada tipo de evidencia, el porcentaje de UE impactadas por cada tipo de impacto, y los valores correspondientes al índice de perturbación antrópica (IPA) que se ordenan de forma descendente. Los diferentes tipos de evidencias se representan con números de la siguiente manera: 1, basura inorgánica; 2, poda; 3, cascajo; 4, papel; 5, infraestructura; 6, basura orgánica; 7, cigarro; 8, excretas de caballo; 9, senderos antropogénicos; 10, excretas de perro; 11, residuos sanitarios; 12, grafiti; 13; obra de construcción en proceso. NE, no evaluado.

UE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	NTE	%Total	IPA
38.2	0.311	0	0.036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.35	3.33
18	0.031	0	0.797	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.83	3.31
37	0.117	0	0	0	0.026	0.071	0	0	0	0	0	0	0	3	0.21	2.50
29	0.043	3.226	0	0	0	0	0.016	0	0	0	0	0	0	3	3.28	2.42
22.1+23	0.078	5.147	0	0.009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5.23	2.37
32	0.127	0.041	0	0.015	0	0	0.009	0	0	0	0	0	0	4	0.19	2.00
31	0.149	0.117	0.045	0	0	0	0	0.065	0	0	0	0	0	4	0.38	2.00
36.1	0.210	0	0.167	0	0	0.007	0	0	0	0	0.025	0	0	4	0.41	2.00
20	0.023	1.638	0.257	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1.92	1.97
1.3+4.3	0.007	2.626	0.866	0	0	0.373	0	0	0	0	0	0	0	4	3.87	1.93
26	0	2.168	0.096	0.021	3.522	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5.81	1.89
30	0.103	6.200	0.076	0	0	0	0.011	0	0	0	0	0	0	4	6.39	1.88
5	0.016	6.343	0	0.027	0.257	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6.64	1.87
21.1+22.2	0.019	4.049	0.149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.146	4	7.36	1.86
38.1	0.309	0.318	0	0	0.061	0.020	0.004	0	0	0	0	0	0	5	0.71	1.66
27	0.099	2.295	0.143	0.017	0	0	0	0.018	0	0	0	0	0	5	2.57	1.63
24.1	0.054	2.459	0.059	0.066	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0	5	2.64	1.63
4.1	0.038	2.059	0.126	0	0.195	0.400	0	0	0	0	0	0	0	5	2.82	1.62
14	0.043	2.571	0.269	0	0.295	0.075	0	0	0	0	0	0	0	5	3.25	1.62
19.1	0.044	3.197	0.024	0.024	0	0.065	0	0	0	0	0	0	0	5	3.35	1.61
1.2	0.186	0.933	2.269	0	0	1.664	0.005	0	0	0	0	0	0	5	5.06	1.59
25	0.007	4.131	0.201	0.036	0.762	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5.14	1.58
6	0.005	4.874	0.216	0	0.190	0.136	0	0	0	0	0	0	0	5	5.42	1.58
15	0.048	3.736	0.790	0	1.345	0	0.021	0	0	0	0	0	0	5	5.94	1.57
11	0.011	5.967	0.012	0	0	0	0.005	0	0	0	0.006	0	0	5	6.00	1.57
21.3	0.038	6.703	0.011	0	0.103	0	0.001	0	0	0	0	0	0	5	6.86	1.56
21.2	0.045	6.310	0.223	0.004	0	0.872	0	0	0	0	0	0	0	5	7.45	1.55
7	0.257	0.900	0.089	0	0	0.206	0	0	0.284	0	0	0.006	0	6	1.74	1.41
2	0.057	1.193	0.287	0	0.217	0.026	0.002	0	0	0	0	0	0	6	1.78	1.41
35	0.019	1.306	0.097	0.004	0.432	0	0.002	0	0	0	0	0	0	6	1.86	1.40
17	0.086	1.877	0.120	0.008	0.153	0.330	0	0	0	0	0	0	0	6	2.57	1.39
4.2	0.013	1.700	0.273	0.004	0.515	0.126	0	0	0	0	0	0	0	6	2.63	1.39
34	0.089	0.985	0.014	0.003	1.334	0.861	0	0	0	0	0	0	0	6	3.29	1.38
19.2	0.071	2.957	0.382	0.041	0.254	0	0.019	0	0	0	0	0	0	6	3.72	1.38
24.2	0.100	4.006	0.231	0.045	0	0	0.009	0.009	0	0	0	0	0	6	4.40	1.37
13	0.404	2.263	0.320	0.010	0.241	0.073	0	0	0.221	0	0	0	0	7	3.53	1.21
28	0.192	1.789	0.704	0.053	0	0.457	0.003	0.408	0	0	0	0	0	7	3.61	1.21
33	0.040	4.517	0.220	0.006	0	0	0.004	0.003	0	0.010	0	0	0	7	4.80	1.19
12	0.027	2.534	0.596	0.054	3.124	0.012	0	0	0	0.008	0	0	0	7	6.36	1.17
8+9	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	0	NE	NE
10	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	0	NE	NE
16	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	0	NE	NE
Metros impactados	45.52	945.36	84.66	3.31	112.58	52.35	0.61	1.9	18.73	0.17	0.31	0.2	31			
% de UE impactadas	95	87.5	82.5	50	47.5	45	37.5	12.5	5	5	5	2.5	2.5			



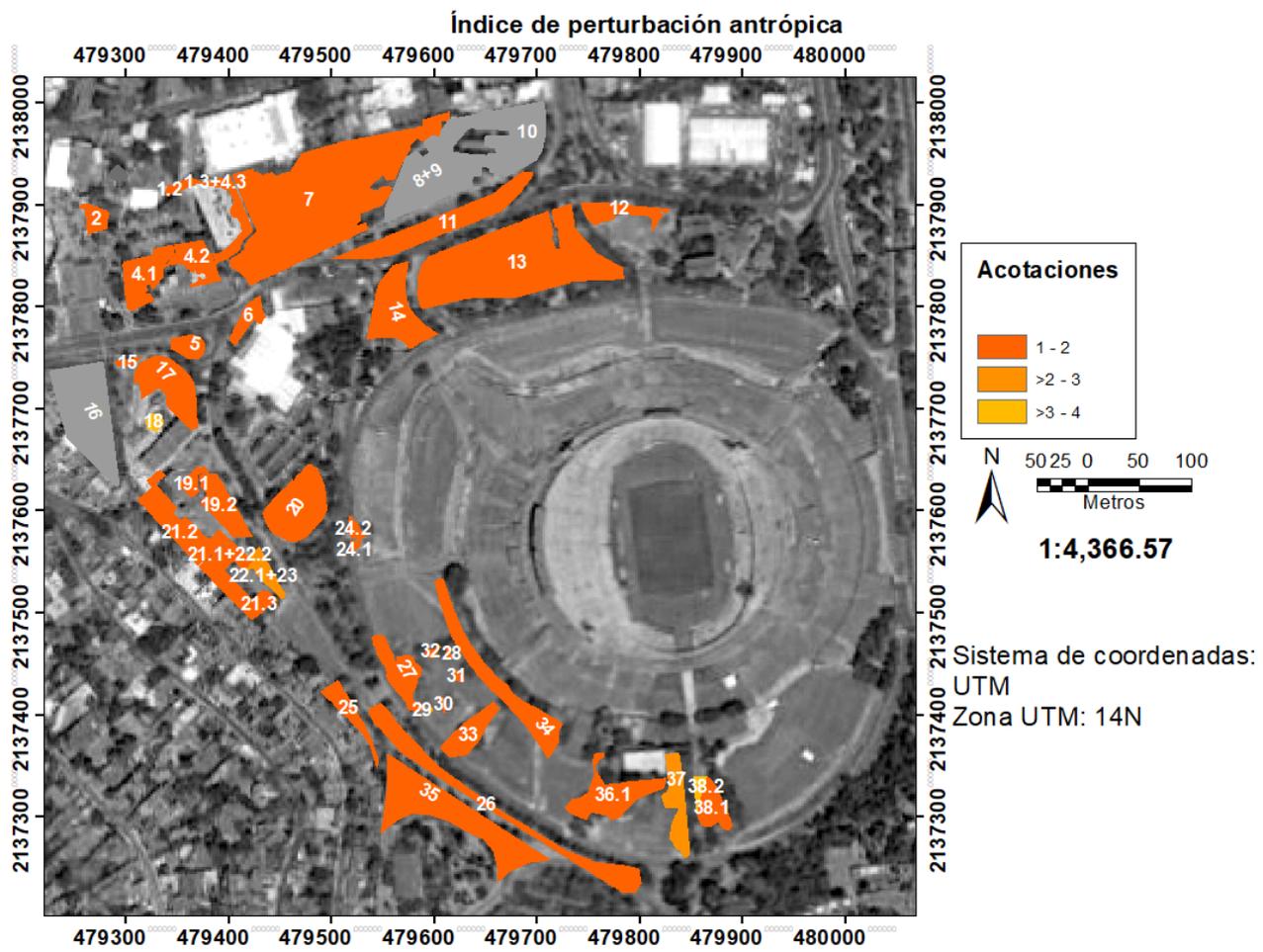
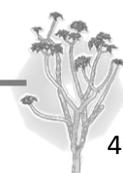


Figura 5.15. Mapa de los valores para el índice de perturbación antrópica asignados a cada una de las unidades de estudio.

5.2.3.1.2 Indicador: índice de interacciones antrópicas negativas. En la Tabla 5.8 se presentan la frecuencia de observación de las interacciones antrópicas negativas que se registraron en cada unidad de estudio para los muestreos rutinarios y para los realizados durante tres partidos de fútbol de los Pumas. También se muestra el valor del índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN) calculado para cada unidad de estudio y el número de puntos de la calificación que cada tipo de muestreo (rutinario y en partidos) aportó al IIAN, considerando que a ambos se dio el mismo peso. En la Figura 5.16 se representan espacialmente los valores obtenidos para el IIAN que muestran los sitios particulares en que es más frecuente encontrar actividad antrópica, los cuales se encuentran repartidos en distintas zonas alrededor del Estadio. En los remanentes 1.2, 17, 18, 29 y 30 no se

Tabla 5.8. Frecuencia de observación de las interacciones antrópicas negativas que se registraron en cada unidad de estudio para los muestreos rutinarios y para los realizados durante tres partidos de los Pumas, así como el valor del índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN) calculado para cada unidad de estudio. En las últimas dos filas se presentan las frecuencias totales y el número de UE afectadas para cada tipo de interacción antrópica negativa. UE, unidades de estudio; TM, tipo de muestreo; R, muestreo rutinario; P, muestreo en partidos de fútbol; Pi, pisoteo; Arh, alteración del régimen hídrico; Oc, obras de construcción; Deh, deposición de excretas humanas; Po, poda; Rmo, remoción de materia orgánica; Dri, depósito de residuos inorgánicos; Dsr, daño a roca basáltica; Cq, contaminación química; PC, puntos de calificación aportados por cada tipo de muestreo al IIAN; NE, no evaluado; ND, datos evaluados pero no disponibles para su publicación.

UE	TM	Pi	Arh	Oc	Deh	Po	Rmo	Dri	Dsr	Cq	PC	IIAN
1.2	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
18	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
29	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
30	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	10.00
17	R	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4.90	9.90
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.90
28	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.86
	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.86	9.86
24.1	R	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.99	9.86
	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.86	9.86
14	R	11	0	0	0	0	0	0	0	0	4.94	9.80
	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.86	9.80
12	R	3	0	0	0	2	0	0	0	0	4.76	9.76
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.76
1.3+4.3	R	3	1	0	0	2	0	0	0	0	4.71	9.71
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.71
19.1	R	9	0	0	0	1	0	0	0	0	4.84	9.70
	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.86	9.70
38.2	R	13	0	0	0	1	1	0	0	0	4.67	9.67
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.67
7	R	9	0	0	0	1	1	0	0	0	4.70	9.56
	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.86	9.56
15	R	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4.95	9.39
	P	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4.44	9.39
10	R	7	10	0	0	0	1	0	0	0	4.36	9.36
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.36
22.1+23	R	15	4	7	0	0	0	0	3	0	4.34	9.34
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.34
20	R	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4.88	9.26
	P	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4.38	9.26
21.2	R	4	1	1	0	0	0	1	0	1	4.26	9.26
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.26
37	R	2	0	0	0	1	1	0	0	0	4.74	9.15
	P	2	0	0	1	0	0	0	0	0	4.41	9.15
32	R	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4.98	9.11
	P	4	0	0	1	0	0	0	0	0	4.13	9.11
2	R	8	2	0	0	2	4	0	0	0	4.08	9.08
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	9.08
33	R	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4.98	9.08
	P	2	0	0	2	0	0	0	0	0	4.10	9.08
31	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	8.99
	P	2	0	0	1	0	0	1	0	0	3.99	8.99
4.2	R	54	3	0	0	2	1	0	0	0	4.19	8.91
	P	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4.72	8.91
21.3	R	18	6	0	0	0	0	0	0	0	4.62	8.89
	P	3	0	0	1	0	0	0	0	0	4.27	8.89
19.2	R	96	0	0	0	3	0	1	0	0	4.02	8.88
	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.86	8.88
5	R	13	4	0	0	2	0	0	0	0	4.52	8.82
	P	5	0	0	0	0	0	0	0	0	4.31	8.82
8+9	R	19	12	1	0	0	0	0	0	1	3.75	8.75
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	8.75
21.1+22.2	R	26	1	22	0	0	2	0	4	0	3.69	8.69
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	8.69
25	R	5	0	0	1	1	1	0	0	0	4.44	8.68
	P	1	0	0	2	0	0	0	0	0	4.24	8.68
34	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	8.61
	P	1	0	0	0	0	0	3	0	0	3.61	8.61
26	R	27	0	0	0	0	0	0	0	0	4.84	8.59
	P	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3.75	8.59
35	R	31	0	0	0	0	0	0	0	0	4.82	8.57
	P	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3.75	8.57
4.1	R	17	7	0	0	5	4	0	0	0	3.47	8.33
	P	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.86	8.33
13	R	47	0	0	1	1	0	0	0	0	4.34	7.92
	P	8	0	0	1	0	0	0	0	0	3.58	7.92
27	R	10	0	0	1	0	0	0	0	0	4.66	7.86
	P	4	0	0	4	0	0	0	0	0	3.19	7.86
36.1	R	9	0	0	2	0	0	0	0	0	4.39	7.76
	P	5	0	0	3	0	0	0	0	0	3.37	7.76
38.1	R	63	0	0	0	1	1	0	0	0	4.39	7.61
	P	3	0	0	3	0	0	1	0	0	3.23	7.61
6	R	26	2	22	0	1	3	6	8	0	2.56	7.56
	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.00	7.56
24.2	R	5	0	0	0	0	0	0	0	0	4.97	7.40
	P	5	0	0	2	0	1	0	0	0	2.43	7.40
11	R	30	6	0	1	2	0	0	0	0	4.05	6.69
	P	8	0	0	0	0	0	3	0	0	2.64	6.69
16	R	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	P	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
No. de UE afectadas		37	15	5	13	17	12	7	3	2		
Frecuencia total		675	62	53	29	29	21	16	15	2		



observó actividad humana. La interacción antrópica que se registró con más frecuencia fue el pisoteo, seguida de la alteración de régimen hídrico por eventos de riego artificial y la realización de obras de construcción (ver tabla 5.8). Las interacciones antrópicas que afectaron más unidades de estudio fueron el pisoteo, la poda, la alteración del régimen hídrico y la deposición de excretas humanas. Por otro lado, durante los muestreos rutinarios las interacciones antrópicas negativas se concentraron principalmente en UE dentro de entidades universitarias, como la 6 y 21.1+ 22.2, en donde se registraron actividades de construcción por varios días y las 4.1, 19.2 y 8+9 en donde hay espacio para actividades al aire libre para la comunidad universitaria y hay manejo de jardinería frecuente (Fig. 5.17). Para los partidos de futbol, la actividad se concentró en los remanentes cercanos al Estadio Olímpico y en remanentes en zonas de tránsito fuera de entidades universitarias (Fig. 5.18).

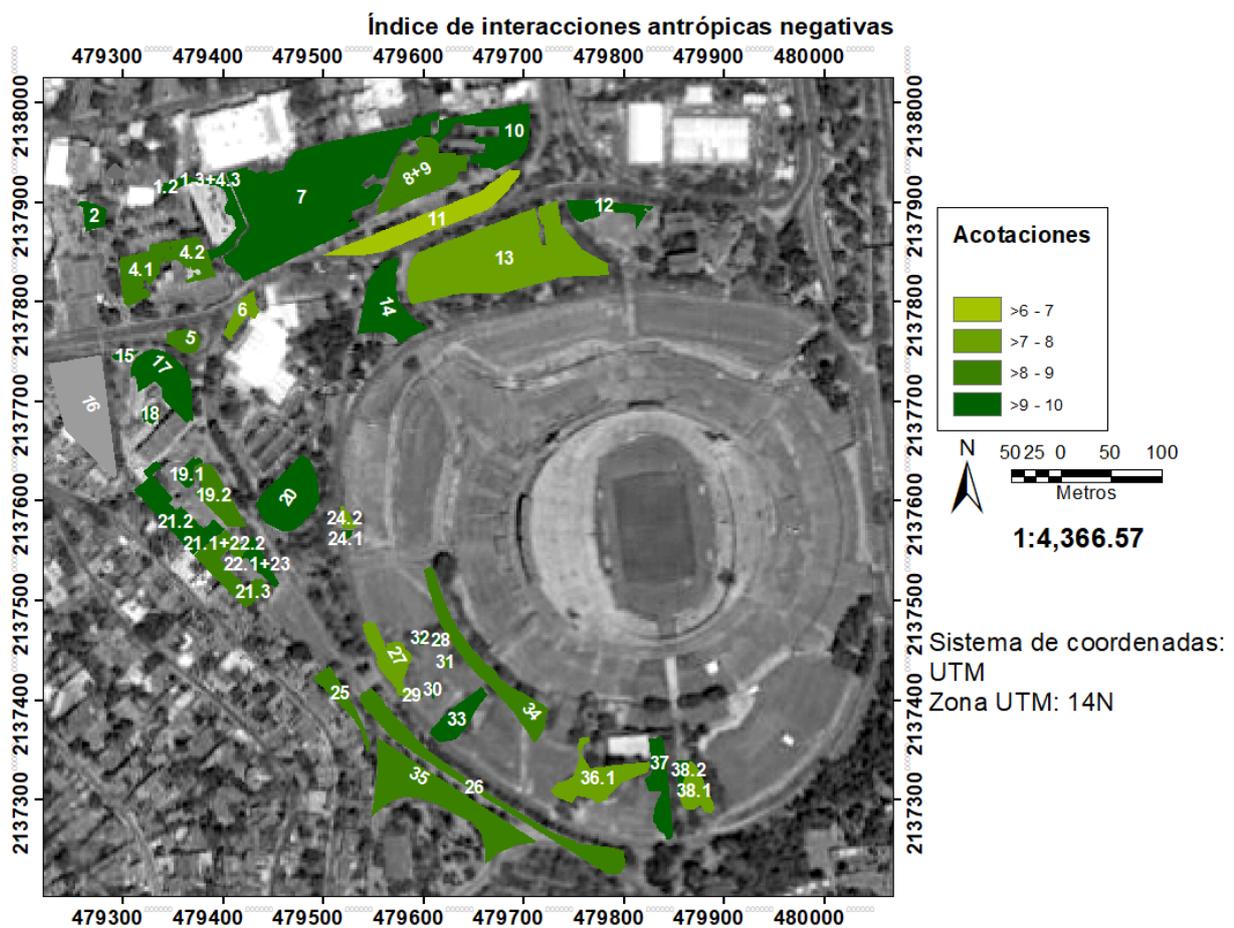


Figura 5.16. Mapa de los valores para el índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN) para cada unidad de estudio.

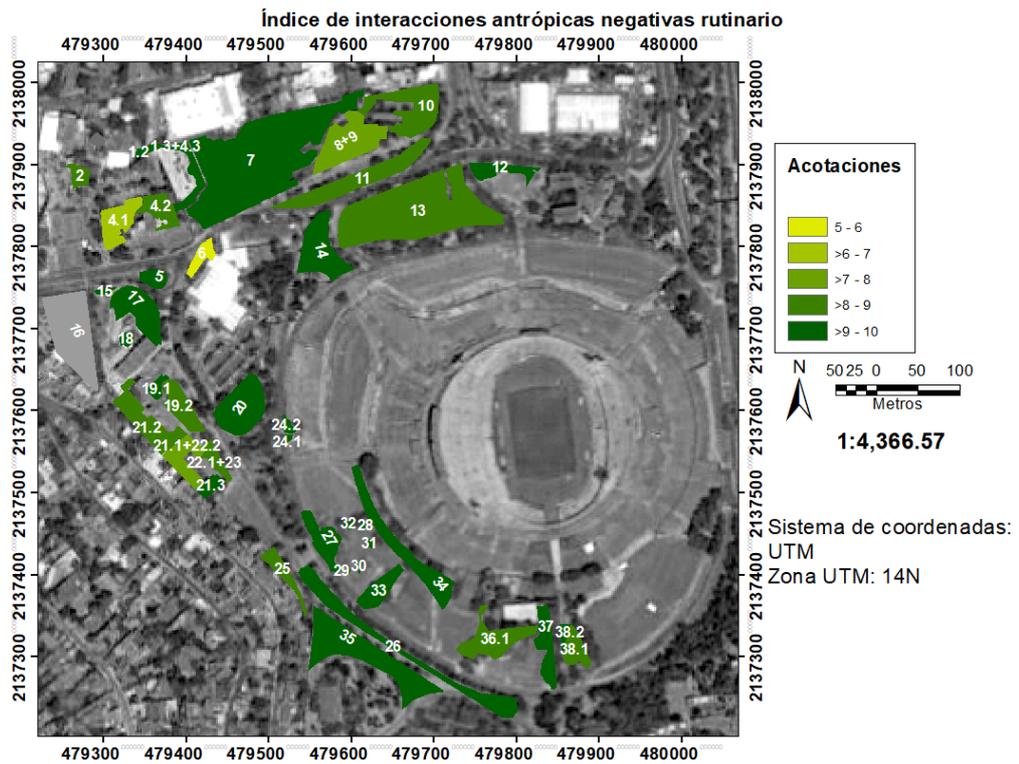


Figura 5.17. Mapa de los valores para el índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN) para cada unidad de estudio durante muestreos rutinarios.

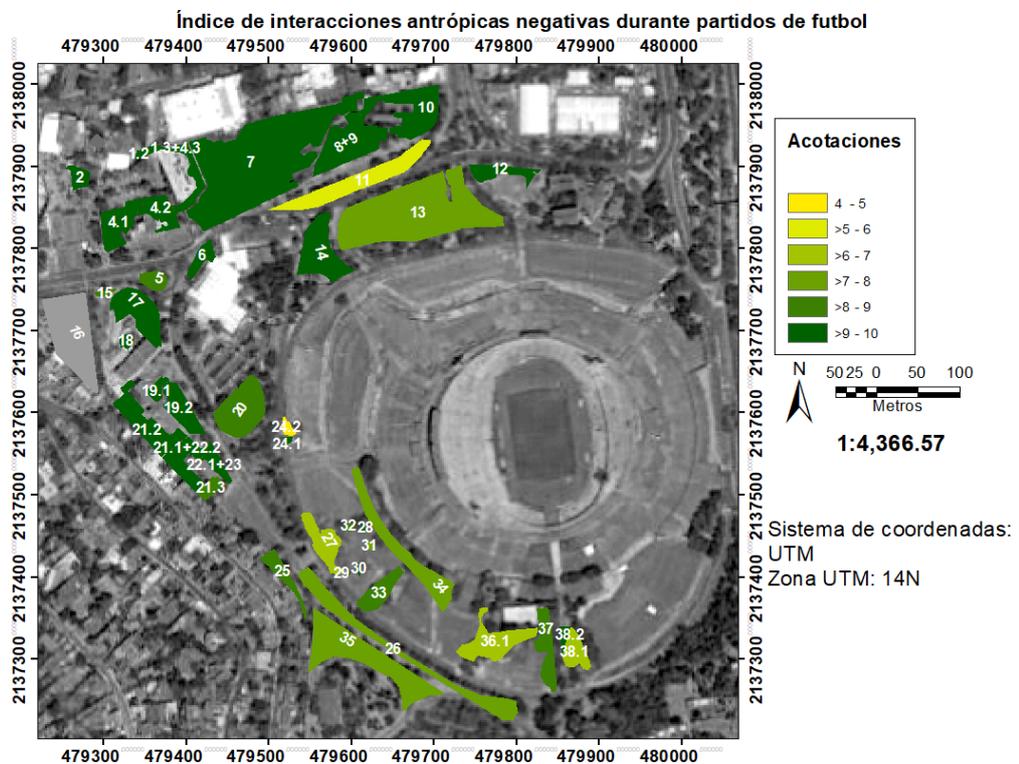


Figura 5.18. Mapa de los valores para el índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN) para cada unidad de estudio durante muestreos en partidos de fútbol.

5.2.3.1.3 Indicador: número de asentamientos humanos irregulares. Para este indicador la mayoría de las unidades de estudio recibieron calificaciones de 10 ya que no se encontraban asentamientos irregulares en sus inmediaciones. El remanente 7 obtuvo la calificación más baja (0) ya que fue el que presentó mayor número de asentamientos humanos irregulares (3) mientras que el remanente 13 fue el siguiente con calificación más baja (3.33) al tener dos asentamientos (Tabla 5.5).

5.2.3.2 Criterio: Valoración del ecosistema

5.2.3.2.1 Indicador: índice de grado de valoración del ecosistema. En la Tabla 5.9 y el mapa de la Figura 5.19 se presentan los resultados para la valoración del ecosistema y las preguntas de la encuesta que se utilizaron para evaluar este criterio. Las UE localizadas fuera de instalaciones académicas, administrativas o del estacionamiento del Estadio Olímpico obtuvieron mejores calificaciones, según este criterio, y en ellas se consiguió un tamaño de muestra muy cercano al requerido (Anexo B, Tabla B.1). Las poblaciones universitarias relacionadas directamente a estos espacios y que llevan a cabo sus actividades cotidianas en ellos son: los jardineros, el jefe de vigilancia y los barrenderos de la caseta que se encuentra en la UE 13. En estas poblaciones se puede considerar que hubo una mayor proporción de individuos que consideraron que el proyecto que hace falta realizar en las áreas verdes alrededor del Estadio Olímpico es la conservación y recuperación de la biota nativa y no proyectos de desarrollo de infraestructura, lo que se refleja en las altas puntuaciones para las preguntas 1 y 2 de la encuesta que se aplicó para evaluar la valoración del ecosistema (ver Anexo A2.3.2). Sin embargo, y en particular en el grupo de jardineros, hay menor proporción de individuos (28.5%) que consideran que la comunidad universitaria recibiría algún beneficio de que se hiciera restauración, lo que se refleja en que se obtuvieron menores puntuaciones (1.9) para la pregunta 4 en donde solamente los jardineros y el jefe de vigilancia se consideraron como la población blanco.

Por otro lado, entre las entidades universitarias administrativas y académicas, la que obtuvo mayor calificación para la valoración del ecosistema fue la Unidad de Transparencia, en la cual hubo una proporción intermedia (26%) de

Tabla 5.9. Puntuaciones para las preguntas y calificaciones para el índice de valoración del ecosistema (IVE). Las UE se ordenaron de acuerdo a su valor de IVE en forma descendente. UE, unidades de estudio; EU, entidad universitaria; P1, puntuación de la pregunta 1; P2, puntuación de la pregunta 2; P3, puntuación de la pregunta 4; IVE, calificación para el índice de valoración del ecosistema; AAPAUNAM, instalaciones de la Asociación Autónoma del Personal Académico de la UNAM; ANFFYL, Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras; BARR, caseta de barrenderos de la unidad de estudio 13; CMSTUNAM, instalaciones de las Comisiones Mixtas del Sindicato de Trabajadores de la UNAM; DGOC, Dirección General de Obras y Conservación; DGRL, Dirección General de Relaciones Laborales; EOU, oficinas administrativas del Estadio Olímpico Universitario; JARD, grupo de jardineros externo al Estadio Olímpico; JARDEOU, jardineros del Estadio Olímpico universitario; JVIGI, jefatura de vigilancia; UT, Unidad de Transparencia; NE, no evaluado.

UE	EU	P1	P2	P4	IVE
26	JARD, JVIGI	2.5	2.85	1.9	7.25
35			2.84		7.25
20			2.84		7.24
14			2.84		7.24
15			2.83		7.24
13	JARD, BARR, JVIGI	2.58	2.32	2.33	7.23
5	JARD, JVIGI	2.5	2.83	1.9	7.23
11			2.82		7.23
25			2.81		7.22
7		2.5	2.71		7.11
21.3	UT, JARD, JVIGI	2.25	2.15	2.35	6.75
22.1+23			2.15		6.75
21.1+22.2			2.13		6.73
2	AAPAUNAM	1.49	1.48	2.47	5.44
19.2	JARD, JVIGI, ANFFYL	1.66	1.21	2.55	5.42
1.2	AAPAUNAM	1.49	1.45	2.47	5.41
1.3+4.3			1.46		5.41
18	JARD, JVIGI, ANFFYL	1.66	1.2	2.55	5.4
17			1.19		5.4
21.2			1.18		5.39
19.1			1.16		5.36
12	JVIGI, DGRL	1.53	1.41	2.41	5.36
4.1	AAPAUNAM	1.49	1.42	2.47	5.29
4.2			1.41		5.28
27	EOU, JVIGI, JARDEOU	1.15	2.01	2.05	5.21
24.2			2		5.21
30			2		5.21
29			1.99		5.2
37			1.99		5.19
36.1			1.97		5.17
38.1			1.93		5.13
28			1.92		5.13
31			1.91		5.12
34			1.91		5.11
38.2			1.89		5.09
33			1.88		5.09
24.1			1.87		5.07
32			1.87		5.07
6	JARD, CMSTUNAM, JVIGI	1.51	1.33	2.11	4.95
8+9	JARD, JVIGI, DGOC	NE	NE	NE	NE
10		NE	NE	NE	NE
16	NE	NE	NE	NE	NE

personas que consideran a la restauración ecológica como un proyecto importante a realizar en sus áreas verdes en comparación con otras entidades administrativas y académicas, y con las que se encuentran fuera de este tipo de entidades. Por otro lado, a diferencia de los jardineros, una mayor proporción de los trabajadores de la Unidad de Transparencia encuestados (55.55%) consideraron que restaurar el pedregal le traería un beneficio a la comunidad universitaria de esta entidad administrativa. Sin embargo, muchos trabajadores de la Unidad de Transparencia (20%) rechazaron participar en la encuesta y no se conoce su opinión.

En cuanto al resto de las unidades de estudio, éstas obtuvieron calificaciones cada vez menores para la valoración del ecosistema según su ubicación en el siguiente orden: las del Anexo de la



Facultad de Filosofía, la Dirección General de Relaciones Laborales (DGRL), las del Estacionamiento del Estadio Olímpico y finalmente las de las comisiones mixtas del STUNAM. Por su parte, las UE de AAPAUNAM mostraron calificaciones por encima de las que se encuentran en el Estacionamiento del Estadio Olímpico e inferiores que las de la Unidad de Transparencia. El principal problema que se detectó en las UE que se encuentran dentro de entidades universitarias, con base en las puntuaciones de las preguntas 1 y 2, es que existe mayor necesidad de construir infraestructura para satisfacer las necesidades de la comunidad universitaria y que incluso la comunidad considera que esto se podría hacer en las áreas verdes que quedan. Esta presión es particularmente importante en el ANFFYL.

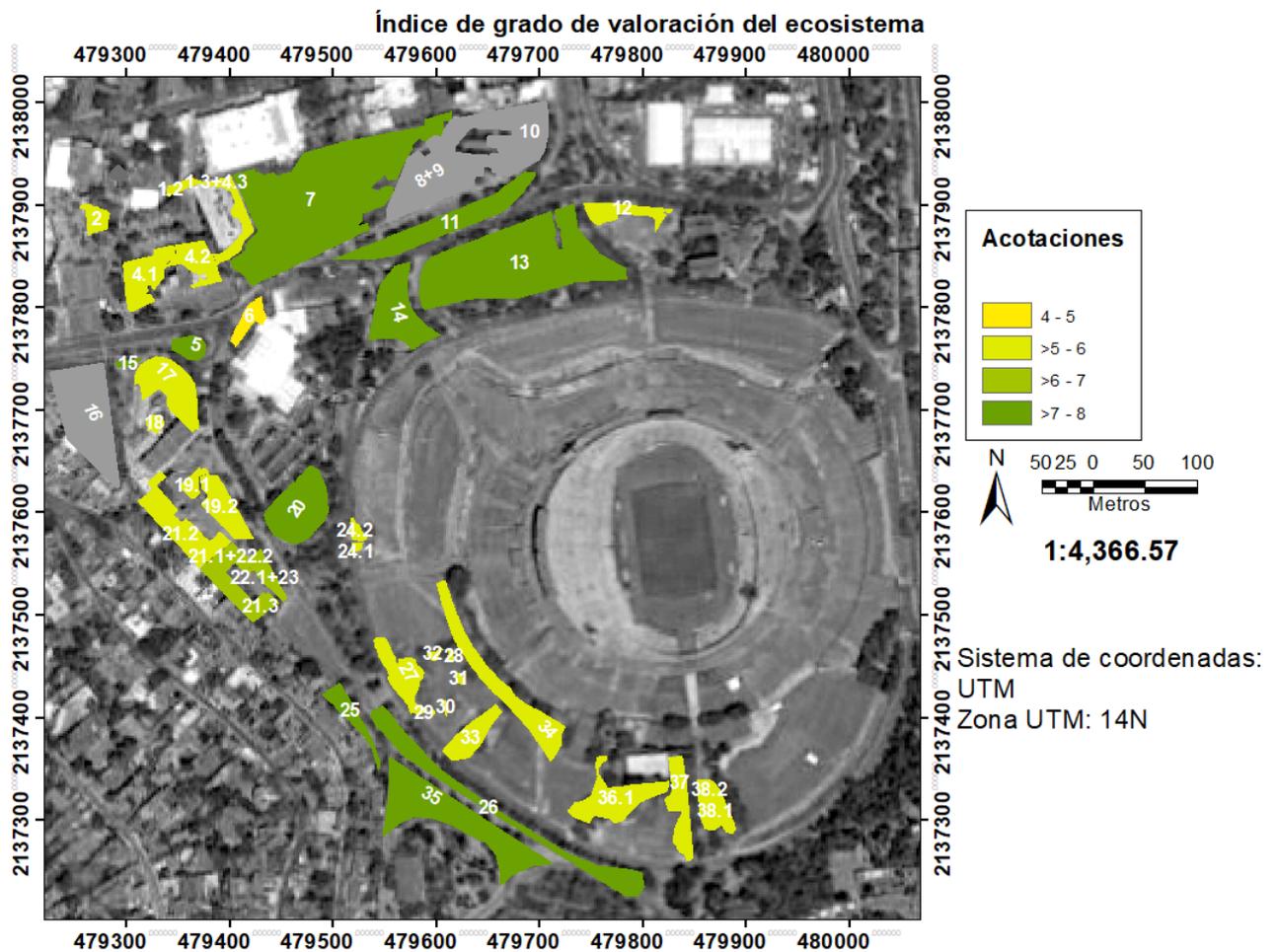


Figura 5.19. Mapa de los valores para el índice de grado de valoración del ecosistema para cada unidad de estudio.

5.2.3.3 Criterio: Disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración

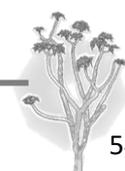
5.2.3.3.1 Indicador: Índice de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración.

En la Tabla 5.10 y en el mapa de la Figura 5.20 se presentan los resultados para la disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración. Las UE se pueden dividir en dos grupos: las que se encuentran fuera de entidades universitarias administrativas, académicas y del estacionamiento del Estadio Olímpico Universitario, y las que se encuentran dentro de éstas.

Tabla 5.10. Puntuaciones para las preguntas y calificaciones para el índice de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración. UE, unidades de estudio; EU, entidad universitaria; P3, puntuación de la pregunta 3; P5, puntuación de la pregunta 5; P6, 7 y 8, puntuación de las preguntas 6, 7 y 8; P9, puntuación de la pregunta 9; P10, puntuación de la pregunta 10 (ver Anexo A2.3.3); IDCR, calificación para el índice de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración; AAPAUNAM, instalaciones de la Asociación Autónoma del Personal Académico de la UNAM; ANFFYL, Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras; BARR, caseta de barrenderos de la unidad de estudio 13; CMSTUNAM, instalaciones de las Comisiones Mixtas del Sindicato de Trabajadores de la UNAM; DGOC, Dirección General de Obras y Conservación; DGRL, Dirección General de Relaciones Laborales; EOU, oficinas administrativas del Estadio Olímpico Universitario; JARD, grupo de jardineros externo al Estadio Olímpico; JARDEOU, jardineros del Estadio Olímpico universitario; JVIGI, jefatura de vigilancia; UT, Unidad de Transparencia; NE, no evaluado.

UE	EU	P3	P5	P6,7, 8	P9	P10	IDCR
13	JARD, BARR, JVIGI	1.80	1.16	0.83	1.46	1.18	6.42
5, 7, 11, 14, 15, 20, 25, 26, 35	JARD, JVIGI	1.79	1.00	0.76	1.35	1.21	6.11
21.1+22.2, 21.3, 22.1+23	UT, JARD, JVIGI	1.65	1.04	0.79	0.87	0.62	4.97
17, 18, 19.1, 19.2, 21.2	JARD, JVIGI, ANFFYL	1.43	1.14	0.65	0.82	0.51	4.54
24.1, 24.2, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36.1, 37, 38.1, 38.2	EOU, JVIGI, JARDEOU	1.58	1.20	0.54	0.86	0.33	4.50
6	CMSTUNAM, JARD, JVIGI	1.60	0.97	0.51	0.88	0.51	4.48
1.2, 1.3+4.3, 2, 4.1, 4.2	AAPAUNAM	1.40	1.01	0.67	0.83	0.44	4.35
12	JVIGI, DGRL	1.43	1.03	0.58	0.71	0.43	4.18
8+9, 10	JARD, JVIGI, DGOC	NE	NE	NE	NE	NE	NE
16	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Las primeras (UE 5, 7, 11, 13, 14, 15, 20, 25, 26, 35) tienen mayor calificación para la disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración. Esto se debe a que una mayor proporción de los jardineros y barrenderos de la caseta de la UE 13, consideran que las acciones de restauración tendrían que hacerse en todas las UE con las que se relacionan, que estarían dispuestos a donar cantidades mayores, tendrían más tiempo y estarían más dispuestos en participar en las acciones de restauración, ya que, de hecho, parte de sus labores corresponde al mantenimiento de las áreas verdes. Lo anterior se refleja en las altas calificaciones que obtuvieron estas UE para las



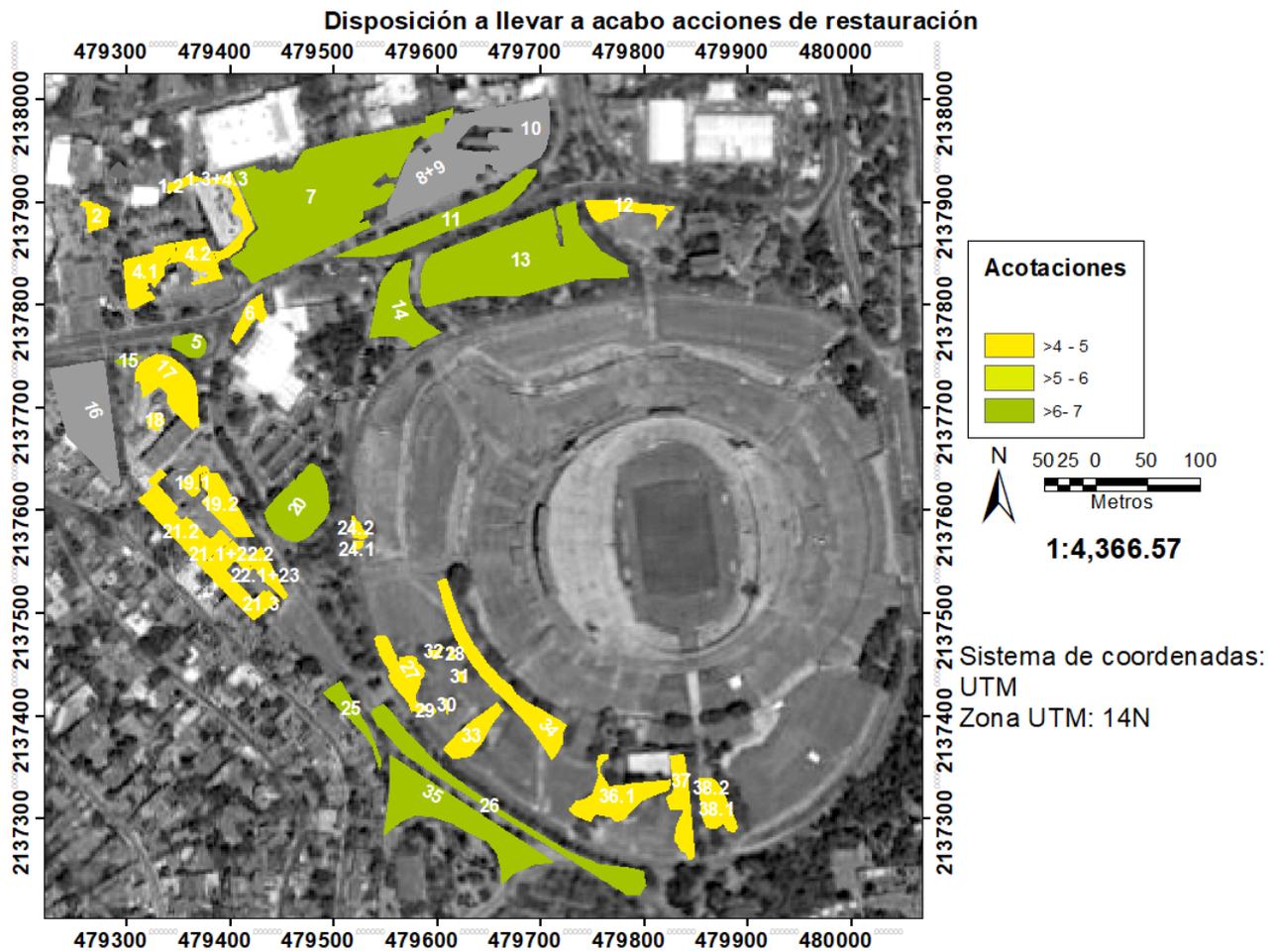


Figura 5.20. Mapa de los valores para el índice de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración para cada unidad de estudio.

Preguntas 3, 6, 7, 8, 9 y 10 (ver preguntas en Anexo A2.3.3). Sin embargo, en particular los jardineros, no estarían tan de acuerdo con algunas de las acciones necesarias para restaurar el pedregal, como se ve reflejado en la puntuación de la pregunta 5 para las UE 5, 7, 11, 14, 15, 20, 25, 26, 35.

Por otro lado, las UE de la Unidad de Transparencia son las que siguen en términos de calificación para el concepto de disposición social, ya que un porcentaje importante de la población de esta entidad universitaria estuvo de acuerdo en que todas las áreas verdes de sus instalaciones se restauraran y estarían de acuerdo en donar mayores cantidades de dinero y tiempo para esta causa, lo que se refleja en los puntajes de las preguntas 3, 6, 7, 8 y 10.

Las entidades universitarias cuyas UE obtuvieron las calificaciones más bajas fueron las de las Comisiones Mixtas del STUNAM, AAPAUNAM y la Dirección General de Relaciones Laborales, principalmente debido a que hubo una baja proporción de la población que estuviera de acuerdo con las acciones de restauración necesarias (puntuación de la pregunta 5), baja disposición a donar (puntuación de preguntas 6, 7 y 8) y poca disposición a invertir tiempo personal en acciones de restauración (puntuación pregunta 10). Además, las Comisiones Mixtas del STUNAM y la Dirección General de Relaciones Laborales fueron las entidades que tuvieron la menor participación en la encuesta (Anexo B, Tabla B.1).

Cabe agregar que 13 personas encuestadas del total de las entidades universitarias hicieron comentarios adicionales en la encuesta mencionando que no estarían dispuestos a donar, ya que consideran que la UNAM es la que se debería hacer cargo completamente de la parte financiera de estos proyectos. Las UE asociadas a las instalaciones de la DGOC no pudieron ser evaluadas debido a que no hubo disposición de sus autoridades para participar en la encuesta.

5.3 Índice de necesidad y factibilidad de restauración

En la Tabla 5.11 se presentan los valores para el índice y factores de necesidad y factibilidad de restauración (*INFR*) para cada UE. En la Figura 5.21 se representan espacialmente estos valores. Las UE 7 y 13 presentan los mayores valores de *INFR* (6.9 y 5.62, respectivamente), ya que tienen la más alta factibilidad de restauración y tienen necesidad de ser restauradas. Después de éstas y también con un valor de *INFR* relativamente alto (5.36 a 5.56) se encuentran las UE 4.1, 20, 14 y 35 que por su tamaño se esperaba que tuvieran mayor factibilidad ecológica y también tienen una factibilidad social relativamente alta (ver apartados de criterios ecológicos y sociales). El resto de las UE presentó valores menores (<5.36) principalmente por su menor factibilidad de ser restauradas.



Tabla 5.11. Calificaciones para los factores de necesidad (FNR) y factibilidad de restauración (FFR) y valores para el índice de factibilidad y necesidad de restauración. *INFR*. Las unidades de estudio se encuentran ordenadas de forma descendente respecto a su valor para el *INFR*. NE, no evaluado.

UE	FNR	FFR	<i>INFR</i>
7	6.82	6.94	6.90
13	6.19	5.37	5.62
20	9.60	3.83	5.56
4.1	9.47	3.69	5.42
35	9.72	3.51	5.38
14	9.57	3.56	5.36
18	9.18	3.49	5.20
1.3+4.3	9.27	3.43	5.18
4.2	8.75	3.62	5.16
38.2	9.40	3.30	5.13
26	9.84	3.08	5.11
11	9.32	3.30	5.11
33	9.46	3.18	5.07
36.1	8.39	3.61	5.04
17	8.96	3.33	5.02
24.1	9.62	3.03	5.01
1.2	9.51	3.02	4.97
5	9.33	3.09	4.96
21.1+22.2	8.95	3.22	4.94
21.3	9.47	2.99	4.93
22.1+23	9.38	3.01	4.92
37	8.14	3.53	4.91
21.2	8.06	3.55	4.90
2	7.93	3.60	4.90
38.1	8.91	3.14	4.87
19.2	9.07	3.03	4.84
34	9.17	2.98	4.84
32	9.64	2.76	4.82
31	9.11	2.97	4.81
25	9.05	2.98	4.80
12	9.14	2.86	4.74
19.1	7.64	3.45	4.71
27	7.89	3.31	4.68
28	8.98	2.80	4.65
24.2	7.96	3.19	4.62
29	8.08	3.13	4.62
15	9.53	2.47	4.59
6	8.06	3.04	4.55
30	7.96	3.08	4.54
8+9	8.34	NE	NE
10	8.58	NE	NE
16	NE	NE	NE

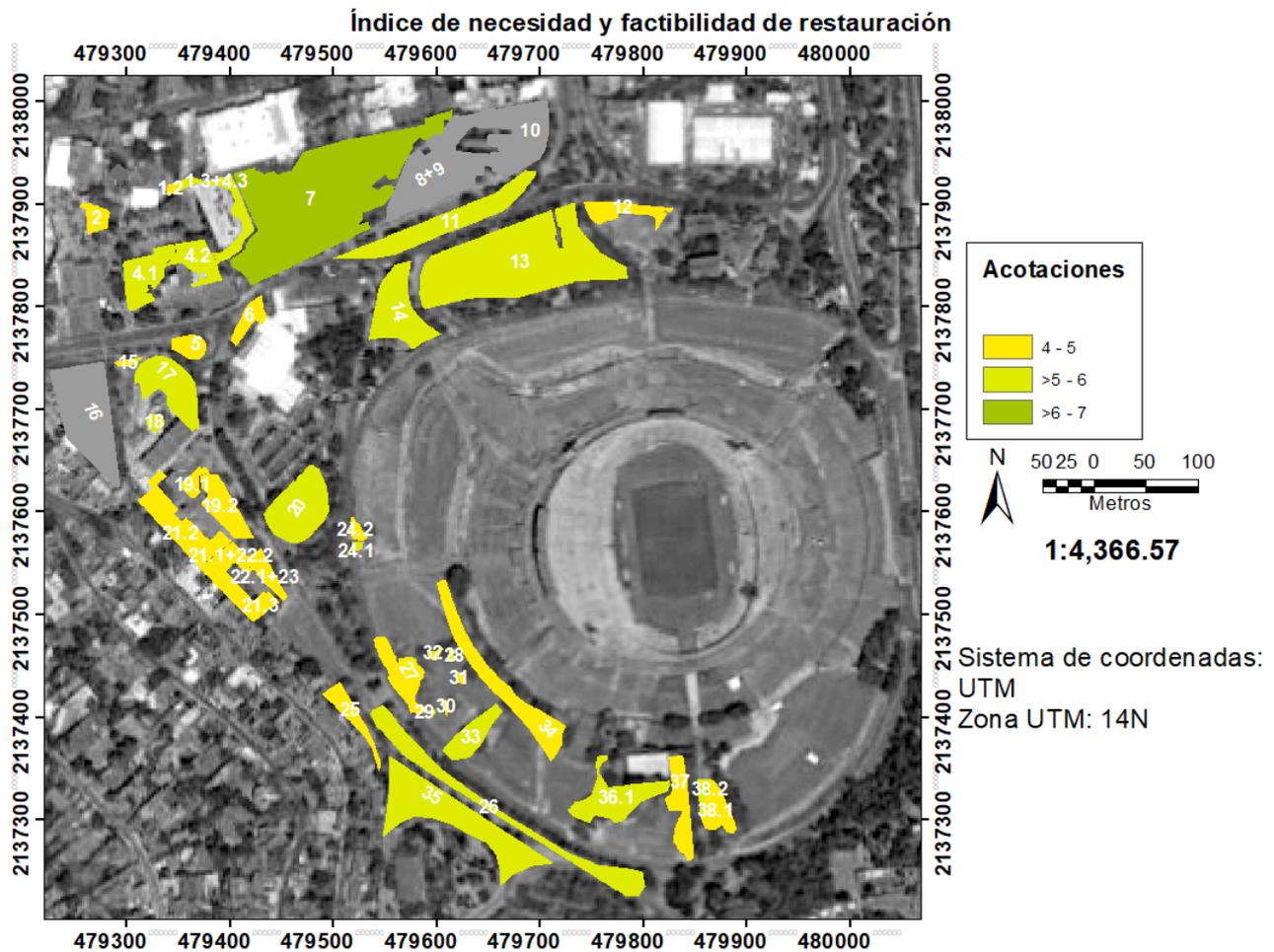


Figura 5.21. Mapa de los valores para el índice de necesidad y factibilidad de restauración de la vegetación nativa para cada unidad de estudio.

5.3 Análisis de clasificación y de componentes principales

El análisis de componentes principales mostró que los dos primeros componentes principales explicaron el 68% de la varianza. Los coeficientes de correlación de Pearson entre los componentes principales y los elementos del análisis se muestran en la Tabla 5.12. Los componentes del análisis multicriterio que mostraron mayor correlación significativa (>0.6 , $p < 0.001$) con el componente principal 1 tienen que ver de forma general con la factibilidad ecológica y económica, y en particular con el tamaño de las UE, por ejemplo, su área, forma, fuente de propágulos de plantas nativas, cantidad de roca basáltica a adicionar y árboles exóticos a remover. Solamente la presencia de asentamientos humanos fue un indicador de factibilidad social que mostró una correlación alta (-0.901 , $p < 0.001$) en relación con el primer componente principal ya que, de hecho, solamente los

remanentes más grandes (UE 7 y 13) cuentan con asentamientos humanos. El *INFR* también presentó una correlación importante (0.819, $p < 0.001$) con el componente principal 1. Respecto al componente principal 2 los elementos del análisis multicriterio que tuvieron mayor correlación (> 0.6 , $p < 0.001$) corresponden a aspectos de la factibilidad social como la disposición de la comunidad local y valoración del ecosistema, y a éstos se suman la competencia con plantas exóticas y arvenses, y el grado de conservación de la roca basáltica.

Las Figuras 5.22^a y B representan el resultado del análisis de clasificación y de componentes principales. Los cuatro grupos de UE que se obtuvieron se pueden interpretar de la siguiente manera. El grupo 1 engloba UE que se encuentran dentro de entidades universitarias o en el estacionamiento del Estadio Olímpico. A diferencia del grupo 3, el grupo 1 tiene mejor conservado su roca basáltica y hay menor dominancia de especies exóticas y arvenses. Para la factibilidad social las UE del grupo 1 tienden a tener valores menores respecto al grupo 3, ya que hay una mayor diversidad de opiniones sobre la valoración del ecosistema y disposición a realizar acciones de restauración por parte de la comunidad universitaria que se relaciona de forma directa con estos espacios.

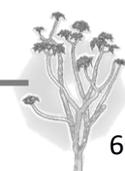
El grupo 2 está representado por remanentes de pedregal ubicados dentro de entidades universitarias o el estacionamiento del Estadio, son relativamente pequeños y la mayoría tienen topografías accidentadas que contribuyen a impedir el acceso de personas a los mismos y por tanto tienen mayor calificación en cuanto al grado de perturbación y frecuencias de incidencia de interacciones antrópicas negativas. La roca volcánica cubre un mayor porcentaje de su área y por su baja extensión albergan pocos árboles exóticos y pocas zonas sin roca, por lo que la restauración sería relativamente económica. Sin embargo, debido a su reducido tamaño podría ser muy complicado restaurarlos tomando en cuenta su baja factibilidad ecológica. Debido a esto, en estos remanentes lo más recomendable sería establecer 59erojardines. Por otro lado, al igual que el grupo 1, las UE del grupo 2 tienen menor factibilidad social que el grupo 3 debido a su menor calificación para la

valoración del ecosistema y la disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración.

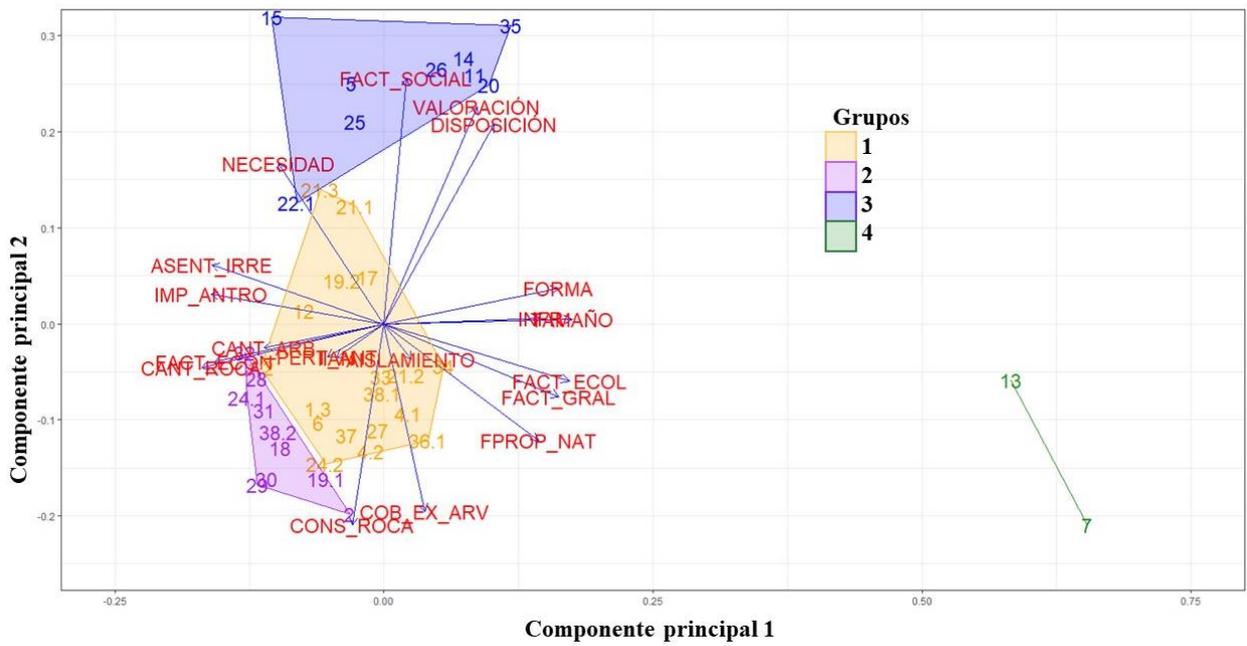
Tabla 5.12 Proporción de la varianza explicada por los dos primeros componentes principales (CP) y correlación de Pearson de éstos con cada elemento del análisis multicriterio (EAM). **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$.

EAM	CP1	CP2
Varianza explicada	0.49	0.19
Necesidad de restauración	-0.551***	0.583***
Factibilidad de restauración	0.913***	-0.265
Factibilidad ecológica de restauración	0.968***	-0.209
Fuente local de propágulos de plantas nativas	0.809***	-0.426**
Competencia con especies de plantas exóticas y arvenses	0.213	-0.686***
Grado de conservación de la roca basáltica	-0.166	-0.734***
Forma del parche	0.914***	0.129
Tamaño del parche	0.981***	0.016
Aislamiento del parche	0.145	-0.130
Factibilidad económica de restauración	-0.887***	-0.137
Cantidad de árboles exóticos a remover	-0.628***	-0.085
Cantidad de roca basáltica a adicionar	-0.953***	-0.159
Factibilidad social de restauración	0.116	0.894***
Impacto antrópico	-0.906***	0.108
Índice de perturbación antrópica	-0.299	-0.121
Índice de interacciones antrópicas negativas	-0.249	-0.123
Número de asentamientos humanos irregulares	-0.901***	0.215
Valoración del ecosistema	0.484**	0.791***
Disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración	0.572***	0.727***
<i>INFR</i>	0.819***	0.020

El grupo 3 corresponde a remanentes que se encuentran fuera de entidades universitarias y del estacionamiento del Estadio Olímpico, a excepción de la UE 22.1+23. Este grupo tiene alta necesidad de ser restaurado y una factibilidad social relativamente alta ya que la comunidad universitaria que se relaciona directamente con estos espacios, principalmente los jardineros, consideran que sería importante recuperarlos. Su factibilidad económica de restauración va de alta a intermedia, mientras que la calificación para su factibilidad ecológica va de baja a intermedia. En particular es un grupo que tiene bajas calificaciones para el grado de conservación de la roca basáltica y hay presencia importante de especies exóticas y arvenses.



A



B

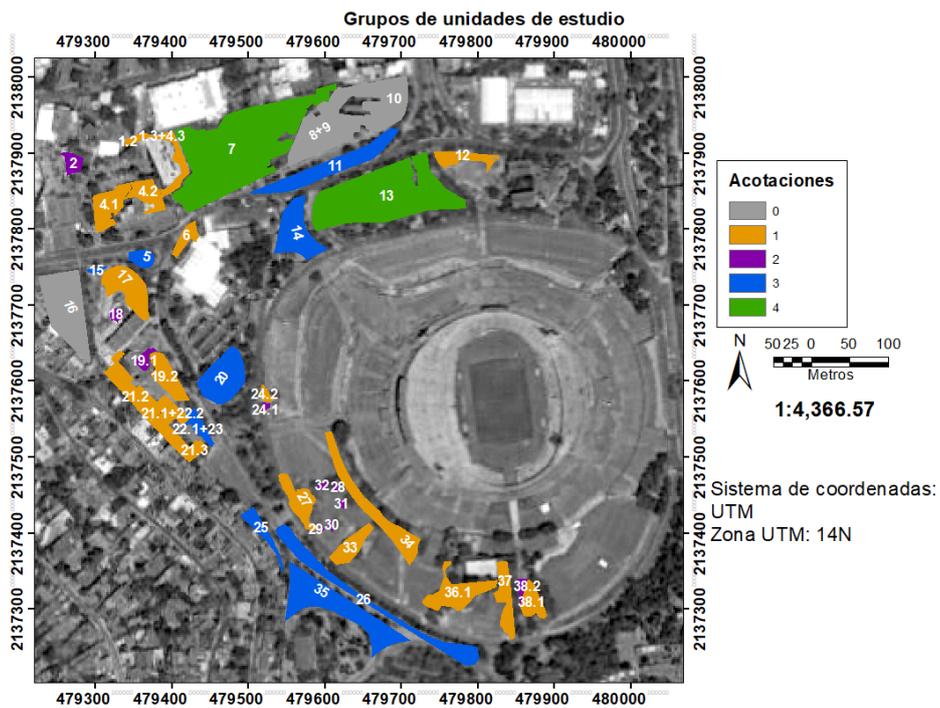


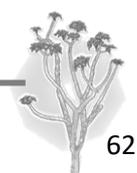
Figura 5.22. Resultados de los análisis de clasificación y de componentes principales. A, biplot del análisis de componentes principales donde se muestran con distintos colores los cuatro grupos de unidades de estudio obtenidos mediante el análisis de clasificación. INFR, índice de necesidad y factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración; FACT_GRAL, factibilidad de restauración; FACT_ECOL, factibilidad ecológica de restauración; FPROP_NAT, fuente local de propágulos de plantas nativas; COB_EX_ARV, competencia con especies de plantas exóticas y arvenses; CONS_SUS, grado de conservación de la roca basáltica; FORMA, forma del parche; TAMAÑO, tamaño del parche; AISLAMIENTO, aislamiento del parche; FACT_ECON, factibilidad económica de restauración; CANT_ARB, cantidad de árboles exóticos a remover; CANT_ROCA, cantidad de roca basáltica a adicionar; FACT_SOCIAL, factibilidad social de restauración; IMP_ANTRO, impacto antrópico; PERT_ANT, índice de perturbación antrópica; IIAN, índice de interacciones antrópicas negativas; ASENT_IRRE, número de asentamientos humanos irregulares; VALORACIÓN, valoración del ecosistema; DISPOSICIÓN, disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración. B, mapa de los grupos obtenidos con el análisis de clasificación.

Por su parte el grupo 4 se distingue de los grupos 1, 2 y 3 ya que estos obtuvieron menores calificaciones para el *INFR* debido a su menor factibilidad ecológica. Sin embargo, recuperar las UE del grupo 4 sería más costoso y en ellas hay presencia de asentamientos humanos irregulares. La mayor factibilidad ecológica de estas UE se puede explicar por la mayor presencia de plantas nativas no arvenses que pueden recolonizar y por su mayor tamaño, mejor forma y mayor proximidad entre ellos y respecto a otros remanentes.

VI. DISCUSIÓN

En este estudio se encontró que la vegetación en todos los remanentes de pedregal alrededor del Estadio Olímpico Universitario tiene necesidad de ser restaurada. La degradación de la vegetación en la zona podría deberse a la perturbación antrópica a la cual están sometidos los remanentes, al estar inmersos en una matriz urbana, en estos sitios los impactos tienden a ser mayores que en otros tipos de paisaje. Esto se ha observado en otras urbes. Por ejemplo, Stenhouse (2004) registró que los remanentes de vegetación nativa se encuentran más fragmentados, invadidos por especies exóticas, y que la vegetación nativa se encuentra más deteriorada en zonas más cercanas al centro de ciudades y en donde la población humana es mayor que en sus bordes. Por su parte, Williams y colaboradores (2005) monitorearon la vegetación en parches localizados en un gradiente urbano-rural por 20 años y encontraron que el porcentaje de especies nativas extintas localmente en parches ubicados en zonas urbanas y periurbanas fue de entre 27 y 37%, lo cual fue mayor respecto a zonas rurales (20%). Tomando esto en cuenta, la conservación y restauración de remanentes de vegetación nativa en zonas urbanas, como es el caso de los remanentes alrededor del Estadio Olímpico, puede enfrentar retos importantes para reducir los disturbios generados por la actividad humana.

Algunos de los impactos que se observaron en las UE son el cambio del régimen hídrico debido al riego de áreas verdes, la poda general de la vegetación, la deposición de residuos orgánicos e inorgánicos, la introducción de especies exóticas y el pisoteo de los sitios. Todos estos pueden



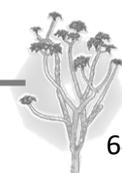
afectar las condiciones ambientales que requiere la vegetación del matorral para desarrollarse o la pueden afectar directamente a través de su destrucción. Esto parece aquejar principalmente a los remanentes de pedregal que se encuentran en zonas accesibles a un más amplio sector de la población, lo que dificultaría su proceso de recuperación ya que se tendrían que tomar medidas adicionales para evitar que las personas incidan negativamente en estos espacios. Esto sería especialmente importante en los remanentes que son más afectados durante los partidos de fútbol en el Estadio Olímpico.

También es importante resaltar que, en algunas entidades universitarias, como el Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras, la comunidad universitaria tiene necesidad de desarrollar infraestructura para satisfacer sus necesidades, por lo que, aunque esto podría dificultar llevar a cabo la restauración de remanentes de pedregal, también se podrían proponer formas de conciliar los distintos tipos de uso de suelo con la conservación del paisaje nativo. Por ejemplo, se pueden establecer sitios para comer o para realizar actividades deportivas (mesas de ping-pong) y culturales en áreas verdes con vegetación nativa y, al mismo tiempo, hacer conciencia en la comunidad universitaria acerca de la importancia de conservar y respetar estos espacios. De hecho, se ha propuesto que, en la restauración ecológica en contextos urbanos, además de buscar la conservación de la biodiversidad, también es importante considerar la generación de una valoración social del ecosistema, permitiendo el uso de los espacios recuperados para actividades recreativas, educativas, económicas y de convivencia con la naturaleza (Standish *et al.*, 2013).

Otra alternativa para cubrir la demanda de espacios para infraestructura en el *campus* podría ser el desarrollo de infraestructura de forma vertical en lugar de horizontal para evitar impactar los remanentes de pedregal que aún permanecen. Sin embargo, la construcción vertical también es controvertida dado que esto implicaría cambios importantes en el diseño urbano y de paisaje de Ciudad Universitaria, lo que se contrapone a la decisión de la UNESCO para designar al *campus* central como patrimonio de la humanidad gracias al grado de conservación de estos elementos arquitectónicos (UNESCO, 2007).

Aunado a los disturbios que reciben los remanentes en zonas urbanas, el simple hecho de fragmentar el ecosistema implica que en los parches remanentes se den cambios en las condiciones microclimáticas por el efecto de borde lo que, a su vez, puede facilitar la invasión por parte de especies ajenas al ecosistema original, así como la disminución de la riqueza de especies debido a la reducción del área en que pueden coexistir (Saunders *et al.*, 1991). Se sabe que en ecosistemas tropicales los parches con tamaños menores a 10 hectáreas presentan un efecto de borde en toda su extensión (Ceccon *et al.*, 2013). Para el matorral xerófilo del Pedregal de San Ángel, Noguez-Ledezma (en prep.) encontró que especies exóticas invasoras asociadas a borde como *Cenchrus clandestinus* pueden encontrarse hasta los primeros 41 metros hacia dentro de los fragmentos que corresponden a las zonas núcleo de la REPSA. Sería deseable realizar estudios más detallados del efecto de borde sobre la vegetación de matorral xerófilo en Ciudad Universitaria para conocer el tamaño mínimo que un fragmento puede tener para conservar su vegetación e impedir que se modifique la composición de la comunidad de forma importante respecto a zonas conservadas. En el presente estudio se observó que en los remanentes más grandes de cerca de una hectárea ya había presencia de especies exóticas y que estas UE diferían en más del 60% en cuanto a la estructura de su vegetación respecto a las parcelas en zonas núcleo de referencia.

Por otro lado, se observó que los remanentes de pedregal más grandes presentan relativamente menor necesidad de ser restaurados ya que la composición de la comunidad vegetal tiende a ser más cercana a la de zonas conservadas, mientras que, en los remanentes más pequeños, que presentan mayor efecto de borde, la vegetación está más degradada. Esto, a su vez, se traduce en una mayor factibilidad relativa de restauración en términos ecológicos de las áreas grandes, ya que presentan menor efecto de borde y mayor número de elementos de vegetación nativa que podrían recolonizar estas áreas. Es por esto que los remanentes más grandes, las UE 7 y 13, obtuvieron mayores calificaciones para el *INFR* y, por tanto, su restauración es prioritaria. Sin embargo, a pesar de su alta factibilidad ecológica, esta podría seguirse degradando por perturbaciones antrópicas y podrían no



recuperarse por sí solos si se pierden los remanentes más pequeños que podrían servir como trampolines ecológicos que los conectan con otros remanentes más grandes y mejor conservados como las zonas núcleo de la REPSA, de donde podrían provenir organismos para recolonizar las áreas degradadas. Esta importancia de mantener remanentes de ecosistemas en zonas urbanas para mejorar la conectividad de zonas mejor conservadas es resaltada por autores como Ignatieva y colaboradores (2011) y Pirnat (2000). Sin embargo, es importante considerar el trabajo de Beninde y colaboradores (2015) quienes realizaron un metaanálisis de los factores que determinan la variación intraurbana de la biodiversidad. Estos autores encontraron que los corredores tienen mayor efecto positivo sobre la riqueza y diversidad de especies en zonas urbanas en comparación con parches aislados que funcionan como trampolines ecológicos.

Por otro lado, el costo de restauración de las UE 7 y 13 podría ser muy elevado. Aunado a esto, debido a su tamaño, ofrecen sitios para ocultar asentamientos humanos irregulares y, además, podrían ser más atractivos para los desarrolladores de infraestructura, ya que cuentan con áreas donde se pueden construir edificaciones de dependencias administrativas y centros educativos y de investigación. De hecho, actualmente (mayo a octubre de 2019) la UE 7 está siendo afectada por la construcción del nuevo Edificio para la Escuela Nacional de Lenguas, Lingüística y Traducción en su porción nororiental (Fig. 6.1).

Desde esta complicada perspectiva socioeconómica para los remanentes grandes, la importancia del factor de costo de recuperación podría reducirse combinando la restauración en sitios donde la roca está conservada con la rehabilitación ecológica en donde la misma pudo ser eliminada, lo cual implicaría la ejecución de las siguientes acciones: (1) la remoción de residuos inorgánicos, (2) la protección de las áreas para evitar incursiones humanas y la perturbación asociada, (3) remover solamente los árboles exóticos a la Ciudad de México en lugar de todos los que se consideran ajenos al pedregal, (4) la siembra de plantas nativas del Valle de México que no requieran de la roca para establecerse, y (5) el monitoreo de plantas exóticas y del proceso de rehabilitación en general. De



Figura 6.1. Construcción del nuevo Edificio para la Escuela Nacional de Lenguas, Lingüística y Traducción en la porción nororiental de la unidad de estudio 7. A, lona informativa sobre la construcción que se está realizando en la zona; B, perspectiva de la construcción; C, perspectiva de la construcción; D, maquinaria removiendo roca.

Hecho, en estudios previos de restauración ecológica se ha encontrado que la adición de roca a las zonas donde la roca original fue sepultada, no necesariamente genera un ambiente propicio para el establecimiento de un matorral xerófilo, sino que favorece más bien el establecimiento de un estrato arbóreo, aunque la roca basáltica puede impedir el establecimiento de especies exóticas y arvenses (González-Jaramillo, 2018). Además, en algunas ocasiones la adición de roca implica que esta deba ser extraída de otros sitios con pedregal, donde este material debería conservarse. Considerando esto, la rehabilitación ecológica podría ser una alternativa tanto para las zonas más degradadas de los remanentes grandes, como para otros remanentes donde, por sus características ecológicas y grado de

pérdida de roca basáltica, podría ser complicado llevar a cabo acciones de restauración del ecosistema original *per se*. Este tipo de estrategia de rehabilitación ecológica, en la cual se usan elementos de otros ecosistemas regionales, se ha usado en la recuperación de sitios afectados por la minería en donde se pueden perder las topoformas y sustratos originales (Doley y Audet, 2013).

Considerando lo discutido hasta el momento, se recomienda intentar restaurar o rehabilitar todos los remanentes alrededor del Estadio Olímpico, o bien, una muestra representativa de los distintos grupos identificados mediante el análisis de clasificación y componentes principales, y considerando su valor de *INFR*, su contribución a la conectividad y el presupuesto que se pueda asignar a esto. En este sentido, la información obtenida durante el monitoreo del proceso de recuperación podría ayudar a determinar los umbrales dentro de los cuales, la estructura y función del ecosistema de matorral u otros ecosistemas nativos podría recuperarse sin intervenciones costosas (Hobbs y Cramer, 2008; Hobbs *et al.*, 2009). Con lo anterior, se podría construir un *INFR* que no solamente refleje la factibilidad relativa de restauración ecológica, sino la factibilidad ecológica real. Además, la inclusión de los remanentes más pequeños en el proceso de recuperación ecológica es muy importante ya que podrían funcionar como islas de paso con recursos y ambientes más favorables a través de las cuales podrían trasladarse las especies nativas (Ignatieva *et al.*, 2011), desde las zonas núcleo al sur del *campus*, hasta los remanentes de mayor tamaño al norte del Estadio Olímpico (Fig. 6.2), lo cual podría incidir en la restauración de los mismos.

La estrategia de manejo que podría aplicarse en los remanentes de menor tamaño —en caso de que durante el proceso de monitoreo se determinara que la restauración o la rehabilitación ecológica no es factible— sería la instalación de xerojardines de plantas exclusivamente nativas (Camarena, 2010; Lara-Deras, 2016), esto debido a que la restauración o rehabilitación de los remanentes de menor tamaño podría representar un reto mayor en términos ecológicos debido al efecto de borde que sufren y al alto grado de degradación de la vegetación nativa. Además, estos espacios podrían requerir de la realización de acciones de mantenimiento continuas a través de



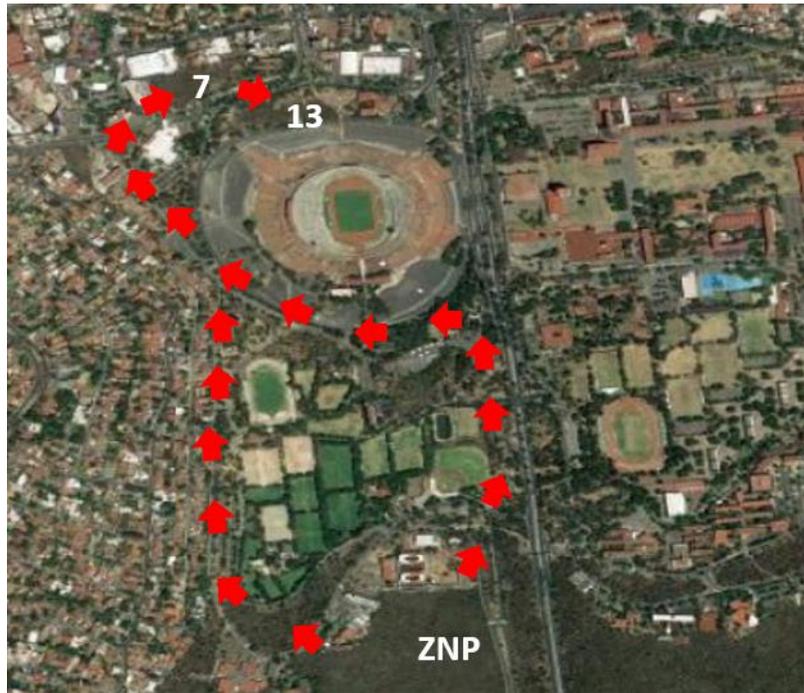


Figura 6.2. Conectividad que podrían generar los remanentes de pedregal más pequeños para conectar las UE 7 y 13 con la Zona Núcleo Poniente de la REPSA.

Actividades de jardinería para conservar la vegetación nativa y eliminar a las especies exóticas, lo que de hecho también tendría que implementarse en áreas ajardinadas sin remanentes de pedregal. Este manejo podría tener un impacto positivo en la recuperación de los remanentes más grandes, por el hecho de que se eliminarían fuentes de especies exóticas invasoras que podrían frenar su recuperación. Esta idea surge del trabajo de Vilà e Ibáñez (2011), quienes dan ejemplos de cómo los tipos de uso de suelo que favorecen a las especies exóticas (p. e. jardines) pueden afectar a zonas conservadas cercanas al ser una fuente de propágulos de especies invasoras. Tomando esto en cuenta, el control de las plantas exóticas en los remanentes de pedregal más pequeños y zonas ajardinadas del *campus* sería fundamental, ya que, por ejemplo, en la UE 7 se encontró una población incipiente de la especie exótica *Persicaria capitata*, la cual se observó creciendo sobre roca basáltica. Esta especie originaria de Asia se ha reportado como maleza exótica invasora en Japón, Australia y las Islas Azores (Auld *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2013). El origen de dicha población puede ser a partir de

uno de los remanentes de pedregal en un jardín vecino que se encuentra dentro de las instalaciones de las AAPAUNAM en donde crece de forma abundante sobre la roca.

Por otro lado, establecer xerojardines en remanentes de menor extensión que están alrededor del Estadio Olímpico y que se encuentran dentro de dependencias y entidades académicas universitarias, podría funcionar como un medio de difusión de la importancia del matorral xerófilo en CU. Se pueden aprovechar para fomentar el trabajo comunitario y la participación y recuperación del tejido social a través del desarrollo de actividades de xerojardinería y conservación de estas áreas por parte de los universitarios ya que otros autores sugieren y dan ejemplos de esto (Miles *et al.*, 1998; Dearborn y Kark, 2010; Standish *et al.*, 2013; Lara-Deras, 2016). En particular, algunos autores han desarrollado proyectos de restauración ecológica en terrenos universitarios. Ya en 1935, Aldo Leopold inició uno de los proyectos pioneros en restauración ecológica de praderas en la Universidad de Wisconsin, el cual se considera uno de los elementos centrales del *Arboretum* de esta universidad (Jordan *et al.*, 1987). Más recientemente, Renison y colaboradores (2016) desarrollaron un proyecto de restauración, por 6 años, de 1.5 hectáreas de bosque nativo en el *campus* de la Universidad Nacional de Córdoba debido a que existían problemas ambientales como tolveneras y erosión por escorrentía. En este proyecto participaron estudiantes y profesores, voluntarios en su mayoría, con apoyo del rector y colaboración del personal de la Universidad. Con el proyecto se logró generar motivación entre los participantes para generar proyectos similares. Además, los sitios en restauración han servido como espacios para realizar actividades académicas y acercar a las especies nativas a la ciudadanía para conocerlas y valorarlas.

Considerando el ejemplo anterior, es relevante que en la UNAM ya existe un programa de voluntariado por parte de la SEREPSA cuyo objetivo principal es establecer una colaboración que canalice los intereses en beneficio del Pedregal y la vida silvestre que alberga Ciudad Universitaria en acciones informadas y constantes que promuevan el conocimiento, manejo y protección del Pedregal y su vida silvestre (SEREPSA, 2019). Entre las acciones de manejo en las que participan



los voluntarios de este programa se encuentran jornadas de restauración ecológica. Por tanto, se podrían incluir a miembros de la comunidad universitaria, relacionados a las unidades de estudio de menor extensión, para que junto al resto de voluntarios emprendieran su recuperación. Estos procesos de participación en acciones de restauración son importantes ya que como lo menciona Gross (2006), la restauración ecológica da la oportunidad a las personas de participar y relacionarse activamente con el ecosistema para iniciar procesos naturales de recuperación. Esto implica un nuevo paradigma y una nueva forma de comunión con la naturaleza. Además, la participación permite que la comunidad local exprese sus dudas y visiones acerca del proceso de restauración, lo que puede derivar en modificaciones al proyecto para que sea socialmente aceptado.

Además de los beneficios que trae el desarrollo de programas de voluntariado, los remanentes de menor tamaño se pueden aprovechar para realizar actividades académicas y de investigación que forman parte de las tareas sustantivas de la UNAM. De hecho, ya existen proyectos de este tipo en algunas entidades universitarias que han generado todos estos beneficios, como lo son: el proyecto del Geopedregal de los Institutos de Geología y Geografía (Wall-Guzmán, 2017), la adopción del remanente “Molotito” por parte de la Facultad de Ciencias y el proyecto de recuperación del área de amortiguamiento A2 de la REPSA que continúan el ICAT y la ENTS (G. Villalobos y U. Torres Sánchez, coms. Pers.).

Para poder intentar llevar a cabo las acciones propuestas de restauración, rehabilitación o establecimiento de xerojardines también será necesario trabajar ampliamente con la comunidad universitaria, ya que existen opiniones diversas y contrarias respecto al uso futuro que se puede dar a estos espacios y a la disposición a que se mantengan para resguardar el ecosistema del pedregal, lo que se refleja en los valores relativamente bajos para la factibilidad social de restauración.

Si bien la SEREPSA ha impulsado programas de adopción y rescate de remanentes de pedregal fuera de la Reserva (SEREPSA, 2018^a, b), un elemento central para abordar la complejidad social del manejo de remanentes en el *campus* sería el diseño de un plan de manejo para estos parches



a nivel de institucional que tenga objetivos claros y defina las características del ecosistema que se buscan recuperar. Este plan de manejo podría buscar abordar la problemática socioambiental a través de difundir información respecto a la importancia del ecosistema del pedregal y de las distintas visiones que se tienen entre la comunidad universitaria respecto al mismo. Además, se deberían generar espacios de reflexión y discusión entre la comunidad universitaria, en especial entre grupos con visiones opuestas, para abordar los problemas ambientales del *campus* y generar alternativas. Asimismo, sería deseable que para su elaboración se cuente con una amplia participación de los diversos sectores de la comunidad universitaria, entre los que se tendrían que incluir al Sindicato de Trabajadores de la UNAM, los grupos de protección de remanentes de pedregal, así como los miembros del Comité Técnico de la REPSA. Este comité tiene como objetivo establecer directrices generales para la conservación de la REPSA (de la Fuente, 2005) por lo que su inclusión en la elaboración de un programa de manejo de remanentes de pedregal para el *campus* universitario resulta importante, ya que el manejo que se dé a estos espacios, que interactúan de distintas formas con la reserva, puede repercutir en la conservación del ecosistema natural que se busca proteger en la misma.

Por último, se espera que el análisis multicriterio generado en esta investigación y el *INFR* que se deriva del mismo puedan ser utilizados en un futuro para evaluar la necesidad y factibilidad de restaurar el resto de los remanentes de pedregal que se encuentran dentro de Ciudad Universitaria, y así establecer las prioridades de recuperación de estos espacios. En esta evaluación podrían incluirse las opiniones de tomadores de decisiones y de expertos de diversas áreas respecto a los criterios a evaluar y a la ponderación a asignar a cada uno de ellos. Otros criterios que podrían considerarse son: (1) el grado de resiliencia a perturbaciones antrópicas, (2) la calidad de la matriz, (3) la presencia de elementos de patrimonio geológico que ayuden a justificar la conservación de ciertas áreas, (4) aspectos de seguridad, (5) estado de conservación y movilidad de la fauna, y (5) aspectos de la legislación universitaria relacionados a la gestión del territorio y manejo de áreas verdes. Además,



será importante considerar si existen planes a futuro para el desarrollo de infraestructura en los remanentes del *campus*.

Para el caso de las UE analizadas en este estudio es posible decir que los remanentes más cercanos al Estadio Olímpico podrían estar protegidos contra el desarrollo de infraestructura debido a su localización dentro del área designada como patrimonio de la humanidad por parte de la UNESCO (Fig. 6.3). Por otro lado, las autoridades de la Unidad de Transparencia y del Anexo de la Facultad de Filosofía mencionaron que hasta la fecha no hay planes de desarrollo de infraestructura en sus remanentes de pedregal, mientras que para el resto de las UE se desconoce si existen planes de desarrollo. El trabajo con las entidades universitarias que podrían proporcionar información al respecto ha sido complicado, ya que se tienen muchas reservas al solicitarles este tipo de información. Este fue el caso de la Dirección General de Obras y Conservación, que es una entidad relacionada con la construcción de infraestructura en el *campus*, la cual, a su vez, se encarga del manejo de áreas verdes. Esto podría deberse a conflictos de interés. Por ejemplo, el personal de esta entidad busca evitar conflictos con otros miembros de la comunidad universitaria que buscan proteger remanentes de pedregal, o bien, a que esta entidad universitaria está desarrollando un plan de manejo de remanentes de pedregal al cual no se le ha dado la difusión apropiada. Por tanto, es muy importante establecer un diálogo con esta entidad universitaria y otros actores sociales relacionados a la conservación del pedregal para establecer un plan de manejo integral y consensuado de los remanentes de pedregal, y así trabajar en conjunto en pro del ecosistema del pedregal.



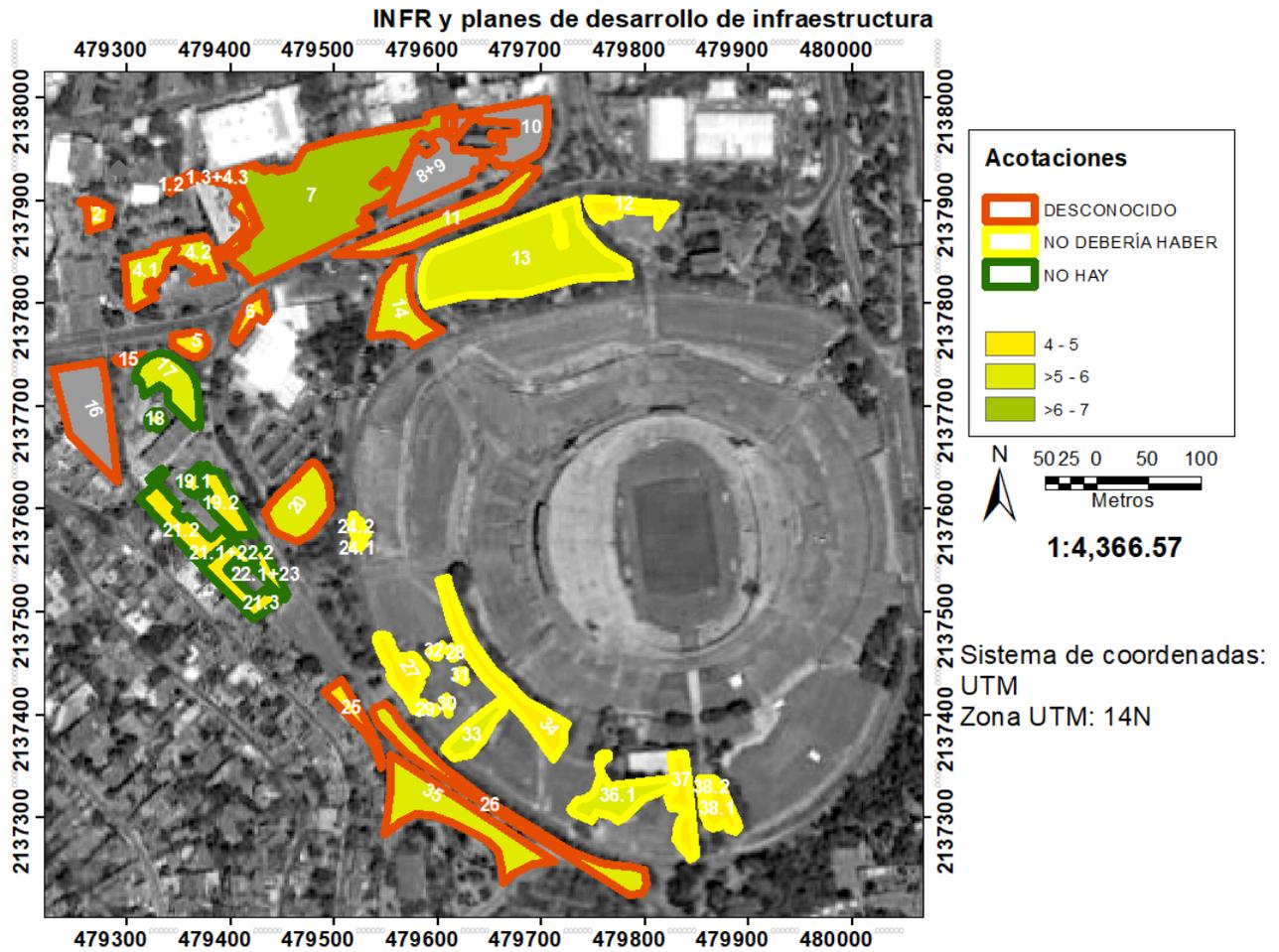


Figura 6.3. Mapa de valores del Índice de Necesidad y Factibilidad de Restauración (*INFR*) y de los planes a futuro de desarrollo de infraestructura (borde de los polígonos) para cada unidad de estudio.

VII. CONCLUSIONES

A partir de los resultados y discusión de este trabajo se puede concluir lo siguiente. Todas las UE alrededor del Estadio Olímpico tienen necesidad de ser restauradas en distintos grados, aunque las más grandes están mejor conservadas por lo que presentan mayor factibilidad ecológica de recuperarse de los disturbios que las afectan y por tanto su restauración es prioritaria. Sin embargo, debido a la envergadura de su superficie, la ejecución de acciones de restauración ecológica podría representar costos económicos elevados. Por ello, una alternativa a este problema sería rehabilitar ecológicamente las zonas más degradadas de estas UE a través del establecimiento de tipos de vegetación nativos que no requieran del sustrato rocoso, así como restaurar el matorral donde la roca está presente. Se recomienda, además, restaurar, rehabilitar o establecer xerojardines en los

remanentes con menor factibilidad ecológica. Este rescate permitiría fomentar el conocimiento del ecosistema y la participación social para la recuperación y conservación del ecosistema original. La implementación de estas acciones ayudaría a conocer los umbrales dentro de los cuales aún es posible restaurar este tipo de ecosistema.

LITERATURA CITADA

- Antonio-Garcés, J. 2008. *Restauración ecológica de la zona de amortiguamiento 8 de la Reserva del Pedregal de San Ángel, D.F. (México)*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Antonio-Garcés, J., M. Peña, Z. Cano-Santana, M. Villeda y A. Orozco-Segovia. 2009. Cambios en la estructura de la vegetación derivados de acciones de restauración ecológica en las zonas de amortiguamiento biológicas y Vivero Alto. Pp. 465-481, en: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Auld, B., H. Morita, T. Nishida, M. Ito y P. Michael. 2003. Shared exotica: plant invasions of Japan and South Eastern Australia. *Cunninghamia*, 8:147–152.
- Beninde, J., M. Veith y A. Hochkirch. 2015. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology Letters*, 18(6), 581–592.
- Camarena, P. 2010. *Xerojardinería. Guía para el diseño de los jardines de Ciudad Universitaria*. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel/ Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana, Z., S. Castillo-Argüero, Y. Martínez-Orea y S. Juárez-Orozco. 2008. Análisis de la riqueza vegetal y el valor de conservación de tres áreas incorporadas a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D.F. (México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 82: 1-14.



-
- Carrillo-Trueba, C. 1995. *El Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Castillo, A. y J. L. Peña-Mondragón. 2015. Métodos de investigación social: fundamentos, técnicas y aportaciones para el entendimiento de las relaciones sociedad-vida silvestre. Pp. 189-210, en: S. Gallina (ed.). *Manual de técnicas del estudio de la fauna*. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- Castillo-Argüero, S., G. Montes-Cartas, M. A. Romero-Romero, Y. Martínez-Orea, P. Guadarrama-Chávez, I. Sánchez-Gallén y O. Núñez-Castillo. 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.
- Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, M. A. Romero-Romero, P. Guadarrama-Chávez, O. Núñez-Castillo, I. Sánchez-Gallén y J. A. Meave. 2007. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: aspectos florísticos y ecológicos*. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, J. A. Meave, M. Hernández-Apolinar, O. Núñez-Castillo, G. Santibáñez-Andrade y P. Guadarrama-Chávez. 2009. Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. Pp. 107-133, en: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ceccon, E. 2013. *Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. CRIM, UNAM-Díaz de Santos, México.
- César-García, S. F. 2002. *Análisis de algunos factores que afectan la fenología reproductiva de la comunidad vegetal de la Reserva del Pedregal de San Ángel, D.F. (México)*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

-
- Cipollini, K. A., A. L., Maruyama y C. L. Zimmerman. 2005. Planning for restoration: a decision analysis approach to prioritization. *Restoration Ecology*, 13: 460–470.
- Clewell, A. F. y J. Aronson. 2013. *Ecological restoration: Principles, values and structure of an emerging profession*. Island Press, Washington DC, EE.UU.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. 2017. *Malezas de México*. En: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/0claves/0claves-inicio.htm>. Consultado el 1 de noviembre de 2017.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. 2015. *Sistema de información sobre especies invasoras en México*. En: https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/pdf/presentes_confinados.pdf. Consultado el 29 de abril de 2019.
- Corzo-Ramírez, L., E. Jerena y R. Rubio-Mendoza. 2012. La potencialidad del territorio en la restauración ecológica. *Gestión y Ambiente*, 15: 39-50.
- Costa, H., M. J. Bettencourt, C. M. N. Silva, J. Teodósio, A. Gil y L. Silva. 2013. Invasive alien plants in the Azorean protected areas: invasion status and mitigation actions. Pp. 375-394, en: L. C. Foxcroft, P. Pyšek, D. M. Richardson y P. Genovesi (eds.). *Plant invasions in protected areas: patterns, problems and challenges*. Springer, Dordrecht.
- Darwiche-Criado, N., R. Sorando, S. G. Eismann y F. A. Comin. 2017. Comparing two multi-criteria methods for prioritizing wetland restoration and creation sites based on ecological, biophysical and socio-economic factors. *Water Resources Management*, 31: 1227–1241.
- DCSIG-SEREPSA. 2016. *Mapa de remanentes de pedregal en Ciudad Universitaria*. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, Ciudad de México.
- Dearborn, D. C. y S. Kark. 2010. Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation Biology*, 24: 432–440.



-
- Departamento de Montes, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2004. *Inventario forestal nacional. Manual de campo. Documento de trabajo 94/S*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Guatemala.
- Dirección General de Comunicación Social, UNAM. 2019. Ciudad Universitaria, ejemplo de modernidad y desarrollo urbano. Boletín UNAM-DGCS-192. En: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2019_192.html.
- Doley, D. y P. Audet, P. 2013. Adopting novel ecosystems as suitable rehabilitation alternatives for former mine sites. *Ecological Processes*, 2: 1–11.
- Estañol-Tecuatl, F. y Z. Cano-Santana. 2017. Recovery of basalt substrate for xeric scrub restoration in a lava field in Mexico City. *Ecological Restoration*, 35:41–51.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fuller, R. A., K. Irvine, P. Devine-Wright, P. Warren, K. Gaston. 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*, 3: 390–394.
- Gann, G. D., T. McDonald, B. Walder, J. Aronson, C.R. Nelson, J. Jonson, J. G. Hallett, C. Eisenberg, M. R. Guariguata, J. Liu, F. Hua, C. Echeverría, E. Gonzales, N. Shaw, K. Decler y K.W. Dixon. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.
- Gobster, P. H., K. Floress, L. M. Westal, C. A. Watkins, J. Vining y A. Wali. 2016. Resident and user support for urban natural areas restoration practices. *Biological Conservation*, 203: 216-225.
- 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 profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.



-
- González-Rebeles-Guerrero, G. 2012. *Efecto de cinco años de restauración sobre la comunidad vegetal y dos poblaciones de artrópodos en el área A11 de la Reserva del Pedregal de San Ángel*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gross, M. 2006. Beyond expertise: ecological science and the making of socially robust restoration strategies. *Journal for Nature Conservation*, 14: 172–179.
- Guevara, S., S. E. Purata y E. Van der Maarel. 1986. The role of remnant trees in tropical secondary succession. *Vegetatio*, 66: 77-84.
- Guida-Johnson, B. y G. A. Zuleta. 2017. Riparian rehabilitation planning in an urban-rural gradient: integrating social needs and ecological conditions. *Ambio* 1–10. [http://dx. doi.org/10.1007/s13280-016-0857-7](http://dx.doi.org/10.1007/s13280-016-0857-7).
- Gustafson, E. J. y G. R. Parker. 1992. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology*, 7:101-110.
- Hernández-Sampieri, R., C. Fernández-Collado y M. P. Baptista-Luico. 2010. *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana Editores, México.
- Hobbs, R. J. y V. A. Cramer. 2008. Restoration Ecology: Interventionist Approaches for Restoring and Maintaining Ecosystem Function in the Face of Rapid Environmental Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 33: 39–61.
- Hobbs, R. J., E. Higgs y J. A. Harris. 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology & Evolution*, 24: 599–605.
- Honnay, O., B. Bossuyt, K. Verheyen, J. Butaye, H. Jacquemyn y M. Hermy. 2002. Ecological perspectives for the conservation of plant communities in European temperate forests. *Biodiversity Conservation*, 11: 213–242.
- Ignatieva, M., G. H. Stewart y C. Meurk. 2011. Planning and design of ecological networks in urban areas. *Landscape Ecological Engineering*, 7:17–25.



-
- Ives, C. D., P. E. Lentini, C. G. Threlfall, K. Ikin, D. F. Shanahan, G. E. Garrard, S. A. Bekessy, R. A. Fuller, L. Mumaw, L. Rayner, R. Rowe, L. E. Valentine y D. Kendal. 2016. Cities are hotspots for threatened species. *Global Ecology and Biogeography*, 25: 117–126.
- Januchowski-Hartley, S. R., K. Moon, N. Stoeckl y S. Gray. 2012. Social factors and private benefits influence landholders' riverine restoration priorities in tropical Australia. *Journal of Environment Management*, 110: 20-26.
- Jordan, W. R., M. E. Gilpin y J. D. Aber. 1987. Restoration ecology: Ecological restoration as a technique for basic research. Pp. 3-21, en: W. R. Jordan, M. E. Gilpin y J. D. Aber (eds.). *A synthetic approach to ecological research*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kang W., E. S. Minor, C. R. Park, D. Lee. 2015. Effects of habitat structure, human disturbance, and habitat connectivity on urban forest bird communities. *Urban Ecosystems*, 18: 857–870.
- Konijnendijk, C. C. 2005. New Perspectives for Urban Forests: Introducing Wild Woodlands. Pp. 33-45, en I. Kowik y S. Körner (eds.). *Wild Urban Woodlands: New Perspectives for Urban Forestry*. Springer, Berlín.
- Krebs, C. J. 1989. *Ecological methodology*. Harper & Row, Nueva York.
- Lara-Deras, R. 2016. *Difusión cultural del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria a través de la xerojardinería con base en la vegetación nativa*. Tesis profesional. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Laurila-Pant, M., A. Lehtikoinen, L. Uusitalo y R. Venesjärvi. 2015. How to value biodiversity in environmental management? *Ecological Indicators*, 55: 1–11.
- Legendre, P. y L. Legendre. 2012. *Numerical ecology*. 3ª. ed. Elsevier, Oxford.
- Leite, M. de S., L. R. Tambosi, I. Romitelli y J. P. Metzger. 2013. Landscape ecology perspective in restoration projects for biodiversity conservation: a review. *Natureza & Conservação*, 11: 108–118.

-
- Llewellyn, D. W., G. P. Shaffer, N. J. Craig, L. Creasman, D. Pashley, M. Swan y C. Brown. 1996. A decision-support system for prioritizing restoration sites on the Mississippi River alluvial plain. *Conservation Biology*, 10: 1446–1455.
- Lithgow, D., L. M. Martínez y J. B. Gallego-Fernández. 2015. The ‘Re-Dune’ index (Restoration of Coastal Dunes Index) to assess the need and viability of coastal dune restoration. *Ecological Indicators*, 49: 178-187.
- Lithgow, D., M. L. Martínez y J. B. Gallego-Fernández. 2013. Multicriteria analysis to implement actions leading to coastal dune restoration. Pp. 307-321, en: M. L. Martínez, J. B. Gallego-Fernández y P. A. Hesp (eds.). *Coastal dune restoration*. Springer-Verlag, Berlín.
- Lohr, S. L. 1999. *Sampling design and analysis*. Duxbury Press, Pacific Grove, California.
- López-López, S. F., T. Martínez-Trinidad, H. M. Benavides-Meza, M. García-Nieto y G. Ángeles-Pérez. 2018. Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. *Madera y Bosques*, 24: 1-14.
- Lot, A. y Z. Cano-Santana (eds.). 2009. *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Mañón-de la Cruz, R., M. E. Orozco-Hernández y P. Mireles-Lezama. 2018. Evaluación de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5: 51-66.
- Maravilla-Romero, M.C. y Z. Cano-Santana. 2009. Riqueza florística, estado de conservación y densidad de eucaliptos en cinco zonas de amortiguamiento y un área natural no protegida de Ciudad Universitaria. Pp. 509-521, en: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez-Ramos, M. y X. García-Orth. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80: 69–84.



-
- McGarigal, K., S. A. Cushman y E. Ene. 2012. FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts, Amherst. En: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Mendoza, G.A. y H. Martins. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modeling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230: 1-22.
- Miller, J. y R. Hobbs. 2002. Conservation where people live and work. *Conservation Biology*, 16: 330–337.
- Miller, J. R. y R. J., Hobbs. 2007. Habitat restoration—Do we know what we’re doing? *Restoration Ecology*, 15: 382-390.
- Miles, I., W. C. Sullivan y F. E. Kuo. 1998. Prairie restoration volunteers: The benefits of participation. *Urban Ecosystems*, 2: 27-41.
- Mostert, E., M. Gaertner, P. M. Holmes, P. J. O’Farrell y D. M. Richardson. 2018. A multicriterion approach for prioritizing areas in urban ecosystems for active restoration following invasive plant control. *Environmental Management*, 62: 1150–1167.
- 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 profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Nava-López, M., J. Jujnovsky, R. Salinas-Galicia, J. Álvarez-Sánchez y L. Almeida-Leñero. 2009. Servicios ecosistémicos. Pp. 51-60, en: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

-
- Natale, E., G. Villalba, J. E. Junquera y S. M. Zalba. 2015. Assessment of the conservation status of natural and semi-natural patches associated with urban areas through habitat suitability indices. *International Journal of Environmental Research*, 9: 495-504.
- Noguez-Ledesma, L. P. En preparación. *Efecto de borde sobre la estructura de la comunidad vegetal de la Reserva del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, México*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Orsi, F., D. Geneletti y A. C. Newton. 2011. Towards a common set of criteria and indicators to identify forest restoration priorities: An expert panel-based approach. *Ecological Indicators*, 11: 337-347.
- Peralta-Higuera, A. y J. Prado-Molina. 2009. Los límites y la cartografía. Pp. 27-42, en: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Pirnat, J. 2000. Conservation and management of forest patches and corridors in suburban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 52: 135-143.
- Pisanty, I., M. Mazari y E. Ezcurra. 2009. *El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas, en capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Rahman, M. R, Z. H. Shi y C. Chongfa. 2014. Assessing regional environmental quality by integrated use of remote sensing, GIS, and spatial multi-criteria evaluation for prioritization of environmental restoration. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186: 6993-7009.
- Renison, D., M. L. Herrero, R. Torres, R. Suarez, P. Friedlander, S. E. Navarro Ramos, F. Barri. y A. M. Cingolani. 2016. El rol de los voluntariados en la restauración del centro argentino. Pp. 55-76, en: E. Ceccon y D. R. Pérez (eds.). *Más allá de la ecología de la restauración*.



perspectivas sociales en América Latina y el Caribe. Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires.

R Development Core Team. 2018. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ríos-Martínez-Soto, R. C. 2008. *Valuación económica de la biodiversidad en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel aplicaciones del método de valuación contingente*. Tesis de maestría en Economía. Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Rojas-García, F., B. H. J. De Jong, P. Martínez-Zurimendí y F. Paz-Pellat. 2015. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science*, 72: 835-864.

Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional*, 8: 59-129.

Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores. 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán.

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 profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Saunders, D. A., R. J. Hobbs y C. R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5: 18.

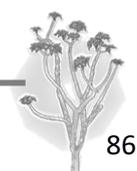
Schmitt-Harsh, M., T. P. Evans, E. Castellanos y J. C. Randolph. 2012. Carbon stocks in coffee agroforests and mixed dry tropical forests in the western highlands of Guatemala. *Agroforestry Systems*, 86:141-157.

-
- SEREPSA, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2008. *Manual de procedimientos del Programa de Adopción de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (ProREPSA)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- SEREPSA, Secretaría de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2017. Ficha descriptiva REPSA. En: <http://www.repsa.unam.mx/index.php/objetivos/caracteristicas/ficha-descriptiva>. Consultado el 25 de septiembre de 2017.
- SEREPSA, Secretaría de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2018a. PROREPSA. En: <http://www.repsa.unam.mx/index.php/objetivosrepsa/divulgacion/vinculacion/vin-prorepsa>. Consultado el 16 de mayo de 2018.
- SEREPSA, Secretaría de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2018b. Rescate de pedregales remanentes. En: <http://www.repsa.unam.mx/index.php/objetivosrepsa/conservacion/acciones-mitigacion/mit-rescate-pedregales>. Consultado el 16 de mayo de 2018.
- SEREPSA, Secretaría de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2019. Programa de Colaboradorus REPSA. Semestre 2020-1. En: <http://www.repsa.unam.mx/index.php/objetivosrepsa/divulgacion/vinculacion/vin-cols>. Consultado el 12 de septiembre de 2018.
- Sharma, R. K., P. L. Sankhayan y O. Hofstad. 2008. Forest biomass density, utilization and production dynamics in a western Himalayan watershed. *Journal of Forestry Research*, 19:171-180.
- Siebe, C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/- 35 años AP y sus implicaciones. Pp. 43-49, en: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Siebe, C. 2000. Age and archaeological implications of Xitle volcano, southwestern Basin of Mexico-City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104: 45-64.



-
- Sierra, F. 1998. Función y sentido de la entrevista cualitativa en investigación social. Pp. 277–345, en: C. J. Galindo (coord.). *Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación*. Pearson & Addison Wesley Longman, México.
- Standish, R. J., R. J. Hobbs y J. R. Miller. 2013. Improving city life: options for ecological restoration in urban landscapes and how these might influence interactions between people and nature. *Landscape Ecology*, 28: 1213-1221.
- Steeple, D. W. 2005. Near-surface geophysics: 75 years of progress: *Supplement to The Leading Edge*, 24: S82–S85.
- Stenhouse, R. 2004. Fragmentation and internal disturbance of native vegetation reserves in the Perth metropolitan area, Western Australia. *Landscape and Urban Planning*, 68: 389–401.
- Threlfall, C. G. y D. Kendal. 2018. The distinct ecological and social roles that wild spaces play in urban ecosystems. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29: 348-356.
- Tefera, M. y T. Soromessa. 2013. Carbon stock potentials of woody plant species in Biheretsige and central closed public parks of Addis Ababa and its contribution to climate change mitigation. *Journal of Environment and Earth Science*, 5: 1-14
- Tritton, L. M. y J. W. Hornbeck. 1982. *Biomass equations for major tree species of the Northeast*. Gen. Tech. Rep. NE-69. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station, Broomall, E.U.A.
- Tobón, W., T. Urquiza-Haas, P. Koleff, M. Schröter, R. Ortega-Álvarez, J. Campo, R. Lindig-Cisneros, J. Sarukhán y A. Bonn. 2017. Restoration planning to guide Aichi targets in a megadiverse country. *Conservation Biology*, 31: 1086–1097.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. 2007. Central University City *Campus* of the Universidad Nacional Autónoma de México. En:

-
- http://whc.unesco.org/en/list/1250/multiple=1&unique_number=1427. Consultado el 25 de septiembre de 2017.
- U.S. National Plant Germplasm System. 2019. GRIN Taxonomy. En: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxonomybrowse.aspx>. Consultado el 20 de abril de 2019.
- Vilà, M. e I. Ibáñez. 2011. Plant invasions in the landscape. *Landscape Ecology*, 26: 461–472.
- Villaseñor J.L. y F. Espinosa-García. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions*, 10: 113-123.
- Wall-Guzmán, M. E. 2017. *Servicio ecosistémico de regulación de un pedregal remanente: características térmicas*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Williams, N.S.G, J. W. Morgan, M. J. McDonnell y M. A. McCarthy. 2005. Plant traits and local extinctions in natural grasslands along an urban and rural gradient. *Journal of Ecology*, 93: 1203–1213.
- Zambrano, L., S. Rodríguez-Palacios, M. Pérez-Escobedo, G. Gil-Alarcón, P Camarena y A. Lot. 2016. *La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Atlas de riesgos*. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Zanne, A. E., G. Lopez-Gonzalez, D. A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S. L. Lewis, R. B. Miller, N. G. Swenson, M. C. Wiemann y J. Chave. 2009. Global wood density database. Dryad. En: <https://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.234>. Consultado el 28 de abril de 2019.



ANEXO A: Técnicas y métodos para evaluar indicadores del análisis multicriterio

A1. Factor de necesidad de restauración

A1.1. Criterio: grado de conservación de la vegetación

A1.1.1. Indicador: grado de similitud respecto a una zona conservada. Para evaluar el grado de conservación de la vegetación se realizaron muestreos con la técnica de línea de interceptación de Canfield (Krebs, 1989), la cual permite conocer la cobertura de cada especie en las unidades de estudio, así como en dos sitios conservados que se ubican en las zonas núcleo poniente y oriente de la reserva (Figura A1). Los sitios en las zonas núcleo fueron seleccionados como referencia ya que están relativamente próximos a la zona de interés, y no han sufrido incendios al menos desde 2004 a diferencia de otras áreas de las zonas núcleo (Zambrano *et al.*, 2016).

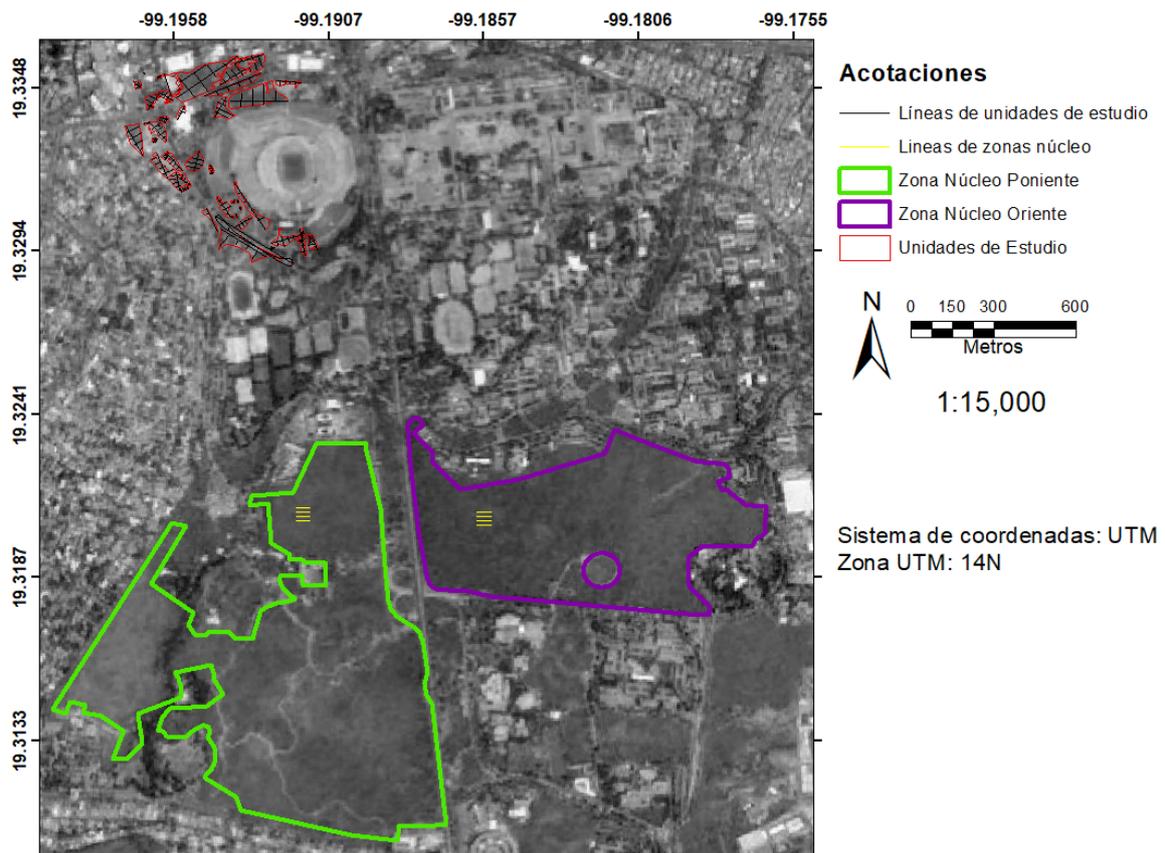


Figura A1. Ubicación de las zonas conservadas a estudiar en relación con los pedregales remanentes colindantes al Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México. Polígonos en rojo, unidades de estudio alrededor del Estadio Olímpico; polígono verde, zona núcleo poniente (ZNP); polígono morado, zona núcleo oriente (ZNO); líneas en amarillo, sitios de muestreo en zonas conservadas.

Para la definición de las líneas de interceptación en las UE adyacentes al Estadio Olímpico, se siguió el procedimiento que se describe a continuación. Primero se estableció para cada unidad la distancia mayor existente entre dos puntos de su perímetro. Posteriormente, se trazó una línea entre estos dos puntos y se dividió en cinco partes iguales. En caso de existir dos o más pares de puntos con las mismas distancias máximas para el polígono, se eligió una de las parejas de puntos al azar. En las fronteras entre cada una de las cinco divisiones se trazaron líneas perpendiculares a la línea de longitud mayor, y se extendieron hasta que tocaron los dos puntos opuestos del perímetro del polígono, estos trazos corresponden a las líneas de interceptación (Fig. A2). La disposición de las líneas de interceptación en todas las unidades de estudio se muestra en la Figura A3.

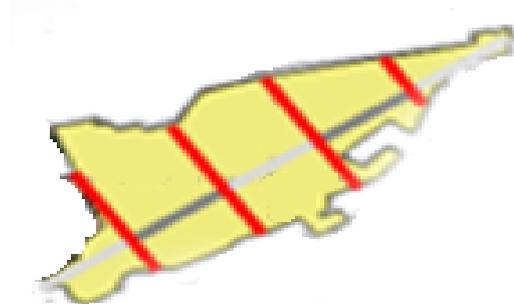


Figura A2. Ejemplo de la definición de las líneas de interceptación en las unidades de estudio 7. Se muestra la línea de longitud mayor entre dos puntos dividida en 5 partes iguales en dos tonos de gris. Las líneas de interceptación perpendiculares a la línea de longitud mayor se muestran en rojo.

Para el caso de las zonas núcleo oriente y poniente se instalaron cuatro líneas paralelas de interceptación de 50 m de largo con una separación de 16.7 m entre cada una (Figura A1). Estas líneas se instalaron a una distancia mínima de 50 m del punto de acceso a la zona de estudio. Se intentó que las líneas quedaran instaladas en un sitio que no fuera atravesado por otros caminos, que tuviera una cobertura de 100% de roca basáltica y en la que no se encontraran basura, eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) o pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), sin embargo, en ambas zonas existen caminos angostos

tipo vereda hechos por otros investigadores, y en la Zona Núcleo Oriente se encontró una franja no muy ancha de pasto kikuyo.

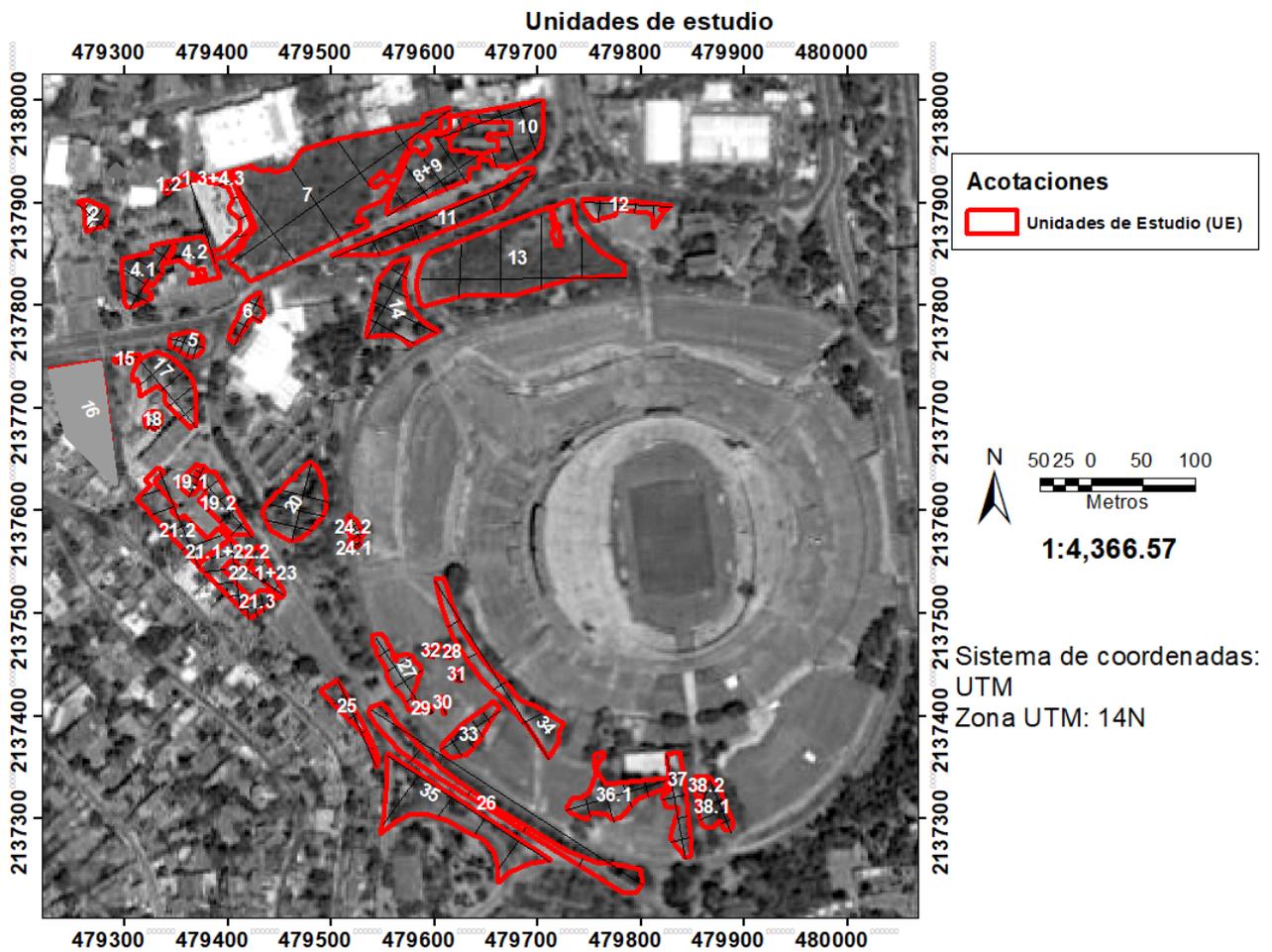


Figura A3. Disposición de las líneas de interceptación (líneas negras) en las unidades de estudio (polígonos rojos).

Los levantamientos de vegetación se centraron en plantas vasculares y se llevaron a cabo cerca del final de la temporada de lluvias entre septiembre y octubre de 2017. En particular, septiembre es el mes del año en que se puede registrar el mayor número de especies de plantas de pedregal en floración (61.1%) (César-García, 2002), lo que permite su identificación, la cual se llevó a cabo con la guía de campo de Castillo-Argüero y colaboradores (2007) y, cuando fue necesario, se colectaron ejemplares para su identificación con la guía de malezas de la CONABIO (2017), el herbario del Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos y con el apoyo de la M. en C. Yuriana Martínez Orea y el M. en C. Ramiro Cruz Durán. Todos los ejemplares fueron depositados en el herbario del Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos de la Facultad de Ciencias. Cabe mencionar que



se dio el aviso correspondiente a la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos de la SEMARNAT para poder llevar a cabo la colecta de plantas. El número de oficio es SGPA/DGGFS/712/1992/18, bitácora 09/N1-0146/07/18.

Con los datos de cobertura obtenidos con la línea de Canfield se calculó el índice de similitud de Horn-Morisita entre las unidades de estudio y las zonas de referencia conservadas en el programa EstimateS (Versión 9, R. K. Colwell, <http://purl.oclc.org/estimates>) con el fin de conocer su grado de deterioro. Este índice fue elegido ya que no se ve afectado significativamente por los diferentes tamaños de muestra que se tomaron en cada unidad de estudio (Krebs, 1989).

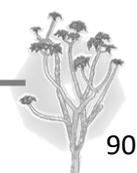
El valor del indicador, criterio y factor de necesidad de restauración para cada unidad de estudio se obtuvo de la siguiente manera. Se tomó el mayor valor de porcentaje de similitud obtenido entre cada unidad de estudio y una de las dos zonas conservadas. Este valor se dividió entre diez para obtener calificaciones entre 0 y 10, en la que los valores mayores representan un menor grado de similitud con las zonas conservadas. Es por esto que este indicador se considera negativo, es decir, a mayores valores de similitud entre una unidad de estudio y una zona conservada, se esperaría que la vegetación estuviera mejor conservada en la UE por lo que en este caso se podría considerar que las necesidades de llevar a cabo acciones de restauración son menores. Por tanto, a mayor necesidad de restauración, mayor será el valor asignado al factor, criterio e indicador de necesidad de restauración.

A2. Factor de factibilidad de restauración

A2.1. Criterios ecológicos

A2.1.1. Criterio: fuente local de propágulos de plantas nativas

A2.1.1.1 Indicador: número de especies de plantas nativas no arvenses. Los individuos remanentes de especies nativas en un sitio a ser restaurado pueden servir como fuente de propágulos para el proceso de restauración (Guevara *et al.*, 1986). Esto podría hacer más factible a la recuperación de la vegetación ya que disminuirá la necesidad de que lleguen organismos de otros sitios más alejados (Forman, 1995).



En este estudio se evaluó el estado de la fuente de propágulos local a través de conocer el número de especies de plantas nativas que se registraron en cada unidad de estudio al realizar la medición de las coberturas de las especies mediante la línea de Canfield en el criterio de grado de conservación de la vegetación que se explicó en detalle anteriormente.

A mayor número de especies nativas registradas en cada unidad de estudio este indicador tomó valores mayores en una escala del 0 al 10, y por tanto este indicador se considera positivo, ya que, a mayor número de especies nativas, se esperaría que la comunidad vegetal pudiera recuperarse y acercarse lo más posible a un sitio conservado en menor tiempo (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007).

A2.1.2. Criterio: competencia con especies de plantas exóticas y arvenses

A2.1.2.1. Indicador: cobertura de especies de plantas exóticas y arvenses. Las especies de plantas exóticas y arvenses pueden competir por recursos y espacio con las especies nativas y desplazarlas o impedir que se establezcan lo que afecta el proceso de recuperación (Ceccon, 2013). Es por eso que resulta importante conocer el grado en que un área ha sido afectada por estas especies.

A través de las coberturas obtenidas para las distintas especies de plantas al evaluar el grado de conservación de la vegetación en las distintas unidades de estudio, se calculó la cobertura total de las especies exóticas y arvenses para cada una de ellas. Para determinar el estatus de las especies se consultaron las publicaciones de Villaseñor y Espinosa-García (2004), Castillo-Argüero y colaboradores (2004, 2009), Rzedowski y Rzedowski (2005) Antonio-Garcés y colaboradores (2009), CONABIO (2015, 2017), González-Jaramillo (2018) y el U.S. National Plant Germplasm System (2019).

Este indicador se considera negativo ya que al haber mayor cobertura de especies exóticas y arvenses existirá una menor cobertura de las especies nativas que se buscan recuperar en un proceso de restauración y por tanto será mayor el área a la que se podrían tener que aplicar acciones para controlar las especies no deseadas. Por lo tanto, este indicador tomó valores mayores en una escala



del 0 al 10 cuando la cobertura de especies exóticas y arvenses fue menor, indicando una mayor factibilidad de restauración.

A2.1.3. Criterio: grado de conservación de la roca basáltica

A2.1.3.1. Indicador: Porcentaje del área cubierto con roca basáltica. El grado de conservación de la roca basáltica se evaluó a través del porcentaje de área de cada unidad de estudio cubierta con roca basáltica. Para estimar esta cobertura se utilizaron en cada unidad de estudio las mismas líneas de interceptación que las usadas para estudiar la vegetación. El valor de este indicador para cada unidad de estudio se calculó dividiendo el porcentaje cubierto por roca volcánica entre 10 de tal manera que a mayor cobertura de roca volcánica las unidades de estudio obtuvieron valores mayores, por lo tanto, es un indicador que influyó de manera positiva en el factor de factibilidad de restauración. Esto se justifica ya que la presencia de la roca basáltica favorece la colonización de plantas nativas adaptadas a este tipo de sustrato y si en un sitio está bien conservada la roca se evita tener que agregar más material el cual puede estar contaminado con propágulos de especies no deseadas (Antonio-Garcés *et al.*, 2009).

A2.1.4. Criterio: forma del parche

A2.1.4.1. Indicador: relación perímetro sobre área. La forma que tienen los fragmentos de vegetación en un paisaje alterado influye en el número y tipo de especies que pueden albergar debido al efecto de borde. Cuánto más alargado es un fragmento, los efectos de borde pueden ser mayores (Forman, 1995; Honnay *et al.*, 2002; Leite *et al.*, 2013). Por tanto, para evaluar la factibilidad de restaurar una comunidad biótica particular es importante conocer la forma del fragmento en donde se pretende realizar actividades de restauración (Cecccon, 2013).

En el presente estudio se evaluó el efecto de borde en cada unidad de estudio a través de la medición de su perímetro y área para posteriormente obtener el valor de la relación perímetro sobre área (Forman, 1995). Para ello se utilizaron los polígonos que se generaron en el presente estudio para las UE los cuales fueron exportados al programa FRAGSTATS (McGarigal *et al.*, 2012), que



además de permitir evaluar directamente la relación perímetro sobre área de cada unidad de estudio, permitió medir otras variables de fragmentación del hábitat.

El indicador del criterio de forma del parche se considera negativo ya que, de acuerdo con la literatura (por ejemplo, Forman, 1995; Honnay *et al.*, 2002; Leite *et al.*, 2013), valores mayores en la relación perímetro sobre área indican que un fragmento es más alargado o pequeño y por lo tanto tiene mayor efecto de borde y repercusiones sobre la comunidad vegetal nativa. Por lo tanto, a mayores valores en la relación área perímetro obtenidos para las unidades de estudio, el indicador obtuvo valores menores en una escala del 0 al 10.

A2.1.5. Criterio: tamaño del parche

A2.1.5.1 Indicador: área del parche. Al igual que la forma, el tamaño de un parche de hábitat influye directamente en las afectaciones que puede sufrir por efectos de borde (Forman, 1995; Honnay *et al.*, 2002; Leite *et al.*, 2013). Por tanto, también es importante considerarlo a la hora de evaluar la factibilidad de restauración de un sitio.

El área de las UE se obtuvo a partir de los mismos polígonos utilizados para evaluar la forma de los parches con el programa FRAGSTATS (McGarigal *et al.*, 2012).

El indicador del criterio de tamaño del parche se considera positivo ya que a mayor área de un parche se esperaría que el efecto de borde fuera menor (Forman, 1995). Por lo tanto, a mayores valores de área para las unidades de estudio, el indicador obtuvo valores mayores en una escala del 0 al 10.

A2.1.6. Criterio: aislamiento del parche

A2.1.6.1. Indicador: análisis de proximidad en FRAGSTATS. Uno de los aspectos importantes a considerar para que un sitio pueda ser restaurado a través de procesos naturales de colonización es su aislamiento. El grado de aislamiento de un fragmento condiciona la tasa de inmigración de especies hacia su interior (Forman, 1995; Ceccon, 2013).

Gustafson y Parker (1992) propusieron un índice de proximidad para evaluar el grado de aislamiento de un parche. Este índice se eligió en el presente estudio ya que en este no solamente se considera las distancias al resto de los parches sino que también considera el área de éstos a través de la siguiente expresión (Gustafson y Parker, 1992; McGarigal *et al.*, 2012):

$$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2} \dots\dots\dots (Ec. A1)$$

donde: a_{ijs} = área del parche ijs dentro del radio de búsqueda especificado para el parche ij , y h_{ijs} = distancia entre el parche ijs e ij basado en la distancia entre borde y borde de los parches calculada de centro a centro de las celdas correspondientes.

Con esta medida de aislamiento se logra dar valores mayores a un parche que tenga vecinos grandes a una distancia dada que a un parche que tenga vecinos pequeños a la misma distancia.

Para calcular las calificaciones para este indicador a partir de la fórmula anterior se llevó a cabo el siguiente proceso. Primero se establecieron en ArcGIS el sistema de coordenadas UTM y el DATUM WGS84. Después se cargaron al programa tres capas que corresponden a: 1, mapa de remanentes de pedregal de Ciudad Universitaria; 2, mapa base de las unidades de estudio; 3, polígonos de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Las dos últimas capas se transformaron a formato *.shp con las herramientas de conversión de KML a layer y se exportaron a *.shp. En “Data frame properties” se estableció la extensión del área de análisis de tal manera que abarcará el total de las capas. Estos archivos vectoriales se transformaron a formato raster con la herramienta de conversión “from polygon to raster”, estableciendo como parámetros un tamaño de celda de 0.3 m, el método de área máxima para generar el raster y en la pestaña de “Environments” se seleccionó la opción de “Same as display” en la sección de “Processing extent” para rasterizar el área completa de las tres capas que se mostraba en pantalla. La resolución de celda que fue seleccionada corresponde a la resolución máxima que permitía obtener un raster donde las áreas de las UE no se traslaparan y

a su vez fuera posible el análisis en el programa FRAGSTATS con la capacidad de cómputo disponible.

Una vez obtenidas las capas raster, éstas se reclasificaron de tal manera que los espacios sin información tuvieran un valor de 0 y los que tuvieran información mostrarán un valor de 1. Posteriormente se realizó una suma de los valores en las capas raster reclasificadas con la herramienta “Raster calculator” y el resultado se reclasificó para que los espacios con valores de 0 se consideraran como sin información (NoData) y los mayores a cero con un valor de 1. Con este proceso se obtuvo una capa raster que incluía todos los remanentes de pedregal dentro de Ciudad Universitaria junto a las unidades de estudio para poder calcular el grado de aislamiento de cada parche con relación a todos los remanentes de pedregal del *campus*. Esta capa raster se transformó a formato Geotiff y se importó al programa FRAGSTATS versión 4.2.1 (McGarigal *et al.*, 2012). En este programa se procedió a calcular la proximidad (aislamiento) con un radio de búsqueda de 20,000 m para asegurar que al calcular la proximidad de cada UE se tomaran en cuenta todos los remanentes de pedregal en CU.

Los resultados de FRAGSTATS fueron exportados a Excel y se les asignaron calificaciones del 0 al 10 con la mejor calificación para el pedregal con mayor valor de proximidad. De esta manera el criterio de aislamiento del parche se considera positivo, ya que a valores mayores de proximidad de una UE el criterio toma valores mayores en una escala del 0 al 10. Esto reflejaría el aislamiento de un sitio y por tanto la dificultad que tienen los organismos para colonizarlo durante el proceso de restauración (Forman, 1995; Ceccon, 2013) lo que repercutiría directamente en la factibilidad de llevar a cabo dicho proceso.

A2.2. Criterio económico

El costo de llevar a cabo acciones de restauración es uno de los principales aspectos que repercuten en la factibilidad de restauración de un sitio (Orsi *et al.*, 2011; Tobón *et al.*, 2017). Para el caso de la recuperación de matorral xerófilo de pedregal en Ciudad Universitaria se han identificado dos

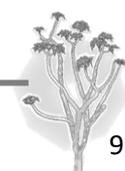


actividades que consumen el mayor porcentaje de los recursos económicos: la remoción de árboles exóticos y la recuperación de la roca basáltica (Antonio-Garcés *et al.*, 2009). La estimación en términos monetarios del costo de estas acciones es difícil de obtener en el contexto de Ciudad Universitaria ya que para ello sería necesario solicitar el apoyo para la cotización a la Dirección General de Obras y Conservación, con la cual no se logró establecer cooperación. Por ello en este estudio solamente se obtuvieron los volúmenes de madera de árboles exóticos a remover y de roca volcánica a adicionar como indicadores del costo de restauración.

A2.2.1. Indicador: cantidad de árboles exóticos a remover. El volumen de madera árboles exóticos a remover se obtuvo para 21 especies de árboles y algunos arbustos que se consideraron exóticos al matorral xerófilo de la parte baja de Pedregal de San Ángel tras revisar literatura sobre su vegetación, así como tras consultar el origen de las especies en la página web del U.S. National Plant Germplasm System (2019). Para calcular el volumen se utilizaron las ecuaciones alométricas que aparecen en la Tabla A1 que corresponden directamente a las especies evaluadas o a especies del mismo género. Algunas de estas ecuaciones generan valores de volumen de forma directa. Otras calculan la biomasa y para obtener el volumen se procede a dividir el valor obtenido entre un valor de densidad de la madera que también se presenta en la Tabla A1.

Tabla A1. Ecuaciones alométricas para calcular la biomasa en kilogramos (B) y volumen en metros cúbicos (V), así como valores de densidad de la madera (kg/m³) para 21 especies de árboles exóticos al matorral xerófilo del pedregal de San Ángel que se han registrado alrededor del Estadio Olímpico Universitario. DAP= diámetro a la altura del pecho; H=altura; NA, no aplica.

Especie	Ecuación alométrica	Densidad de la madera	Referencias
<i>Acer negundo</i>	$B=(2.0772*(DAP^2.508))/2.205$	416	Tritton y Hornbeck, 1982; Zanne <i>et al.</i> , 2009
<i>Alnus acuminata</i>	$B=(EXP(-2.14))*(DAP^2.23)$	386	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Rojas-García <i>et al.</i> , 2015
<i>Callistemon citrinus</i>	$B= 34.4703 - 8.0671(DAP) + 0.6589(DAP^2)$	796	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Tefera y Soromessa, 2015
<i>Casuarina equisetifolia</i>	$B=EXP(-1.347+(1.7*LN(DAP))+0.39*LN(H))$	809	Zanne <i>et al.</i> , 2009; López-López <i>et al.</i> , 2018
<i>Celtis occidentalis</i>	$V=(0.0014159*(DAP^1.928))$	NA	López-López <i>et al.</i> , 2018
<i>Cupressus lusitanica</i>	$B=0.5266*(DAP^1.7712)$	420	Zanne <i>et al.</i> , 2009; López-López <i>et al.</i> , 2018
<i>Eriobotrya japonica</i>	$B=34.4703-(8.0671*(DAP))+0.6589*(DAP^2)$	880	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Tefera y Soromessa, 2015
<i>Erythrina americana</i>	$B=0.37*(G34^1.96)$	288	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Rojas-García <i>et al.</i> , 2015
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	$V=(0.028317*(0.0031*((DAP/2.54)*2.1518)*((3.28*H)^0.83573)))$	NA	Rojas-García <i>et al.</i> , 2015
<i>Ficus benjamina</i>	$B=0.027059*(DAP^2.86357)$	459	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Mañón-de la Cruz <i>et al.</i> , 2018
<i>Ficus indica</i>	$B=0.027059*(DAP^2.86357)$	390	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Mañón-de la Cruz <i>et al.</i> , 2018
<i>Fraxinus uhdei</i>	$V=(0.02832*((0.0029*((DAP/2.54)^2.1912))*((3.28*H)^0.9437)))$	NA	López-López <i>et al.</i> , 2018
<i>Grevillea robusta</i>	$B=0.09517*(DAP^2.47013)$	521	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Schmitt-Harsh <i>et al.</i> , 2012
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	$V=(0.028317*(0.0113*((DAP/2.54)^2.1858))*((3.28*H)^0.548045))$	NA	Zanne <i>et al.</i> , 2009; López-López <i>et al.</i> , 2018
<i>Ligustrum lucidum</i>	$B=-0.55+(DAP^1.72)$	579	Zanne <i>et al.</i> , 2009; López-López <i>et al.</i> , 2018
<i>Morus rubra</i>	$B= 34.4703-(8.0671*(DAP))+0.6589*(DAP^2)$	639	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Tefera y Soromessa, 2015
<i>Persea americana</i>	$B= 34.4703-(8.0671*(DAP))+0.6589*(DAP^2)$	549	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Tefera y Soromessa, 2015
<i>Pinus sp.</i>	$B=EXP(-1.17+(2.119*(LN(DAP))))$	409	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Schmitt-Harsh <i>et al.</i> , 2012
<i>Prunus persica</i>	$B=(EXP(-2.76))*(DAP^2.37)$	470	Sharma <i>et al.</i> , 2008; Rojas-García <i>et al.</i> , 2015
<i>Psidium guajava</i>	$B=1.7737*(DAP^1.2282)$	652	Zanne <i>et al.</i> , 2009; Rojas-García <i>et al.</i> , 2015
<i>Schinus molle</i>	$V=(0.02832*((0.0029*((DAP/2.54)^2.1912))*((3.28*H)^0.9437)))$	NA	López-López <i>et al.</i> , 2018



Para obtener los datos necesarios para calcular estas ecuaciones, primero se identificaron en campo los individuos de las especies arbóreas exóticas con la guía electrónica de árboles de la UNAM (<http://www.arboles.org/index.html>) y se midió su altura y diámetro a la altura del pecho (DAP). Solamente se consideraron en el estudio los troncos con DAP mayor a 3 cm. Las mediciones de altura y DAP se realizaron siguiendo los lineamientos del Departamento de Montes de la FAO (2004).

La cantidad de árboles exóticos a remover es un indicador negativo ya que a mayor volumen de árboles exóticos a remover se esperaría que el costo fuera mayor y por tanto la factibilidad económica se consideraría menor.

A2.2.2. Indicador: cantidad de roca basáltica a adicionar. Para el caso de la recuperación de la roca basáltica se estimó en cada unidad de estudio el volumen que se tendría que agregar de ésta para cubrir con una capa de 3 m de espesor el área cubierta por otros sustratos. Esta área se obtuvo a partir de la evaluación del grado de conservación de la roca basáltica. El espesor de 3 metros es recomendado para evitar que las especies exóticas invasoras pueden acceder al sustrato bajo la roca y así evitar su establecimiento (Z. Cano-Santana, coms. pers.).

La cantidad de roca a adicionar es un indicador negativo ya que, a mayor cantidad de roca, mayor podría ser el costo de su adición y por tanto se podría reducir la factibilidad económica.

Cabe agregar que se decidió evaluar el costo de recuperación de la roca basáltica a través de la adición de roca en vez del desenterramiento de la roca original, ya que para evaluar el costo de esta alternativa sería necesario estimar el volumen de materiales que cubren la roca, y para ello podría ser necesario usar métodos de prospección geofísica (Steeple, 2005) a los que no se tuvo acceso en esta investigación.

A2.3. Criterios sociales

A2.3.1. Criterio: impacto antrópico. Este criterio fue evaluado a través de tres indicadores que se explicarán en detalle a continuación. Por lo tanto, para el cálculo de este criterio se utilizó la siguiente fórmula:



$$IA = PAw_A + IIANw_{IIAN} + AHIw_{AHI} \quad (\text{Ec. A2})$$

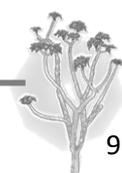
donde: IA = valor para el criterio de impacto antrópico, PA = valor asignado para el índice de perturbación antrópica, w_A = peso asignado al índice de perturbación antrópica, $IIAN$ = índice de interacciones antrópicas negativas, w_{IIAN} = peso asignado al índice de interacciones humanas negativas, AHI = calificación asignado al indicador de asentamientos humanos irregulares, y w_{AHI} = peso asignado al indicador de asentamientos humanos irregulares.

Para este trabajo se asignó el mismo peso ($w=0.5$) a los tres indicadores del criterio de impacto antrópico aunque en escenarios de ponderación alternativos podrían asignarse mayor peso dependiendo si se quiere dar mayor peso a la magnitud o a la frecuencia de impactos antrópicos y al número de asentamientos humanos irregulares presentes.

A2.3.1.1. Indicador: índice de perturbación antrópica. Si un ecosistema es sometido a diversos disturbios de alta intensidad puede no tener la capacidad de recuperarse de los mismos (Clewel y Aronson, 2013). Para estudiar el grado en que las unidades de estudio han sufrido impactos humanos se buscaron evidencias de perturbación antrópica durante el primer semestre de 2018. Para ello se utilizaron las mismas cuatro líneas de Canfield empleadas para evaluar la cobertura de vegetación en cada unidad de estudio. Para cada tipo de evidencia de perturbación encontrada se midió su cobertura en cada unidad de estudio.

Una vez obtenidos los valores de cobertura para cada tipo de evidencia de perturbación, estos se utilizaron para calcular un índice que en este trabajo se propuso para medir el grado de perturbación antrópica en cada unidad de estudio. Para calcular este índice primeramente se obtuvieron para cada unidad de estudio los valores de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{L - (\sum_{i=1}^e C_i)}{L} \quad (\text{Ec. A3})$$



donde: N = proporción de área no impactada, L = longitud total de las líneas de Canfield usadas para el muestreo, e = número de tipos de evidencias de perturbación registrado para la unidad de estudio i , y C_i = cobertura de cada tipo de evidencia de perturbación registrada en la unidad de estudio i .

Los valores de esta fórmula fueron sustituidos en la siguiente para calcular el índice de perturbación antrópica para cada unidad de estudio:

$$PA = \frac{\left(\frac{10(N+F)}{N_{max}+F}\right)}{E+1} \quad (\text{Ec. A4})$$

donde: PA = valor para el índice de perturbación antrópica, N = proporción de área no impactada de la unidad de estudio a evaluar, F = factor de corrección, corresponde al valor absoluto de la menor N obtenida para alguna de las unidades de estudio en caso de que esta sea negativa. Este factor de corrección permite que las calificaciones asignadas a las unidades de estudio tengan únicamente valores positivos entre 0 y 10. Si la menor N para alguna de las unidades de estudio no es negativa, F tomará un valor de 0. N_{max} = Mayor valor de proporción de área no impactada registrada en alguna de las unidades de estudio, y E = Número de tipos de evidencias de perturbación registrado para el total de las unidades de estudio.

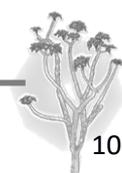
Este índice fue diseñado de tal manera que cuando una unidad de estudio no presenta evidencias de impacto humano, ésta obtiene la mayor calificación en una escala del 0 al 10. Conforme una unidad de estudio tenga mayor cobertura y más tipos de evidencias de perturbación antrópica el índice toma valores menores.

A2.3.1.2. Indicador: índice de interacciones antrópicas negativas (IIAN). Si un ecosistema es sometido a disturbios frecuentes puede no tener la capacidad de recuperarse de los mismos. Es por eso que es importante eliminar los factores que generan disturbios para poder restaurar la vegetación de un sitio, aunque esto puede ser un proceso complicado y por tanto puede disminuir la factibilidad de llevar a cabo acciones de restauración (Clewell y Aronson, 2013).



En el presente estudio se documentaron el número de interacciones antrópicas negativas y la frecuencia con ocurrieron en las unidades de estudio para evaluar el impacto antrópico al cual están sometidas. Esto se llevó a cabo de la siguiente manera. Seis días hábiles, de lunes a viernes, elegidos aleatoriamente cada mes, de febrero de 2018 a enero de 2019, se realizaron dos recorridos por todas las unidades de estudio. Cada recorrido se realizó en la misma ruta (Fig. A4) pero en direcciones opuestas. Las horas de inicio para estos recorridos se eligieron aleatoriamente de las horas que el observador tuvo disponibles entre las 7 y 17 h. Durante los recorridos el observador contó con un dispositivo con cronómetro que activó al llegar al borde el polígono de cada unidad de estudio. El cronómetro sirvió para contar 40 s en los que el observador prestó atención a las interacciones antrópicas con la unidad de estudio que estaba visualizando en ese momento. Terminado este lapso, el observador continuó con el recorrido hacia el siguiente parche de pedregal. El observador tomó nota de sus observaciones en una libreta de campo cuando estuvo en un sitio donde no fuera observado por las personas que interactuaron con los espacios. Aunado a esto, se realizaron dos recorridos con una metodología similar, 2 h antes y 2 h después de tres encuentros de fútbol del equipo de los Pumas de la UNAM. Estos partidos fueron contra las Chivas (25/2/2018), Tigres (2/12/2018) y América (6/12/2018).

Las actividades antrópicas registradas que podrían interferir con la restauración de la vegetación nativa fueron clasificadas y se midió la frecuencia (número de veces que se observaron) con que ocurrieron en cada unidad de estudio. Con estos datos se calculó un valor para un índice que en una escala del 0 al 10 permitió diferenciar a las unidades de estudio en las que se registraron más tipos de interacciones antrópicas negativas que ocurrieron con más frecuencia respecto a las unidades de estudio con menor influencia humana y por tanto que podrían tener mayor factibilidad de ser restauradas. La fórmula propuesta para calcular este índice es la siguiente:



una unidad de estudio durante los muestreos en partidos de futbol, P_i = valor mayor de frecuencia registrado para un tipo de interacción observado tomando en cuenta todas las unidades de estudio durante los encuentros de futbol, y w_p = peso asignado a las interacciones observadas durante los encuentros de futbol.

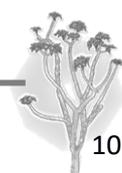
Este índice toma valores mayores en la escala del 0 al 10 cuando existan menor número de interacciones antrópicas negativas y menor frecuencia con que estas ocurran. Los pesos que se asignaron a las interacciones observadas en los muestreos rutinarios y en los partidos de futbol en este índice fueron iguales ($w=0.5$) ya que no se contó con evidencia de si los impactos generados por un gran número de personas en partidos de futbol esporádicos son mayores que los que se generan en la actividad diaria del *campus*.

A2.3.1.3. Indicador: número de asentamientos humanos irregulares. Para conocer el número de asentamientos humanos irregulares, se recorrieron las unidades de estudio en toda su extensión para encontrar los asentamientos. Estos correspondieron a viviendas improvisadas construidas con materiales como madera y lámina por personas ajenas a la Universidad.

Este indicador se considera negativo, la unidad de estudio con más asentamientos irregulares recibió una calificación de 0 mientras que las unidades de estudio sin asentamientos obtuvieron valores de 10. El resto de las unidades de estudio obtuvieron valores intermedios de acuerdo al número de asentamientos irregulares que se registraron, obteniendo valores mayores a menor número de asentamientos.

A2.3.2. Criterio: valoración del ecosistema

A2.3.2.1. Indicador: índice del grado de valoración del ecosistema. El grado en que una comunidad humana valora la biodiversidad en un sitio específico puede repercutir en el éxito de las acciones de manejo ambiental y por tanto en la factibilidad de restauración. Este valor puede ser económico, socio-cultural o ecológico. La forma de conocer el grado de valoración general de la biodiversidad dependerá del contexto (Laurila-Pant *et al.*, 2015). En el presente estudio se propuso hacerlo a través



de conocer la opinión de los miembros de la comunidad respecto al uso de las UE para acciones de conservación y restauración, el conflicto que puede haber entre el uso de suelo para este tipo de actividades en relación con otros y los beneficios que consideran les aporta el usar este sitio para conservación.

Para conocer el grado en que la comunidad universitaria relacionada a cada unidad de estudio valora el ecosistema del Pedregal de San Ángel, se aplicó una encuesta que también sirvió para evaluar el criterio de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración.

Los detalles de la preparación, desarrollo y asignación de resultados de la encuesta a las unidades de estudio se presentan en el Anexo B. En el Anexo C se presenta un ejemplo de la encuesta que se aplicó en una de las entidades universitarias con remanentes de pedregal.

En la encuesta se aplicaron tres preguntas para conocer el grado de valoración del ecosistema de matorral xerófilo de Ciudad Universitaria. Cada una de estas preguntas aportó un máximo de 10/3 puntos al índice del grado de valoración del ecosistema de tal manera que éste al final pudiera tener un valor máximo de 10 cuando hubiera mayor porcentaje de personas con un alto grado de valoración del ecosistema y un valor mínimo de 0 cuando no hubieran personas que valoraran el ecosistema. Por tanto, la fórmula para calcular este índice fue la siguiente:

$$GV = P_1 + P_2 + P_3 \quad (\text{Ec. A6})$$

donde: GV = Índice del grado de valoración del ecosistema, P_1 = Puntuación obtenida para la pregunta 1, P_2 = Puntuación obtenida para la pregunta 2 y P_3 = Puntuación obtenida para la pregunta 3.

A continuación, se presentan las preguntas y la forma en que se puntuaron para asignar un valor numérico al indicador del grado de valoración del ecosistema. Las preguntas hacen referencia al Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras, el nombre de esta entidad universitaria se cambió en cada caso según el sitio donde se estuviera realizando la encuesta.



Pregunta 1. De la siguiente lista de proyectos que podrían realizarse en las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras, ¿cuáles considera que serían prioritarios para beneficiar a las personas que realizan sus actividades cotidianas en estas instalaciones?

En la siguiente lista escriba una “X” dentro de los paréntesis “()” que corresponden a los proyectos que usted considera son prioritarios.²

() Proyecto 1: Establecer jardines con pasto y plantas ornamentales mexicanas y de otros países.

() Proyecto 2: Construir espacios deportivos.

() Proyecto 3: Construir espacios culturales y auditorios.

() Proyecto 4: Construir aulas.

() Proyecto 5: Construir oficinas administrativas.

() Proyecto 6: Recuperar y conservar en las áreas verdes a los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.

() Proyecto 7: Construir estacionamientos.

() Proyecto 8: Construir sitios para comer.

() Proyecto 9: Construir una bodega de material.

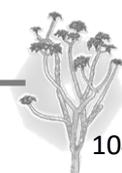
() Proyecto 10: Otro tipo de proyecto. Escriba en la siguiente línea el nombre del mismo:

Objetivo de la pregunta 1: conocer las necesidades de infraestructura por parte de la comunidad universitaria y saber si entre estas consideran necesaria la recuperación y conservación de la biodiversidad que existía antes de que se construyera el *campus* central de la UNAM.

Las categorías de clasificación y puntuación de las respuestas fueron las siguientes:

- i. Categoría 1: el encuestado solamente seleccionó el proyecto 6.
- ii. Categoría 2: el encuestado eligió el proyecto 6 y otro u otros proyectos.
- iii. Categoría 3: el encuestado no seleccionó ningún proyecto.

² El orden en que aparecen los proyectos se eligió de forma aleatoria.



iv. Categoría 4: el encuestado eligió otro u otros proyectos diferentes al 6.

Para obtener la puntuación que aportó esta pregunta al índice de grado de valoración del ecosistema se propuso la siguiente fórmula:

$$P_1 = \frac{\frac{10/3C_1}{100} + \frac{10/6C_2}{100} + \frac{10/12C_3}{100} - \frac{10/3C_4}{100} + 10/3}{2} \quad (\text{Ec. A7})$$

donde: P_1 = puntuación obtenida para la pregunta 1, C_1 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 1, C_2 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 2, C_3 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 3, y C_4 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 4.

Esta fórmula permite que la pregunta 1 aporte valores mayores al grado de valoración del ecosistema cuando hay un mayor porcentaje de personas que solamente consideran necesario llevar a cabo el proyecto 6 y un menor porcentaje que no consideran necesario llevar a cabo el mismo. Adicionalmente la fórmula puede incrementar o disminuir la puntuación al asignar un menor peso a las categorías 2 y 3, las cuales corresponden a personas que consideran importante llevar a cabo el proyecto 6 además de otros o que consideran que ningún proyecto es necesario y por lo cual habría que convencerlas de la importancia de la restauración ecológica.

El diseño de esta fórmula obedece a que se esperarí que la mayor factibilidad social de restauración exista en una comunidad donde todos los miembros consideren necesario llevar a cabo la recuperación de la flora y fauna y no existan personas con necesidades adicionales respecto al uso de las áreas verdes que pudieran ocasionar conflictos por el uso del suelo.

Pregunta 2. De los proyectos que usted marcó con una “X” en la pregunta anterior, ¿con cuáles estaría de acuerdo en que se realizaran en alguna o algunas de las áreas verdes del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras?

Escriba los números de estos proyectos en la siguiente línea o si no está de acuerdo en que cualquiera de estos proyectos se haga en las áreas verdes, simplemente escriba la palabra “ninguno”:

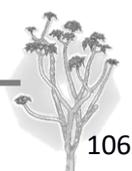
Objetivo de la pregunta: conocer si el encuestado estaría de acuerdo en que el proyecto 6 de restauración y conservación de remanentes de pedregal se lleve a cabo en las áreas verdes de su entidad universitaria o si estaría de acuerdo en que se llevaran a cabo cambios de uso de suelo en las áreas verdes.

Categorías de clasificación y puntuación de las respuestas:

- i. Categoría 1: el encuestado consideró prioritario el proyecto 6 y consideró que es el único que se debe llevar a cabo en las áreas verdes de su entidad universitaria.
- ii. Categoría 2: independientemente de los proyectos prioritarios para el encuestado, éste consideró que no se debería emprender ningún proyecto en las áreas verdes de su entidad universitaria.
- iii. Categoría 3: el encuestado estaría de acuerdo en que el proyecto 6 y otro u otros proyectos prioritarios para él se realizaran en las áreas verdes de su entidad universitaria.
- iv. Categoría 4: el encuestado consideró que llevar a cabo el proyecto 6 en su entidad universitaria sería prioritario, sin embargo, no estaría de acuerdo en que se realizara en las áreas verdes de su entidad universitaria, pero si estaría de acuerdo en que en estos espacios se realizaran otros proyectos.
- v. Categoría 5: el encuestado no consideró prioritario llevar a cabo el proyecto 6 y estaría de acuerdo en que otros proyectos se llevaran a cabo en las áreas verdes.

Para obtener la puntuación que aportó esta pregunta al índice de grado de valoración del ecosistema se propuso el siguiente cálculo:

$$P_2 = \frac{10/3C_1}{100} + \frac{(((10-NR)/6)+10/6))C_2}{100} + \frac{((10+NR)/9)C_3}{100} + \frac{10/12C_4}{100} \quad (\text{Ec. A8})$$



donde: P_2 = puntuación obtenida para la pregunta 2, C_1 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 1, C_2 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 2, C_3 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 3, C_4 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 4, y NR= calificación obtenida para la necesidad de restauración en la UE.

Esta fórmula está diseñada para dar una calificación a la pregunta 2 en una escala de 0 a 10/3 dando mayor peso a las categorías 1, que corresponde a considerar como prioritario llevar a cabo solamente el proyecto 6 en las áreas verdes. Así se da mayor calificación cuanto mayor sea el porcentaje de personas de la categoría 1. Al resto de las categorías se les asignaron pesos dentro de la fórmula dependiendo del impacto que podrían tener estas posturas en la restauración y conservación de los remanentes de pedregal.

En el caso de la categoría 2 la ponderación se relaciona directamente con el grado de necesidad de restauración de la UE a evaluar. Si no tiene necesidad de ser restaurada la UE sería positivo que la gente pensara que lo mejor es no realizar ningún proyecto en estas áreas. Al contrario, si la UE a evaluar tiene alta necesidad de ser restaurada, sería contraproducente que la gente no estuviera de acuerdo en que se emprendieran acciones de conservación o restauración, aunque por lo menos tampoco estarían de acuerdo en que se cambiara el uso de suelo del sitio. Siguiendo esta lógica, a menor necesidad de restauración, el peso de esta categoría hace que la calificación de la pregunta obtenida con la fórmula aumente ya que, aunque la gente no esté de acuerdo con la restauración, de cualquier forma, ésta no es necesaria. Al contrario, a mayor necesidad, la calificación disminuiría ya que los espacios sí necesitan ser restaurados, pero hay personas que no estarían de acuerdo en que se restauraran.

Por otro lado, el peso que se da a la categoría 3 es menor que el de la categoría 1 y 2 ya que, aunque en este grupo existan personas que consideran importante la restauración de remanentes de

pedregal en las áreas verdes de su entidad universitaria, también estarían de acuerdo en que las áreas verdes cambiaran de tipo de uso de suelo, lo cual corresponde a un riesgo para los remanentes de pedregal. Además, la categoría 3 tiene un componente que ayuda a ponderarla respecto a la categoría 2, el cual considera la necesidad de restauración de un espacio. Si un espacio tiene alta necesidad de ser restaurado será mejor que haya personas que reconozcan la importancia de la restauración, aunque también tengan otras necesidades respecto al uso del suelo (personas de la categoría 3) en contraste con personas que no estén de acuerdo en que se realicen acciones de restauración en su entidad universitaria (personas de la categoría 2). Por ello, la fórmula permite que la categoría 3 tenga un mayor peso que la categoría 2 cuando una UE tiene alta necesidad de ser restaurada.

Finalmente, a la categoría 4 se le asigna el menor peso en la fórmula ya que corresponde a personas que sí consideran prioritaria la restauración y conservación de ecosistemas originales en sus entidades universitarias, pero no estarían de acuerdo en que esto se hiciera en las áreas verdes y preferirían que en éstas se desarrollaran otros proyectos.

Una vez que el encuestado respondió las preguntas 1 y 2 se le presentó en la encuesta la siguiente nota para que pudiera contestar las próximas preguntas: “Para contestar las preguntas 3 a 10 le pedimos que imagine que se toma la decisión de llevar a cabo el proyecto 6 en las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras. Recuerde que el proyecto 6 corresponde a la recuperación y conservación en las áreas verdes de los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras”.

Pregunta 4. ¿Considera que las personas que realizan sus actividades cotidianas en las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras obtendrían algún beneficio si se llevara a cabo este proyecto en sus áreas verdes?

Marque con una “palomita” (✓) solamente uno de los recuadros que corresponde a su opinión:

Sí	No	No estoy seguro(a). Necesitaría tener más información.
----	----	--



Objetivo de la pregunta: conocer si el encuestado percibe que la comunidad que realiza sus actividades cotidianas en la entidad universitaria correspondiente recibiría algún beneficio derivado de la restauración y conservación del ecosistema nativo.

Categorías de clasificación y puntuación de las respuestas:

- i. Categoría 1: el encuestado considera que sí habría algún beneficio de realizar restauración ecológica.
- ii. Categoría 2: el encuestado considera que no habría ningún beneficio a al hacer acciones de restauración en los remanentes de pedregal.
- iii. Categoría 3: el encuestado no estaría seguro de sí existirían beneficios al llevar a cabo acciones de restauración.

Para obtener la puntuación que aportará esta pregunta al grado de valoración del ecosistema se propone la siguiente fórmula:

$$P_3 = \frac{\frac{10/3C_1}{100} - \frac{10/3C_2}{100} + 10/3}{2} \quad (\text{Ec. A9})$$

donde: P_3 = puntuación obtenida para la pregunta 4, C_1 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 1, C_2 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 2.

Esta ecuación permite dar valores mayores a la pregunta cuando hay un mayor porcentaje de personas que consideran que sí hay beneficios para la comunidad por llevar a cabo acciones de restauración. A su vez se da la mitad del peso de del porcentaje de personas que consideró que necesitaría más información para decidir si esto aportaría o no beneficios. Se asignó la mitad del peso a esta categoría ya que habría que explicar a estas personas el proyecto y después tendrían ellas que decidir sí aporta algún beneficio o no, lo que podría implicar más trabajo en comparación con personas que ya saben que sí existen beneficios.



A2.3.3. Criterio: disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración

A2.3.3.1. Indicador: índice de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de

restauración. La disposición de la comunidad local para llevar a cabo acciones de restauración ha sido identificada por otros autores como un criterio a evaluar para saber si en un sitio es factible llevar a cabo acciones de restauración ecológica (Orsi *et al.*, 2011; Januchowski *et al.*, 2012; Gobster *et al.*, 2016). Algunos de los indicadores que se han propuesto para evaluarla son: cantidad invertida por la comunidad local, grado de interés, número de ONG trabajando en el área, número de personas interesadas y número de programas de educación ambiental en la zona (Orsi *et al.*, 2011). En el presente estudio se propuso hacerlo a través de conocer el porcentaje de personas que están a favor de usar las unidades de estudio en su entidad universitaria para fines de restauración y que además estarían dispuestas a colaborar directamente en este proceso. Para ello se hicieron siete preguntas a la comunidad universitaria dentro de la misma encuesta que se instrumentó para evaluar el índice del criterio de valoración del ecosistema. Tres de estas preguntas están relacionadas a un mismo aspecto por lo que se estudiaron en conjunto. Considerando esto, este grupo de tres preguntas y cada una de las otras cuatro aportó un máximo de 2 puntos al índice del grado de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración (*DC*) de tal manera que este al final tuvo un valor máximo de 10 y un mínimo de 0. Por tanto, la ecuación para calcular *DC* es:

$$DC = P_4 + P_5 + P_{6,7,8} + P_9 + P_{10} \quad (\text{Ec. A10})$$

donde: *DC*= índice del grado de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración, y *P*₄; *P*₅; *P*_{6,7,8}; *P*₉; *P*₁₀= puntuación obtenida para las preguntas 4, 5, 9 y 10 y para el grupo de preguntas 6 a 8, respectivamente.

A continuación, se presentan las preguntas y la forma en que se puntuarán para asignar un valor numérico a *DC*.

Pregunta 3. ¿Cuál es su opinión respecto a que en las áreas verdes del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras se llevara a cabo este proyecto?



Marque con una “palomita” (✓) solamente uno de los recuadros que corresponde a su opinión:

No estaría de acuerdo	De acuerdo, pero solamente en algunas áreas verdes	De acuerdo en todas las áreas verdes	No estoy seguro(a). Necesitaría tener más información.
-----------------------	--	--------------------------------------	--

Objetivo de la pregunta: conocer la opinión del encuestado respecto a que se lleven a cabo acciones de restauración y conservación en las áreas verdes de su entidad universitaria.

Categorías de clasificación y puntuación de las respuestas:

- i. Categoría 1: el encuestado estaría de acuerdo en que se lleve a cabo el proyecto en todas las áreas verdes de su entidad universitaria.
- ii. Categoría 2: el encuestado estaría de acuerdo en que se lleve a cabo el proyecto en algunas áreas verdes de su entidad universitaria.
- iii. Categoría 3: el encuestado necesitaría tener mayor información para adoptar una postura.
- iv. Categoría 4: el encuestado no estaría de acuerdo en que se llevara a cabo el proyecto en las áreas verdes de su entidad universitaria.

Para obtener la puntuación que aportó esta pregunta al *DC* se propuso la siguiente fórmula:

$$P_4 = \frac{\frac{2C_1}{100} + \frac{C_2}{100} - \frac{C_3}{100} - \frac{2C_4}{100} + 2}{2} \quad (\text{Ec. A11})$$

donde: P_4 = puntuación obtenida para la pregunta 4, C_1 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 1, C_2 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 2, C_3 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 3, y C_4 = porcentaje de los encuestados cuya respuesta se clasificó en la categoría 4.

Esta ecuación permite dar valores mayores a la pregunta cuando hay un mayor porcentaje de personas que están de acuerdo en que la restauración y conservación de la biota se haga en todas las UE de su entidad universitaria. Adicionalmente la fórmula le otorga menor peso a la postura que considera la restauración de solamente algunas de las áreas verdes. Por otro lado, la fórmula resta



calificación a la pregunta cuando hay personas en desacuerdo con la restauración en las áreas verdes de su entidad universitaria, así como también resta calificación en menor medida cuando existe un porcentaje de la población que necesitaría más información para adoptar una postura, lo que generaría incertidumbre e implicaría que sería necesario llevar campañas informativas y de educación ambiental para que la gente pudiera tomar una decisión, lo que implica mayor tiempo y recursos.

Pregunta 5. Si se decidiera llevar a cabo este proyecto en el Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras, podría ser necesario realizar distintas acciones en sus áreas verdes para recuperar los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran estas instalaciones. ¿Con cuáles de ellas estaría de acuerdo?

Coloque una “palomita” (✓) en el recuadro que corresponde a su opinión para cada actividad:

Acciones	De acuerdo	En desacuerdo	No estoy seguro(a). Necesitaría tener más información.
Derribar árboles que son originarios de otros países en caso de que estuvieran en las áreas verdes.			
Sembrar árboles que pertenecen al paisaje que existía antes de que se construyeran estas instalaciones.			
Sustituir las zonas de césped con roca volcánica.			
Sembrar plantas que pertenecen al paisaje que existía antes de que se construyeran estas instalaciones.			
Impedir que la gente camine por las áreas verdes reservadas para conservar y recuperar la flora, fauna y el paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.			
Mantener las plantas en las áreas verdes de conservación y recuperación ecológica de AAPAUNAM-Casa Club del Académico sin riego artificial. Solamente serían regadas por la lluvia.			
No podar las plantas en las áreas verdes de conservación y recuperación ecológica de las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.			



Objetivo de la pregunta: conocer si el encuestado está de acuerdo en que se realicen las acciones necesarias para restaurar el paisaje y biodiversidad de las áreas de estudio en la entidad universitaria donde realiza sus actividades cotidianas o a la cual pertenece.

Para obtener la puntuación que aportó esta pregunta al índice de disposición a llevar a cabo acciones de restauración se propuso la siguiente fórmula:

$$P_5 = \sum_{i=1}^7 W_i \frac{n_i}{N} + \frac{\sum_{i=1}^7 w_i \frac{m_i}{N}}{2} \quad (\text{Ec. A12})$$

donde: P_5 = puntuación obtenida para la pregunta 5, n_i = número de personas encuestadas para una unidad de estudio que estuvieron de acuerdo en realizar un número de acciones i , N = población encuestada para una unidad de estudio, W_i = factor de ponderación asignado a cada i número de acciones con las que estuvieron de acuerdo los n_i encuestados (W_i para 7 acciones=2, 6 acciones=2-2/7, 5 acciones=2-(2*2/7), 4 acciones=2-(3*2/7), etc.), m_i = número de personas encuestadas para una unidad de estudio que no estuvieron seguros en estar de acuerdo con la realización de un número de acciones i , w_i = factor de ponderación asignado a cada i número de acciones con las que no estuvieron seguros en estar de acuerdo los m_i encuestados (w_i para 7 acciones=2, 6 acciones=2-2/7, 5 acciones=2-(2*2/7), 4 acciones=2-(3*2/7), etc.).

Con esta ecuación se obtienen valores mayores para la pregunta 5 cuando hay una mayor proporción de personas que están de acuerdo con realizar el máximo número de acciones de restauración sugeridas. Para ello da mayor peso a la proporción de encuestados que estuvieron de acuerdo con 7 acciones de restauración y asigna menor peso cuando disminuye el número de acciones con las que una proporción de la población estuvo de acuerdo. A su vez da menor peso cuando los encuestados no estuvieron seguros de estar de acuerdo o en desacuerdo con las acciones.

Las preguntas 6 a 8 evalúan un mismo aspecto de la disposición a que se lleven a cabo acciones de conservación y restauración de remanentes de pedregal. Por ello se presenta a continuación cada una de ellas y posteriormente se explica la forma en que se les asignará un puntaje.

Pregunta 6. ¿Estaría dispuesto a donar 50 pesos al semestre para contribuir a recuperar en las áreas verdes a los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras si estuviera seguro de que el dinero se va a utilizar solamente para este fin? (modificado de Ríos-Martínez-Soto, 2009).

Marque su respuesta con una “palomita” (✓) en la línea:

Sí_____ No_____ No estoy seguro(a), necesitaría más información_____

Si su respuesta fue “Sí” pase a la pregunta 7. Si su respuesta fue “No” pase a la pregunta 8. Si su respuesta fue “No estoy seguro(a)” pase a la pregunta 9.

Pregunta 7. ¿Podría donar más de 50 pesos? ¿Cuánto sería lo máximo que podría donar al semestre?

Escriba su respuesta en esta línea_____

Pase a la pregunta 9.

Pregunta 8. ¿Podría donar menos? ¿Cuánto podría donar?

Escriba su respuesta en esta línea_____

Objetivo de las preguntas: conocer el grado en que los encuestados estarían dispuestos a colaborar económicamente con las acciones de restauración de las áreas de estudio de su entidad universitaria.

Categorías de clasificación y puntuación de las respuestas:

- i. Categoría 1: el encuestado donaría más de mil pesos.
- ii. Categoría 2: el encuestado donaría más de quinientos y hasta mil pesos.
- iii. Categoría 3: el encuestado donaría más de cien y hasta quinientos pesos.
- iv. Categoría 4: el encuestado donaría más de cincuenta y hasta cien pesos.
- v. Categoría 5: el encuestado donaría 50 pesos.
- vi. Categoría 6: el encuestado donaría menos de 50 pesos.

La puntuación para el grupo de preguntas 6, 7 y 8 se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$P_6 = \sum_{i=1}^6 w_i \frac{C_i}{N} \quad (\text{Ec. A13})$$



donde: P_6 = puntuación obtenida para la pregunta 6, C_i = número de encuestados para una unidad de estudio clasificados en la categoría i , N = número total de encuestados para una unidad de estudio, w_i = factor de ponderación asignado a cada i categoría de clasificación y puntuación de las respuestas (w_1 para categoría 1=2, categoría 2=2-2/6, categoría 3=2-(2*2/6), categoría 4=2-(3*2/6), etc.).

Esta ecuación asigna mayor puntuación a las unidades de estudio para las cuales una mayor proporción de los encuestados estarían dispuestos a donar para apoyar las acciones de restauración. Además, asigna pesos cada vez más altos a las proporciones de encuestados dispuestos a donar cantidades cada vez más altas.

Pregunta 9. ¿Le interesaría participar en actividades concretas durante la ejecución del proyecto de recuperación y conservación dentro de áreas verdes de los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras?

En este cuadro por favor marque con una “palomita” (✓) las actividades en las que le gustaría y podría participar.

Actividades	Respuesta
Retiro de basura.	
Retiro de malezas y plantas originarias de otros países.	
Informar a otras personas sobre la importancia de la recuperación y conservación de la flora y fauna nativa en las áreas verdes de las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.	
Vigilar que otras personas cuiden las áreas verdes que están siendo recuperadas y conservadas.	
Ayudar a conocer si se están recuperando las plantas y animales que existían antes de que se construyera las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.	
Organizar estas actividades con otras personas de las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.	
Otra u otras actividades.	

Si usted marcó el cuadro correspondiente a “Otra u otras actividades”, escriba en la siguiente línea el nombre de esta o estas actividades que usted podría realizar: _____



Objetivo de la pregunta: conocer si los encuestados estarían dispuestos a colaborar directamente realizando acciones de conservación o restauración de las áreas de estudio de su entidad universitaria.

Para obtener la puntuación para la pregunta 9 se desarrolló la siguiente fórmula:

$$P_9 = \sum_{i=1}^7 \frac{2}{7} \left(\frac{n_i}{N} \right) \quad (\text{Ec. A.14})$$

donde: P_9 = puntuación obtenida para la pregunta 9, n_i = número de personas encuestadas para una unidad de estudio que estuvieron interesadas en participar en la actividad i , N = población encuestada para una unidad de estudio.

Con este cálculo se dan mayores puntuaciones a sitios donde una mayor proporción de personas esté interesada en realizar cada una de las acciones de apoyo a la restauración que se propusieron.

Pregunta 10. ¿Cuántas horas al mes podría participar en estas actividades?

Escriba su respuesta en esta línea _____

Objetivo de la pregunta: conocer la cantidad de tiempo que estarían dispuestos a invertir los encuestados en realizar acciones de conservación o restauración de las áreas de estudio de su dependencia o sitio de trabajo.

Categorías de clasificación y puntuación de las respuestas:

- i. Categoría 1: el encuestado estaría dispuesto a participar más de 200 horas.
- ii. Categoría 2: el encuestado estaría dispuesto a participar más 100 y hasta 200 horas.
- iii. Categoría 3: el encuestado estaría dispuesto a participar más de 50 y hasta 100 horas.
- iv. Categoría 4: el encuestado estaría dispuesto a participar más de 25 y hasta 50 horas.
- v. Categoría 5: el encuestado estaría dispuesto a participar más de 12 y hasta 25 horas.
- vi. Categoría 6: el encuestado estaría dispuesto a participar más de 6 y hasta 12 horas.
- vii. Categoría 7: el encuestado estaría dispuesto a participar más de 3 y hasta 6 horas.



viii. Categoría 8: el encuestado estaría dispuesto a participar hasta 3 horas.

La puntuación para la pregunta 10 se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$P_{10} = \sum_{i=1}^8 w_i \frac{C_i}{N} \quad (\text{Ec. A15})$$

donde: P_{10} = puntuación obtenida para la pregunta 6, C_i = número de encuestados para una unidad de estudio clasificados en la categoría i , N = número total de encuestados para una unidad de estudio, w_i = factor de ponderación asignado a cada i categoría de clasificación y puntuación de las respuestas (w_i para categoría 1=2, categoría 3=2-2/8, categoría 3=2-(2*2/8), categoría 4=2-(3*2/8), etc.).

Esta ecuación asigna mayor puntuación a las unidades de estudio para las cuales una mayor proporción de los encuestados estarían dispuestos a dedicar tiempo a realizar acciones de apoyo a la restauración. Además, asigna pesos cada vez más altos a las proporciones de encuestados dispuestos a aportar cantidades de tiempo cada vez más altas.

Al final de la encuesta se incluyeron preguntas sobre el grupo social dentro de la UNAM al que pertenecen los encuestados así como otros datos demográficos que no se utilizaron en la presente investigación pero que podrían servir para estudios futuros.

ANEXO B: Detalles de preparación y desarrollo de la encuesta.

En este anexo se presentan los detalles de preparación y desarrollo de la encuesta para evaluar los criterios de valoración del ecosistema y de disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración, siguiendo las recomendaciones de Sierra (1998); Hernández-Sampieri y colaboradores (2010) y Castillo y Peña-Mondragón (2015).

B.1. Preparación y diseño de la encuesta

Para el diseño y preparación de la encuesta se realizaron pruebas piloto principalmente con alumnos, así como con personal de vigilancia, académicos y personal administrativo de base de las Facultades de Ciencias Políticas y Sociales, de Ciencias y de Psicología de la UNAM. Estas pruebas piloto permitieron detectar problemas con las preguntas, el formato y forma de conducir la encuesta. Una vez detectados los problemas durante una prueba piloto se procedía a realizar modificaciones correspondientes a la encuesta y volver a aplicar otra prueba piloto hasta que ya no se detectaron problemas mayores. Además, para afinar la encuesta se solicitó la revisión de la misma a la Dra. Alicia Castillo-Álvarez y a compañeros del área de las ciencias sociales.

Una vez desarrollada la versión final de la encuesta, se procedió a solicitar permiso con las autoridades de las entidades universitarias alrededor del Estadio Olímpico para poder aplicar la encuesta a la comunidad. Los responsables de las entidades universitarias se identificaron buscando información en los directorios web de las entidades y acudiendo a los sitios en donde se preguntó al personal de vigilancia por los responsables de las instalaciones. Una vez identificados los responsables, se procedió a buscar sus datos de contacto o solicitárselos directamente para poderles hacer llegar un oficio solicitando el permiso correspondiente. En el Anexo F se presenta un ejemplo del oficio entregado. De manera general este oficio especificaba:

1. Nombre y número de cuenta del alumno de maestría que conduciría la encuesta.
2. Título del proyecto de maestría.
3. Adscripción de la investigación al proyecto PAPIIT-UNAM IV200117.



-
4. Objetivo general de la encuesta: evaluar la factibilidad social de restauración de la vegetación nativa en remanentes de pedregal de la entidad universitaria correspondiente.
 5. Periodo de realización de las encuestas.
 6. Solicitud información sobre el número de personas que conforman los grupos sociales de la entidad universitaria para decidir el tamaño de muestra. Los grupos sociales que se consideraron fueron los siguientes: estudiantes, personal académico (profesores, investigadores y técnicos), jardineros y personal administrativo de base y de confianza (excepto jardineros).

A este oficio se anexaron copias de la encuesta (Anexo C) a realizar para que fuera de conocimiento de los responsables.

B.2. Definición de la muestra de la comunidad universitaria a ser encuestada.

Para determinar el tamaño de muestrea para cada grupo social blanco se utilizó la siguiente fórmula para una población finita que Ríos-Martínez-Soto (2008) tomó de Lohr (1999) para llevar a cabo una encuesta entre estudiantes de Ciudad Universitaria:

$$n = \frac{NZ_a^2pq}{d^2(N-1)+Z_a^2pq} \quad (\text{Ec. B1})$$

donde: n =tamaño de muestra, N =total de la población, número de individuos perteneciente a cada grupo de la comunidad universitaria en una dependencia, $Z_a^2=1.96^2$ (para una seguridad del 95%), p =proporción esperada (5%=0.05), $q=1-p$, y d =precisión (a un 3%).

B.3. Desarrollo de la encuesta

La comunidad universitaria fue encuestada por el autor de esta tesis y otras personas capacitadas para aplicar las encuestas durante el periodo de noviembre de 2018 a marzo de 2019.

Antes de comenzar a encuestar a una persona se le invitó a participar voluntariamente en la encuesta y se le explicó lo siguiente:

-
1. Que esta encuesta se realizaría con fines de investigación para desarrollar una tesis de Maestría en Ciencias Biológicas referente a una alternativa de uso para las áreas verdes de su entidad universitaria
 2. Que el tiempo aproximado de la encuesta sería de 5 a 15 minutos.
 3. Que el encuestador estaría abierto a responder sus dudas durante y después de la encuesta.

Una vez se les hubo hecho mención de estos puntos se les preguntó si estaban de acuerdo en comenzar la encuesta. Si accedían a ser encuestados se procedía a entregarles el formato de encuesta y una pluma. Una vez los encuestados concluían el llenado del formato se procedía a revisar que éste se hubiera llenado de forma completa y adecuada, y se agradecía al encuestado por su participación. En caso de que el encuestado perteneciera a un grupo social distinto a los estudiantes y no tuviera tiempo de ser encuestado, se le proporcionó un formato para que pudiera llenarlo posteriormente y se le indicó que el encuestador pasaría a recoger el formato a su oficina o en algún sitio público de su entidad universitaria.

Los encuestadores buscaron completar el número de encuestas requeridas en cada entidad universitaria. En la Tabla B.1 se presenta la participación que se logró tener para las distintas entidades universitarias. Prácticamente para todas ellas se entregaron el número de encuestas necesario para completar la muestra o incluso un número mayor. Solamente para el caso del personal de la DGRL y de la caseta de barrenderos de la UE 13 no se logró hacer contacto con suficientes personas para proporcionarles las encuestas ya que en el primer caso no se tuvo acceso a las oficinas para entregar encuestas sistemáticamente al personal y en el segundo no se encontró a dos de los barrenderos en la caseta o en los alrededores del Estadio. Por otro lado, hubo casos en que, aunque se entregaron suficientes encuestas para completar la muestra, esto no se consiguió. Entre los motivos de esto están la negativa de las autoridades a continuar con la encuesta (AAPAUNAM) o rechazo a participar en la encuesta a pesar del intento de encuestar a toda la población (trabajadores del ANFFYL y UT). A algunos otros se les proporcionó el formato para que pudieran llenarlo en otro



momento, pero después de más de tres visitas del encuestador para recoger el documento, los encuestados aún no habían asentado sus respuestas o no se presentaron a entregar el documento, por lo que se desistió en el intento de obtener la opinión de estas personas. Esto fue el caso de los académicos del ANFFYL y de los trabajadores de CMSTUNAM, DGRL y un jardinero. Por otro lado, los directivos de la Dirección General de Obras y Conservación decidieron no autorizar la realización de las encuestas en sus instalaciones. A pesar de esto se logró obtener muestras por encima del 70% de lo requerido para siete de las once entidades universitarias.

Tabla B.1. Datos de participación de las entidades universitarias en la encuesta para evaluar el grado de valoración del ecosistema y disposición a llevar a cabo acciones de restauración. EU, entidades universitarias; GS, grupo social; N, población del grupo social para la entidad universitaria; n, tamaño de muestra para la población del grupo social y entidad universitaria correspondiente; EP, número de encuestas proporcionadas; EA, número de encuestas aplicadas y utilizadas para este estudio y porcentaje respecto del tamaño de muestra requerida (n); ER, número de encuestas rechazadas; EPEN, número de encuestas pendientes que se entregaron a encuestados pero que no contestaron. SD, sin datos; AAPAUNAM, instalaciones de la Asociación Autónoma del Personal Académico de la UNAM; ANFFYL, Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras; BARR, caseta de barrenderos de la unidad de estudio 13; CMSTUNAM, instalaciones de las Comisiones Mixtas del Sindicato de Trabajadores de la UNAM; DGOC, Dirección General de Obras y Conservación; DGRL, Dirección General de Relaciones Laborales; EOU, oficinas administrativas del Estadio Olímpico Universitario; JARD, grupo de jardineros externo al Estadio Olímpico; JARDEOU, jardineros del Estadio Olímpico universitario; JVIGI, jefatura de vigilancia; UT, Unidad de Transparencia.

EU	GS	N	n	EP	EA	ER	EPEN
AAPAUNAM	T	102	68	68	48 (70.59%)	20	0
ANFFYL	T	40	34	40	28 (82.35%)	12	0
	A	417	137	140	109 (79.56%)	SD	31
	E	7159	198	198	198 (100%)	SD	0
BARR	T	5	5	3	3 (60%)	0	0
CMSTUNAM	T	80	58	69	27 (46.55%)	9	33
DGOC	T	SD	SD	SD	SD	SD	SD
DGRL	T	169	93	74	48 (51.61%)	4	26
EOU	T	8	8	8	8 (100%)	0	0
JARD	T	8	8	8	7 (87.5%)	0	1
JARDEOU	T	3	3	3	3 (100%)	0	0
JVIGI	T	1	1	1	1 (100%)	0	0
UT	T	28	25	28	20 (80%)	8	0
Totales		8020	638	640	500 (78.37%)	53	91

B.4. Asignación de los resultados de la encuesta a las unidades de estudio

Los resultados de las encuestas de las distintas entidades universitarias se utilizaron para calcular el índice de valoración del ecosistema y de disposición a llevar a cabo acciones de restauración en las diferentes unidades de estudio. Se asignaron las encuestas de las distintas entidades universitarias a las unidades de estudio como se muestra en la Tabla B.2. Esta asignación se realizó considerando los límites de las entidades universitarias dentro de los cuales se encuentran las unidades de estudio.

Tabla B.2. Encuestas de entidades universitarias asignadas a cada unidad de estudio para evaluar el índice de valoración del ecosistema y disposición de la comunidad local a llevar a cabo acciones de restauración. AAPAUNAM, instalaciones de la Asociación Autónoma del Personal Académico de la UNAM; ANFFYL, Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras; BARR, caseta de barrenderos de la unidad de estudio 13; CMSTUNAM, instalaciones de las Comisiones Mixtas del Sindicato de Trabajadores de la UNAM; DGOC, Dirección General de Obras y Conservación; DGRL, Dirección General de Relaciones Laborales; EOU, oficinas administrativas del Estadio Olímpico Universitario; JARD, grupo de jardineros externo al Estadio Olímpico; JARDEOU, jardineros del Estadio Olímpico universitario; JVIGI, jefatura de vigilancia; UT, Unidad de Transparencia.

Unidad de estudio	Entidades universitarias asignadas
1.2	AAPAUNAM
1.3+4.3	AAPAUNAM
2	AAPAUNAM
4.1	AAPAUNAM
4.2	AAPAUNAM
5	JARD, JVIGI
6	JARD, CMSTUNAM, JVIGI
7	JARD, JVIGI
8+9	JARD, JVIGI, DGOC
10	JARD, JVIGI, DGOC
11	JARD, JVIGI
12	JVIGI, DGRL
13	JARD, BARR, JVIGI
14	JARD, JVIGI
15	JARD, JVIGI
17	JARD, JVIGI, ANFFYL
18	JARD, JVIGI, ANFFYL
19.1	JARD, JVIGI, ANFFYL
19.2	JARD, JVIGI, ANFFYL
20	JARD, JVIGI
21.1+22.2	UT, JARD, JVIGI
21.2	JARD, JVIGI, ANFFYL
21.3	UT, JARD, JVIGI
22.1+23	UT, JARD, JVIGI
24.1	EOU, JVIGI, JARDEOU
24.2	EOU, JVIGI, JARDEOU
25	JARD, JVIGI
26	JARD, JVIGI
27	EOU, JVIGI, JARDEOU
28	EOU, JVIGI, JARDEOU
29	EOU, JVIGI, JARDEOU
30	EOU, JVIGI, JARDEOU
31	EOU, JVIGI, JARDEOU
32	EOU, JVIGI, JARDEOU
33	EOU, JVIGI, JARDEOU
34	EOU, JVIGI, JARDEOU
35	JARD, JVIGI
36.1	EOU, JVIGI, JARDEOU
37	EOU, JVIGI, JARDEOU
38.1	EOU, JVIGI, JARDEOU
38.2	EOU, JVIGI, JARDEOU





ANEXO C: Ejemplo de formato de encuesta
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS
ENCUESTA



Esta encuesta busca conocer su opinión sobre una posible alternativa de uso para las áreas verdes del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras como parte de un proyecto de investigación de Maestría en Ciencias Biológicas de la UNAM.

Por favor, conteste cada pregunta antes de pasar a la siguiente. Sus respuestas son muy valiosas. Le pedimos contestar de forma sincera. Si tiene alguna duda, pregunte al encuestador antes de contestar.

Pregunta 1. De la siguiente lista de proyectos que podrían realizarse en las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras, ¿cuáles considera que serían prioritarios para beneficiar a las personas que realizan sus actividades cotidianas en estas instalaciones?

En la siguiente lista escriba una “X” dentro de los paréntesis “()” que corresponden a los proyectos que usted considera son prioritarios.

- () Proyecto 1: Establecer jardines con pasto y plantas ornamentales mexicanas y de otros países.
- () Proyecto 2: Construir espacios deportivos.
- () Proyecto 3: Construir espacios culturales y auditorios.
- () Proyecto 4: Construir aulas.
- () Proyecto 5: Construir oficinas administrativas.
- () Proyecto 6: Recuperar y conservar en las áreas verdes a los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.
- () Proyecto 7: Construir estacionamientos.
- () Proyecto 8: Construir sitios para comer.
- () Proyecto 9: Construir una bodega de material.
- () Proyecto 10: Otro tipo de proyecto de infraestructura. Escriba en la siguiente línea el nombre del mismo:

Pregunta 2. De los proyectos que usted marcó con una “X” en la pregunta anterior, ¿con cuáles estaría de acuerdo en que se realizaran en alguna o algunas de las áreas verdes del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras?

Escriba los números de estos proyectos en la siguiente línea o si no está de acuerdo en que cualquiera de estos proyectos se haga en las áreas verdes, simplemente escriba la palabra “ninguno”:



¡IMPORTANTE!

Para contestar las preguntas 3 a 10 le pedimos que imagine que se toma la decisión de llevar a cabo el proyecto 6 en las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras. Recuerde que el proyecto 6 corresponde a la recuperación y conservación en las áreas verdes de los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.

Pregunta 3. ¿Cuál es su opinión respecto a que en las áreas verdes del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras se llevara a cabo este proyecto?

Marque con una “palomita” (✓) solamente uno de los recuadros que corresponde a su opinión:

No estaría de acuerdo	De acuerdo, pero solamente en algunas áreas verdes	De acuerdo en todas las áreas verdes	No estoy seguro(a). Necesitaría tener más información.
-----------------------	--	--------------------------------------	--

Pregunta 4. ¿Considera que las personas que realizan sus actividades cotidianas en las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras obtendrían algún beneficio si se llevara a cabo este proyecto en sus áreas verdes?

Marque con una “palomita” (✓) solamente uno de los recuadros que corresponde a su opinión:

Sí	No	No estoy seguro(a). Necesitaría tener más información.
----	----	--

Pregunta 5. Si se decidiera llevar a cabo este proyecto en el Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras, podría ser necesario realizar distintas acciones en sus áreas verdes para recuperar los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran estas instalaciones. ¿Con cuáles de ellas estaría de acuerdo?

Coloque una “palomita” (✓) en el recuadro que corresponde a su opinión para cada acción:

Acciones	De acuerdo	En desacuerdo	No estoy seguro(a). Necesitaría tener más información.
Derribar árboles que son originarios de otros países en caso de que estuvieran en las áreas verdes.			
Sembrar árboles que pertenecen al paisaje que existía antes de que se construyeran estas instalaciones.			
Sustituir las zonas de césped con roca volcánica.			
Sembrar plantas que pertenecen al paisaje que existía antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.			
Impedir que la gente camine por las áreas verdes reservadas para conservar y recuperar la flora, fauna y el paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.			
Mantener las plantas en las áreas verdes de conservación y recuperación ecológica de las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras sin riego artificial. Solamente serían regadas por la lluvia.			
No podar las plantas en las áreas verdes de conservación y recuperación ecológica de las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.			



Pregunta 6. ¿Estaría dispuesto a donar 50 pesos al semestre para contribuir a recuperar en las áreas verdes a los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras si estuviera seguro de que el dinero se va a utilizar solamente para este fin?

Marque su respuesta con una “palomita” (✓) en la línea:

Sí_____ No_____ No estoy seguro(a), necesitaría más información_____

Si su respuesta fue “Sí” pase a la pregunta 7. Si su respuesta fue “No” pase a la pregunta 8. Si su respuesta fue “No estoy seguro(a)” pase a la pregunta 9.

Pregunta 7. ¿Podría donar más de 50 pesos? ¿Cuánto sería lo máximo que podría donar al semestre?

Escriba su respuesta en esta línea_____

Pase a la pregunta 9.

Pregunta 8. ¿Podría donar menos? ¿Cuánto podría donar?

Escriba su respuesta en esta línea_____

Pregunta 9. ¿Le interesaría participar en actividades concretas durante la ejecución del proyecto de recuperación y conservación dentro de áreas verdes de los seres vivos y paisaje que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras?

En este cuadro por favor marque con una “palomita” (✓) las actividades en las que le gustaría y podría participar.

Actividades	Respuesta
Retiro de basura.	
Retiro de malezas y plantas originarias de otros países.	
Informar a otras personas sobre la importancia de la recuperación y conservación de la flora y fauna nativa en las áreas verdes de las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.	
Vigilar que otras personas cuiden las áreas verdes que están siendo recuperadas y conservadas.	
Ayudar a conocer si se están recuperando las plantas y animales que existían antes de que se construyeran las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.	
Organizar estas actividades con otras personas de las instalaciones del Anexo de la Facultad de Filosofía y Letras.	
Otra u otras actividades.	

Si usted marcó el cuadro correspondiente a “Otra u otras actividades”, escriba en la siguiente línea el nombre de esta o estas actividades que usted podría realizar:_____

Pregunta 10. ¿Cuántas horas al mes podría participar en estas actividades?

Escriba su respuesta en esta línea _____

Por último, le pedimos proporcionar algunos datos adicionales para fines de esta investigación.

- ¿Cuál es su edad? Escriba su respuesta en esta línea: _____
- Coloque una cruz en el cuadro que indique el tipo de grupo social al que usted pertenece en la UNAM.

Estudiantes	Personal Académico (Profesores, investigadores y técnicos)
Personal de vigilancia	Jardineros
Personal administrativo de base y de confianza (excepto jardineros y personal de vigilancia)	

- Escriba una "X" dentro del recuadro que corresponde al último grado de estudios que cursó o está cursando.

Ninguno	Preescolar	Primaria	Secundaria	Preparatoria bachillerato	o	Licenciatura	Posgrado
---------	------------	----------	------------	------------------------------	---	--------------	----------

- Si usted estudió o estudia una licenciatura, escriba en las siguientes líneas el nombre de la misma y el número de semestres que ha cursado.

Nombre de la licenciatura: _____

Número de semestres cursados: _____

- Coloque una cruz sobre la palabra que corresponde a su género o bien escriba el nombre de su género en la sección de "Otro".

Masculino Femenino Otro: _____

- Si tiene algún comentario u observación que le gustaría agregar puede escribirla en las siguientes líneas:

Agradecemos su tiempo y respuestas.

Para cualquier duda o interés en este trabajo puede escribir al Biólogo Manuel Bonilla Rodríguez a través del correo electrónico werbiovau@comunidad.unam.mx

¡Gracias!



ANEXO D: Script de R utilizado para llevar a cabo los análisis de clasificación y componentes principales.

#1. Leer la base de datos.

```
read.csv("pca man R.csv",header=TRUE)->DB
```

#2. Cargar el vector con los códigos de las unidades de estudio.

```
sunames<-  
c(1.2,1.3,2,4.1,4.2,5,6,7,11,12,13,14,15,17,18,19.1,19.2,20,21.1,21.2,21.3,22.1,24.1,24.2,25,26,27,28,29,30,31,32,  
33,34,35,36.1,37,38.1,38.2)
```

#3. Asignar los códigos de las unidades de estudio a las filas de la base de datos.

```
rownames(DB)<-sunames
```

#4. Estandarizar los datos.

```
stand.DB<-scale(DB)
```

#5. Calcular las distancias euclidianas entre las muestras.

```
euclust <- dist(stand.DB,method = "euclidean")
```

#6. Realizar un análisis de clusters por el método de ligamiento completo.

```
completeclust <- hclust(euclust,method="complete")
```

#7. Obtener la distancia cofenética.

```
cophenetic(completeclust)->completecoph
```

#8. Calcular la correlación entre la distancia cofenética y la distancia euclideana.

```
cor(euclust,completecoph)
```

#9. Cortar en cuatro grupos el árbol obtenido con el método de ligamiento completo.

```
groupcomp<-cutree(completeclust,k=4)
```

#10. Generar un objeto con los grupos obtenidos para insertarlo en el análisis de componentes principales.

```
as.data.frame(as.factor(groupcomp))->groupcomp1
```

```
colnames(groupcomp1)<-c("Grupo")
```

#11. Realizar y consultar los resultados del análisis de componentes principales.

```
prcomp(DB, center = TRUE,scale. = TRUE)->var.pca
```

```
var.pca
```

```
summary(var.pca)
```

#12. Evaluar la significancia de los componentes principales obtenidos con el método de Broken Stick.

```
library(vegan)
```

```
screepplot(var.pca, bstick=T)
```

#13. Graficar los resultados de los análisis de clasificación y componentes principales.

```
library(ggfortify)
```

```
autoplot(var.pca,data=groupcomp1,colour="Grupo",label = TRUE, frame = TRUE, label.size = 5,shape =  
FALSE,loadings.colour = 'blue',loadings.label = TRUE, loadings.label.size = 5)+scale_colour_manual(values=c("orange"  
,"purple","blue","forestgreen","red"))+scale_fill_manual(values=c("orange","purple","blue","forestgreen","red"))+s  
cale_shape_manual(values=c(25,22,23,24))+theme_bw()
```

ANEXO E: Listado de familias y especies de plantas registradas

En este Anexo se presenta el listado de familias y especies de plantas que se registraron en las unidades de estudio y las zonas núcleo de la REPSA. La clasificación de las especies en familias se hizo a partir de la información proporcionada en Castillo-Argüero y colaboradores (2004), Rzedowski y Rzedowski (2005), Castillo-Argüero y colaboradores (2007), la página de malezas de la CONABIO (2017), y el U.S. National Plant Germplasm System (2019). Entre paréntesis se especifica si cada especie es exótica (E), nativa (N), arvense (A), nativa arvense (NA) y nativa no arvense (NnA). Algunas especies que son nativas de México como país aparecen como exóticas ya que están reportadas para localidades lejanas a la zona de estudio.

Familia Acanthaceae

- *Acanthus mollis* (E)
- *Dicliptera peduncularis* (NA)

Familia Adiantaceae

- *Cheilanthes bonariensis* (NnA)
- *Cheilanthes* sp.
- *Cheilanthes farinosa* (NnA)
- *Cheilanthes kaulfussii* (NnA)
- *Cheilanthes myriophylla* (NnA)

Familia Agavaceae

- *Agave americana* (NnA)
- *Agave salmiana* (NnA)
- *Agave* sp.
- *Agave stricta* (E)
- *Manfreda scabra* (NnA)

Familia Aizoaceae

- *Aptenia cordifolia* (E)
- *Carpobrotus edulis* (E)

Familia Amaranthaceae

- *Amaranthus hybridus* (NA)
- *Gomphrena pringlei* (NnA)
- *Gomphrena* sp.
- *Iresine cassiniiformis* (NnA)
- *Iresine diffusa* (NnA)

Familia Amaryllidaceae

- *Agapanthus* sp.
- *Crinum moorei* (E)

Familia Anacardiaceae

- *Rhus* sp.
- *Schinus molle* (E)

Familia Apiaceae

- *Arracacia toluensis* (NnA)
- *Cyclospermum leptophyllum* (NA)
- *Foeniculum vulgare* (E)
- *Prionosciadium thapsoides* (NnA)

Familia Araceae

- *Philodendron* sp.
- *Zantedeschia aethiopica* (NA)

Familia Araliaceae

- *Hedera helix* (E)

Familia Asclepiadaceae

- *Asclepias linaria* (NA)
- *Funastrum elegans* (NnA)
- *Metastelma angustifolium* (NnA)

Familia Asparagaceae

- *Chlorophytum* sp.
- *Yucca* sp. 1
- *Yucca* sp. 2



Familia Asphodelaceae

- *Aloe arborescens* (E)
- *Aloe aristata* (E)
- *Aloe vera* (E)

Familia Aspleniaceae

- *Asplenium praemorsum* (NnA)

Familia Asteraceae

- *Acourtia cordata* (NnA)
- *Ageratina* sp.
- *Ambrosia psilostachya* (NA)
- *Baccharis serraefolia* (NnA)
- *Baccharis sordescens* (NnA)
- *Bidens alba* (NA)
- *Bidens bigelovii* (NA)
- *Bidens odorata* (NA)
- *Bidens ostruthioides* (NnA)
- *Bidens* sp. 1
- *Bidens* sp. 2
- *Brickellia veronicifolia* (NnA)
- *Conyza bonariensis* (E)
- *Conyza canadensis* (NA)
- *Conyza sophiifolia* (NA)
- *Conyza* sp. 1
- *Conyza* sp. 2
- *Cotula australis* (E)
- *Dahlia coccinea* (NA)
- *Eupatorium petiolare* (NnA)
- *Eupatorium* sp.
- *Florestina pedata* (NA)
- *Galinsoga parviflora* (NA)
- *Gnaphalium americanum* (NnA)
- *Gnaphalium canescens* (NnA)
- *Gnaphalium chartaceum* (NnA)
- *Hypochaeris radicata* (E)
- *Jaegeria hirta* (NA)
- *Lagascea rubra* (NnA)
- *Montanoa arborescens* (NnA)
- *Montanoa tomentosa* (NnA)
- *Picris echioides* (E)

- *Piqueria trinervia* (NnA)
- *Pittocaulon praecox* (NnA)
- *Pseudognaphalium luteo-album* (E)
- *Senecio* sp.
- *Sigesbeckia jorullensis* (NA)
- *Sonchus asper* (E)
- *Sonchus oleraceus* (E)
- *Stevia organoides* (NnA)
- *Stevia ovata* (NnA)
- *Stevia salicifolia* (NnA)
- *Stevia* sp. 1
- *Stevia* sp. 2
- *Tagetes filifolia* (NA)
- *Tagetes lunulata* (NA)
- *Taraxacum officinale* (E)
- *Tithonia tubiformis* (NA)
- *Verbesina virgata* (NnA)
- *Zinnia peruviana* (NA)

Familia Begoniaceae

- *Begonia gracilis* (NnA)

Familia Berberidaceae

- *Berberis* sp.

Familia Betulaceae

- *Alnus acuminata* (NnA)

Familia Bignoniaceae

- *Jacaranda mimosifolia* (E)

Familia Brassicaceae

- *Brassica rapa* (E)
- *Cardamine hirsuta* (E)
- *Lepidium virginicum* (NA)
- *Sisymbrium altissimum* (E)

Familia Bromeliaceae

- *Tillandsia recurvata* (NnA)



Familia Burseraceae

- *Bursera cuneata* (NnA)

Familia Cactaceae

- *Mammillaria magnimamma* (NnA)
- *Opuntia tomentosa* (NnA)
- *Stenocereus marginatus*

Familia Cannabaceae

- *Celtis occidentalis* (E)

Familia Caryophyllaceae

- *Drymaria laxiflora* (NnA)

Familia Casuarinaceae

- *Casuarina equisetifolia* (E)

Familia Chenopodiaceae

- *Chenopodium* sp.

Familia Commelinaceae

- *Callisia repens* (NA)
- *Commelina coelestis* (NA)
- *Commelina dianthifolia* (NnA)
- *Commelina diffusa* (NA)
- *Commelina* sp.
- *Commelina tuberosa* (NA)
- *Gibasis linearis* (NnA)
- *Tinantia erecta* (NA)

Familia Convolvulaceae

- *Convolvulus arvensis* (E)
- *Cuscuta mitraeformis* (NnA)
- *Dichondra sericea* (NA)
- *Evolvulus alsinoides* (NA)
- *Exogonium* sp.
- *Ipomoea batatas* (NA)
- *Ipomoea cristulata* (NA)
- *Ipomoea hederifolia* (NA)
- *Ipomoea orizabensis* (NA)

- *Ipomoea pubescens* (NnA)
- *Ipomoea purpurea* (NA)
- *Ipomoea trifida* (NnA)

Familia Crassulaceae

- *Altamiranoa mexicana* (NnA)
- *Bryophyllum delagoense* (E)
- *Echeveria gibbiflora* (NnA)
- *Kalanchoe* sp.
- *Sedum oxypetalum* (NnA)
- *Sedum* sp.
- *Villadia misera* (NnA)

Familia Cucurbitaceae

- *Cyclanthera tamnoides* (NA)
- *Sicyos deppei* (NA)

Familia Cupressaceae

- *Cupressus lusitanica* (NnA)
- *Platycladus orientalis* (E)

Familia Cyperaceae

- *Cyperus manimae* (NnA)
- *Cyperus odoratus* (NA)

Familia Cystopteridaceae

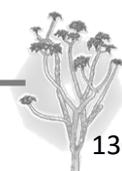
- *Cystopteris fragilis* (NnA)

Familia Dioscoreaceae

- *Dioscorea galeottiana* (NnA)

Familia Euphorbiaceae

- *Acalypha mexicana* (NA)
- *Euphorbia graminea* (NA)
- *Euphorbia heterophylla* (NA)
- *Euphorbia hirta* (NA)
- *Euphorbia macropus* (NA)
- *Euphorbia nutans* (NA)
- *Euphorbia* sp. 1
- *Euphorbia* sp. 2



-
- *Euphorbia* sp. 3
 - *Mercurialis annua* (E)
 - *Ricinus communis* (E)

Familia Fabaceae

- *Acacia melanoxylon* (E)
- *Dalea foliolosa* (NA)
- *Desmodium aparines* (NA)
- *Desmodium grahamii* (NnA)
- *Desmodium neomexicanum* (N)
- *Erythrina americana* (E)
- *Eysenhardtia polystachya* (NnA)
- *Macroptilium gibbosifolium* (NA)
- *Medicago lupulina* (E)
- *Melilotus indica* (E)
- *Mimosa aculeaticarpa* (NnA)
- *Phaseolus pauciflorus* (NnA)
- *Phaseolus pedicellatus* (NnA)
- *Phaseolus pluriflorus* (NnA)
- *Senna multiglandulosa* (NnA)
- *Senna occidentalis* (NnA)
- *Trifolium repens* (E)

Familia Fagaceae

- *Quercus deserticola* (NnA)
- *Quercus rugosa* (NnA)
- *Quercus* sp.

Familia Geraniaceae

- *Geranium seemannii* (NA)

Familia Hydrophyllaceae

- *Wigandia urens* (NA)

Familia Hypoxidaceae

- *Hypoxis mexicana* (NA)

Familia Iridaceae

- *Dietes grandiflora* (E)
- *Tigridia pavonia* (NnA)

Familia Lamiaceae

- *Leonotis nepetifolia* (E)
- *Salvia mexicana* (NnA)
- *Salvia tiliifolia* (NA)

Familia Loasaceae

- *Mentzelia hispida* (NA)

Familia Loganiaceae

- *Buddleja cordata* (NnA)
- *Buddleja parviflora* (NnA)

Familia Loranthaceae

- *Cladocolea loniceroides* (NA)
- *Struthanthus* sp.

Familia Lythraceae

- *Cuphea aequipetala* (NA)
- *Cuphea* sp.

Familia Malpighiaceae

- *Gaudichaudia mucronata* (NnA)

Familia Malvaceae

- *Anoda cristata* (NA)
- *Kearnemalvastrum lacteum* (NA)
- *Malva parviflora* (E)
- *Malva* sp.
- *Sida rhombifolia* (A)
- *Sida* sp.
- *Sphaeralcea angustifolia* (NA)

Familia Moraceae

- *Ficus benjamina* (E)
- *Ficus indica* (E)

Familia Myrtaceae

- *Callistemon citrinus* (E)
- *Eucalyptus camaldulensis* (E)
- *Eucalyptus globulus* (E)



-
- *Psidium guajava* (N)

Familia Nephrolepidaceae

- *Nephrolepis cordifolia* (NA)

Familia Nolinaceae

- *Dasyilirion* sp.

Familia Nyctaginaceae

- *Bougainvillea* sp.
- *Mirabilis jalapa* (NA)
- *Mirabilis* sp.

Familia Oleaceae

- *Fraxinus uhdei* (NnA)
- *Ligustrum lucidum* (E)

Familia Onagraceae

- *Lopezia racemosa* (NA)
- *Oenothera rosea* (NA)
- *Oenothera* sp.

Familia Orchidaceae

- *Habenaria* sp.
- *Spiranthes cinnabarina* (NnA)
- *Stenorrhynchos* sp.

Familia Oxalidaceae

- *Oxalis corniculata* (NA)
- *Oxalis divergens* (NA)
- *Oxalis* sp. 1
- *Oxalis* sp. 2

Familia Passifloraceae

- *Passiflora subpeltata* (NnA)

Familia Phytolaccaceae

- *Agdestis clematidea* (NnA)
- *Phytolacca icosandra* (NA)

Familia Pinaceae

- *Pinus ayacahuite* (NA)
- *Pinus* sp.

Familia Piperaceae

- *Peperomia campylotropa* (NnA)

Familia Pittosporaceae

- *Pittosporum tobira* (E)

Familia Plantaginaceae

- *Penstemon roseus* (NnA)

Familia Plantaginaceae

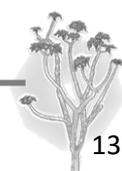
- *Veronica* sp. 1
- *Veronica* sp. 2
- *Veronica* sp. 3
- *Veronica* sp. 4

Familia Plumbaginaceae

- *Plumbago pulchella* (NnA)

Familia Poaceae

- *Aegopogon tenellus* (NnA)
- *Bromus carinatus* (NA)
- *Bromus diandrus* (NA)
- *Bromus* sp.
- *Buchloe* sp.
- *Chloris virgata* (NA)
- *Dactyloctenium aegyptium* (E)
- *Digitaria velutina* (E)
- *Eleusine multiflora* (E)
- *Eleusine indica* (E)
- *Eragrostis mexicana* (NA)
- *Muhlenbergia robusta* (NnA)
- *Oplismenus* sp.
- *Panicum* sp.
- *Paspalum prostratum* (NA)
- *Cenchrus clandestinus* (E)
- *Pennisetum villosum* (E)



- *Poa annua* (E)
- *Rhynchelytrum repens* (E)
- *Setaria grisebachii* (NA)
- *Setaria* sp.
- *Sporobolus atrovirens* (NnA)
- *Sporobolus indicus* (NnA)

Familia Polygonaceae

- *Persicaria capitata* (E)
- *Rumex obtusifolius* (E)

Familia Polypodiaceae

- *Phlebodium areolatum* (NnA)
- *Polypodium polypodioides* (NnA)
- *Polypodium thyssanolepis* (NnA)

Familia Portulacaceae

- *Portulaca oleracea* (NA)

Familia Pteridaceae

- *Adiantum andicola* (NnA)
- *Bommeria pedata* (NnA)
- *Pellaea cordifolia* (NnA)
- *Pellaea sagittata* (NnA)

Familia Resedaceae

- *Reseda luteola* (E)

Familia Rosaceae

- *Eriobotrya japonica* (E)
- *Potentilla indica* (E)
- *Prunus persica* (E)
- *Pyracantha coccinea* (E)
- *Rosa* sp.
- *Rubus liebmannii* (NnA)

Familia Rubiaceae

- *Bouvardia ternifolia* (NnA)
- *Crusea longiflora* (NA)

Familia Rutaceae

- *Citrus sinensis* (E)

Familia Sapindaceae

- *Cardiospermum halicacabum* (NA)
- *Dodonaea viscosa* (NnA)

Familia Schrophulariaceae

- *Cymbalaria muralis* (E)

Familia Selaginellaceae

- *Selaginella lepidophylla* (NnA)
- *Selaginella sellowii* (NnA)

Familia Solanaceae

- *Datura inoxia* (NA)
- *Jaltomata procumbens* (NA)
- *Nicotiana glauca* (E)
- *Physalis chenopodiifolia* (NA)
- *Solanum bulbocastanum* (NnA)
- *Solanum nigrescens* (NA)
- *Solanum pseudo-capsicum* (E)
- *Solanum* sp.

Familia Tropaeolaceae

- *Tropaeolum majus* (E)

Familia Urticaceae

- *Parietaria pensylvanica* (NA)

Familia Verbenaceae

- *Duranta erecta* (NnA)
- *Lantana camara* (NnA)
- *Verbena* sp.

Familia Viscaceae

- *Phoradendron brachystachyum* (NnA)

Familia Vitaceae

- *Cissus sicyoides* (NnA)
- *Cissus* sp.



ANEXO F: Ejemplo de oficio de solicitud de permiso para realizar encuestas

Asunto: Solicitud de permiso e información para realización de encuestas

L.A. Adriana Vidal González

Administradora general

AAPAUNAM

Presente

A través de este medio nos permitimos solicitar su autorización para realizar dos encuestas a la comunidad de la Casa Club del Académico y las instalaciones de AAPAUNAM próximas al Estadio Olímpico. Estas encuestas serán conducidas por el alumno de Maestría en Ciencias Biológicas **MANUEL BONILLA RODRÍGUEZ**, con número de cuenta 409015801, como parte de su proyecto de investigación de tesis titulado “Evaluación integral del potencial para restaurar la vegetación nativa en pedregales remanentes colindantes al Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria”, el cual forma parte del proyecto PAPIIT-UNAM IV200117.

Estas encuestas tienen como objetivo evaluar la factibilidad social de restauración de la vegetación nativa en remanentes de pedregal. Ambas encuestas se realizarían en el periodo comprendido entre octubre de 2018 y marzo de 2019 con el apoyo de hasta 10 alumnos que fungirán como encuestadores. Los formatos impresos que se aplicarán durante las encuestas se anexan a la presente para su conocimiento. Estos instrumentos serán aplicados a una muestra de personal académico y personal administrativo de base y de confianza, así como a la persona o grupo que esté actualmente encargado de tomar decisiones sobre el manejo de áreas verdes y edificación de infraestructura en la **Casa Club del Académico y las instalaciones de AAPAUNAM próximas al Estadio Olímpico**.

Por otra parte, para decidir el tamaño de muestra de la encuesta, le solicitamos atentamente se canalice al alumno Manuel Bonilla con la persona que pueda proporcionar la siguiente información acerca de las personas que llevan a cabo sus actividades **en los recintos mencionados**:

1. Número de miembros del personal académico y personal administrativo de confianza y de base que allí laboran.
2. Número de jardineros e integrantes del personal de vigilancia.
3. El dato de contacto de la persona encargada de enviar avisos por correo electrónico al personal de las **instalaciones de AAPAUNAM próximas al Estadio Olímpico** para que pueda distribuir la versión electrónica de la encuesta entre los miembros de la comunidad a ser encuestados.
4. Nombre y datos de contacto de las personas que estén encargadas de tomar decisiones sobre el manejo de áreas verdes y sobre edificación de infraestructura en estos recintos.

Por motivos de tiempos de entrega de los productos emanados de la presente investigación, le solicitamos respetuosamente su valioso apoyo para hacernos saber su decisión a través de un oficio **a más tardar el día 30 de octubre de 2018**, si usted gusta, al correo electrónico maboro_9@hotmail.com.

Sin otro particular, aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 15 de octubre de 2018.

BIÓL. MANUEL BONILLA RODRÍGUEZ

ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS

No. DE CUENTA: 40901580-1

Dirección electrónica:

werbiovau@comunidad.unam.mx

DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA

CORDINADOR DEL POSGRADO EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS

Tel: 56237002

Dirección electrónica: anavarro@posgrado.unam.mx

DR. ZENÓN CANO SANTANA

TUTOR PRINCIPAL DE MAESTRÍA

PROFESOR TITULAR “C”, T.C.

Tel: 56224835

Dirección electrónica: zcs@ciencias.unam.mx

