

# Programa de Restauración Ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México.

Hacia un modelo social  
incluyente

Gobierno de la Ciudad de México  
Consejo Económico, Social y Ambiental de la Ciudad de México  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Coordinación de Humanidades  
Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad



GOBIERNO DE LA  
CIUDAD DE MÉXICO





# CRÉDITOS

**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Coordinación de Humanidades**  
**Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad**

## **Director**

Dr. Javier Delgado Campos

## **Coordinación académica**

Dr. Jorge F. Cervantes Borja ,  
Facultad de Arquitectura, UNAM

## **Coordinación técnica**

Mtra. Jessica Bautista Vergara,  
**PUEC, UNAM**

## **INVESTIGACIÓN**

### **Instituto de Geografía, UNAM**

Mtro. Armando Peralta Higuera  
Dr. Enrique Pérez Campuzano  
Geóg. Miguel Ángel Ramírez Beltrán

### **Facultad de Ciencias, UNAM**

Dra. Julieta Jujnovsky Orlandini  
Facultad de Economía, UNAM  
Dr. Luis Miguel Alejandro Galindo Paliza  
Dr. Saúl Basurto Hernández  
Mtro. Luis F. González Martínez

### **Facultad de Arquitectura, UNAM**

Mtro. Antonio Suárez Bonilla  
Dr. Alejandro Esteban Marambio Castillo  
Mtra. Daniela Barrañón Gallardo  
Mtra. Ma. Elena Hernández Pandelí

### **UAM – Azcapotzalco**

Mtro. Miguel Ángel Cancino Aguilar

## **Asesores**

Mtro. Oscar Manuel Ramírez Flores  
Lic. Saraí Morales Reygadas  
Mtro. Diego David Reygadas Prado  
Dra. Rosalía Gómez Uzeta

## **Asistentes de investigación**

Mtra. Yazmín Carrillo Mata  
Lic. Reynol González Vizcarra  
Pas. Paulina Guadalupe Reyes Martínez  
Lic. Gustavo Rodríguez Gallegos  
Lic. Fernando Javier Sánchez Contreras  
Pas. Ángel Velázquez Pérez

## **PUEC, UNAM**

Mtra. Mariana Sánchez Vieyra  
Urb. J. Alberto Rojo Monterrubio  
Lic. Verónica Mendoza Mora  
Lic. Eduardo Carbajal Barrón

# Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>Marco regional y local del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces incluyendo las áreas de valor ambiental (AVA).....</b>	<b>8</b>
<b>Rasgos relevantes del medio biofísico .....</b>	<b>10</b>
Riesgos .....	21
Uso de suelo y vegetación.....	23
<b>Estatus de conservación y/o protección del patrimonio natural .....</b>	<b>26</b>
<b>Magnitud del impacto ambiental .....</b>	<b>31</b>
<b>Potencial económico de los servicios ecosistémicos... ..</b>	<b>33</b>
<b>Valor monetario de los servicios ecosistémicos .....</b>	<b>39</b>
Servicios de provisión para la agricultura .....	39
Servicio de polinización .....	40
Servicios de almacenamiento y secuestro de carbono en bosques y suelos .....	40
Valor monetario del carbono en bosques .....	41
Valor monetario del carbono en suelos .....	43
Servicios de los ecosistemas de bosques .....	45
<b>Servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas y turismo de naturaleza .....</b>	<b>45</b>
Servicios de captación y cosecha de lluvia .....	47

Estimación de la precipitación máxima probable en 24 horas para periodos de retorno de 2 a 100 años.....	47
Microcuenca La Venta .....	49
Microcuenca La Magdalena Contreras Norte .....	49
Cosecha de agua estimación total .....	50
<b>La nueva economía urbana del siglo XXI: empleos verdes y servicios de los ecosistemas en el sistema de las barrancas .....</b>	<b>53</b>
<b>Propuestas para desarrollar actividades     recreativas y de ecoturismo .....</b>	<b>55</b>
<b>Infraestructura verde y conectividad urbano-rural .....</b>	<b>58</b>
Conectividad entre barrancas .....	60
<b>Red de senderos ecoturísticos de usos múltiples .....</b>	<b>61</b>
Barranca Río Becerra Tepecuache.....	61
Barranca Tarango .....	63
<b>Estrategia para fortalecer el marco jurídico     e institucional en materia de áreas de valor     ambiental .....</b>	<b>65</b>
Fortalecimiento del contenido de los instrumentos de gestión de las barrancas como AVA (decretos, programas de manejo) .....	67
<b>Hallazgos relevantes .....</b>	<b>68</b>
<b>Propuestas .....</b>	<b>70</b>
<b>Glosario de siglas y abreviaturas.....</b>	<b>73</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>75</b>

## Introducción

La economía capitalina experimenta un intenso proceso de terciarización, en la cual las actividades de servicios alcanzan 88.4% del producto interno bruto (PIB) (GCDMX, 2022). Dentro de este contexto se registran elevados niveles de desempleo y pobreza, con fuerte concentración del ingreso y una compleja matriz de externalidades negativas. Estas últimas se derivan de la problemática ambiental generada por la contaminación atmosférica, del suelo y agua, y se agravan por la pérdida continua de superficies forestales; asimismo, están presionadas por el crecimiento urbano y el cambio climático, que influye en la isla de calor urbano durante la mayor parte del año e induce a una mayor vulnerabilidad frente a los riesgos hidrometeorológicos.

Ante esta situación, las áreas de valor ambiental (AVA) insertas en el sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces del poniente de la Ciudad de México (CDMX) se mantienen presionadas por la urbanización, que sigue la lógica del incentivo económico y de oportunidad para ocupar las barrancas con asentamientos que generan un elevado impacto ambiental. Para enfrentar dicha presión urbana, se ha desarrollado la estrategia de sustentabilidad basada en la revaloración de los servicios geoeosistémicos que proporciona el sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces, para coadyuvar con el bienestar social y el buen desempeño de las actividades económicas.

A fin de lograr el funcionamiento sostenible de las AVA resulta fundamental la conservación integral de las barrancas, eliminando las

presiones especulativas que tratan de cambiar el uso del suelo forestal por el urbano. Además, preservar las áreas forestales de las barrancas es indispensable para amortiguar los efectos de la isla de calor urbano y de la nube de contaminación que se acumula al suroeste de la ciudad. Ante los peligros generados por el cambio climático, el sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces tiene que mantener e incrementar sus funciones geoecosistémicas de regulación, para evitar la inestabilidad de laderas y la amenaza de inundaciones, desastrosas para los asentamientos humanos.

La presencia de estos fenómenos es más que suficiente para resaltar el valor sustancial del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces, y buscar por ello su rescate y conservación de la calidad ecológica y ambiental, del agua y el aire. Así también lo es la firmeza del suelo, necesaria para asegurar la estabilidad de muchas de las construcciones que están amenazadas constantemente por deslizamientos, derrumbes y asentamientos que ocurren en la parte superior y media de sus laderas. En todos estos fenómenos se involucran costos y beneficios que deberán internalizarse en la generación del potencial que producen las actividades económicas para el bienestar social. Por ello debe reconocerse el valor monetario de la contribución de los servicios de los ecosistemas, asociado con su capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono, así como a la posibilidad de generar una sinergia entre el modelo de ocupación urbana y la generación de empleos verdes —a través del cuidado del medio ambiente—, así como de la configuración de una nueva economía urbana, baja en carbono, incluyente y resiliente, que fomente la preservación ambiental como parte de la política verde de la CDMX.

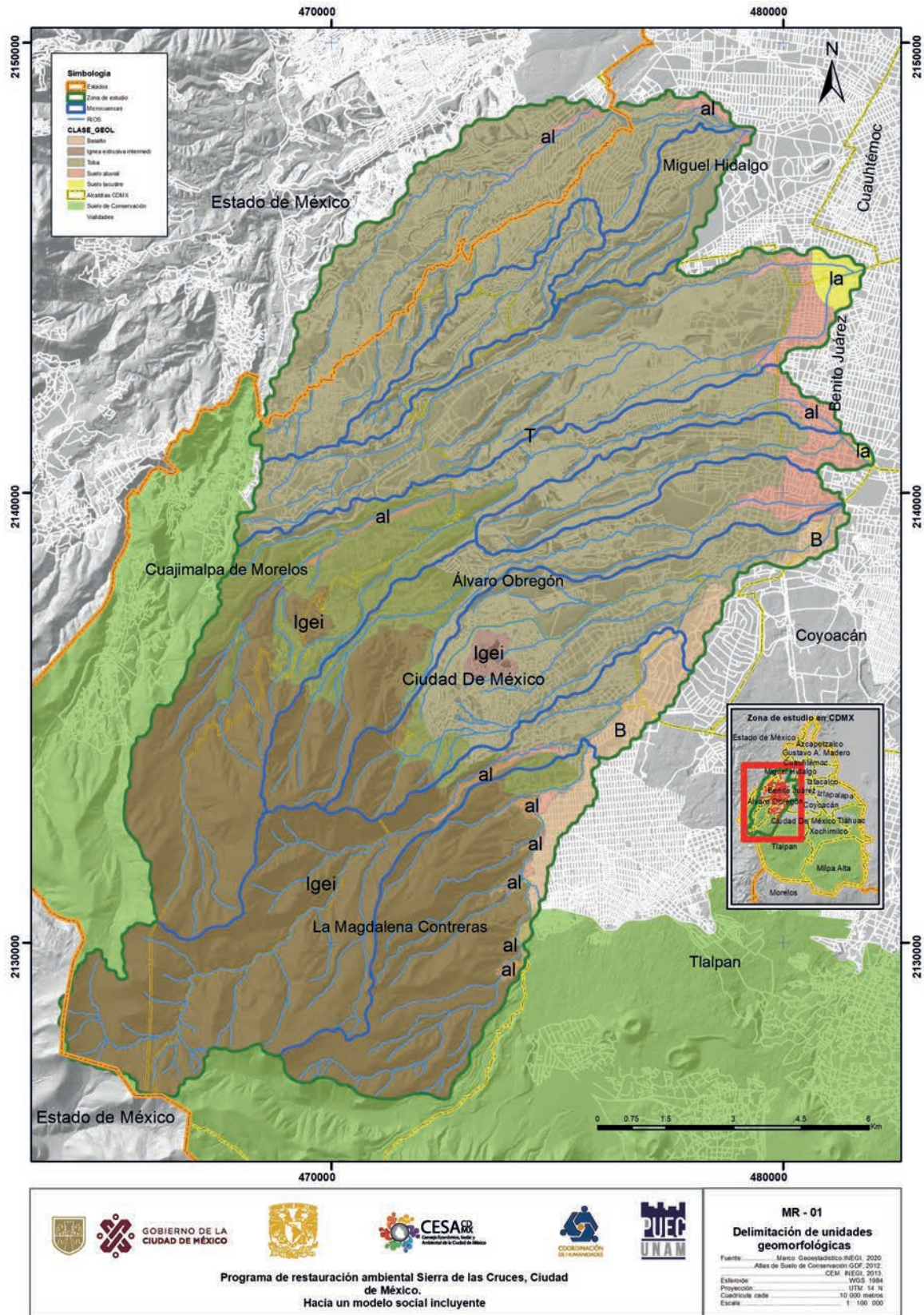
## Marco regional y local del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces incluyendo las áreas de valor ambiental (AVA)

La sustentabilidad del desarrollo socioeconómico en el sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces debería cimentarse en el potencial de sus servicios geoeosistémicos y en el impulso de actividades económicas verdes, como la educación ambiental, la sensibilización ecológica y el ecoturismo.

El sistema presenta una degradación considerable a causa de la expansión urbana, pero conserva aún relictos importantes de ecosistemas ricos en flora y fauna, que mantienen su funcionamiento geoeosistémico básico. Esto permite suponer que se puede sostener y potenciar el manejo sustentable de los recursos naturales del paisaje geográfico regional (Mapa 1).



**Mapa 1.** Delimitación de unidades geomorfológicas del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces



Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2020 y GDF, 2012

## Rasgos relevantes del medio biofísico

**Clima.** Por su ubicación intertropical y su altitud sobre el nivel del mar, la Sierra de las Cruces presenta varios tipos de climas. En el suroeste montañoso de las barrancas se tienen climas frío y semifrío, cuya temperatura más baja se aproxima a los 6 °C en el invierno; al noreste de la parte baja, la temperatura más cálida llega a 31 °C desde abril a junio (Mapa 2).

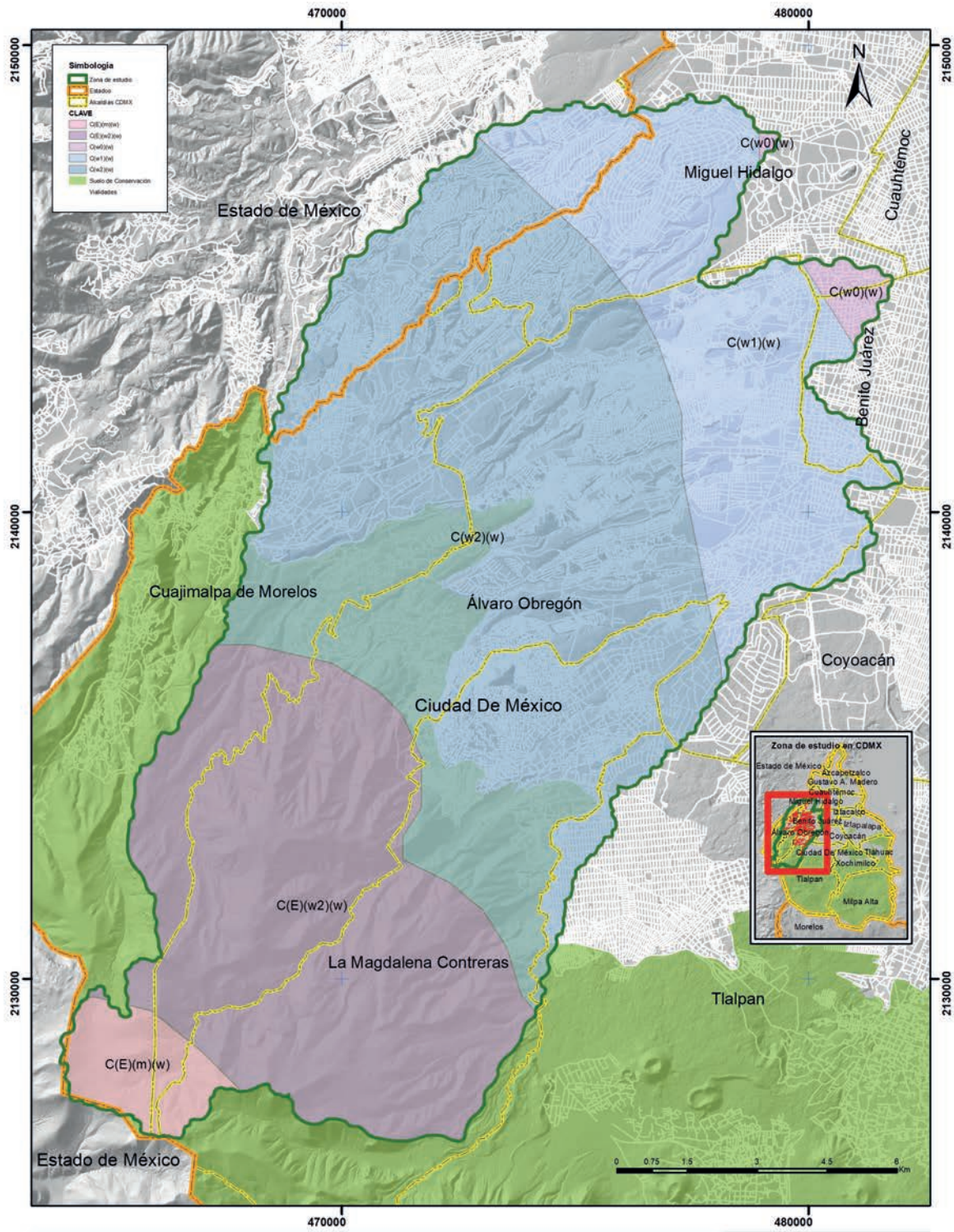
En el pie de monte, ocupado en su mayor parte por las barrancas, el clima es templado semicálido, con variaciones por los cambios altitudinales. En la parte baja, la temperatura media anual varía de 15.5 °C a 17.5 °C durante la primavera. La temperatura mínima ocurre en invierno con 10 °C. En las zonas intermedias, la temperatura es de 15 °C en la primavera; las temperaturas mínimas de invierno alcanzan los 13.2 °C. En la parte sur elevada, el clima deja de ser templado para convertirse en un clima semifrío en contacto con la montaña, con temperatura media anual de 10 °C; la temperatura máxima se presenta en primavera con 12 °C y la mínima es de 8.1 °C.

La precipitación pluvial va de los 800 mm en la parte baja del pie de monte a 1,200 mm en la parte central, y sube a 1,400 mm en el suroeste montañoso. La precipitación tiene un régimen estacional de verano en los meses de junio a septiembre. La precipitación invernal ocurre de noviembre a febrero y varía de 1,000 mm a 1,200 mm. La gráfica siguiente muestra la intensidad de las lluvias anuales, que registran un periodo bajo en junio con 293 mm, y el mayor de septiembre con 331 mm.

El fenómeno del cambio climático influirá directamente en la intensidad de la lluvia, generando periodos interanuales secos más largos; mientras que los torrentes aumentarán notablemente y generarán riesgos a la estabilidad de los asentamientos ubicados en todo el talud de barrancas de la Sierra de las Cruces.

Otro fenómeno relevante es la isla de calor asociada directamente con el grado de urbanización (Landa, Magaña y Neri, 2008). Este fenómeno se deriva de la absorción de calor de las superficies urbanas durante el día y su posterior irradiación nocturna que forma

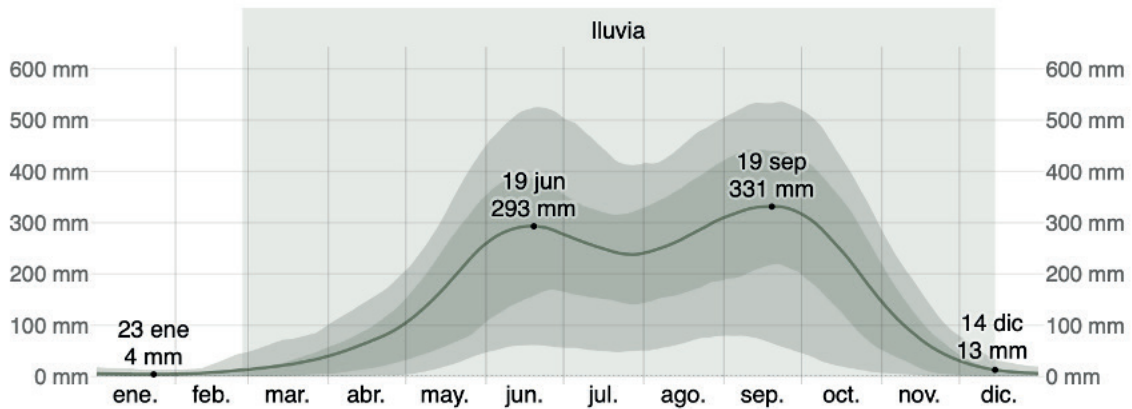
Mapa 2. Tipos de climas



**MR - 03**  
**Tipos de Climas**  
 Fuente: Marco Geostadístico INEGI, 2020.  
 Atlas de Suelo de Conservación CIG, 2012.  
 Estado: CDMX, INEGI, 2013.  
 Proyección: WGS 1984.  
 UTM 14 N.  
 Cuadrícula cada: 10 000 metros.  
 Escala: 1:100 000.

Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2020

Programa de Restauración Ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente

**Gráfica 1.** Intensidad de las lluvias anuales

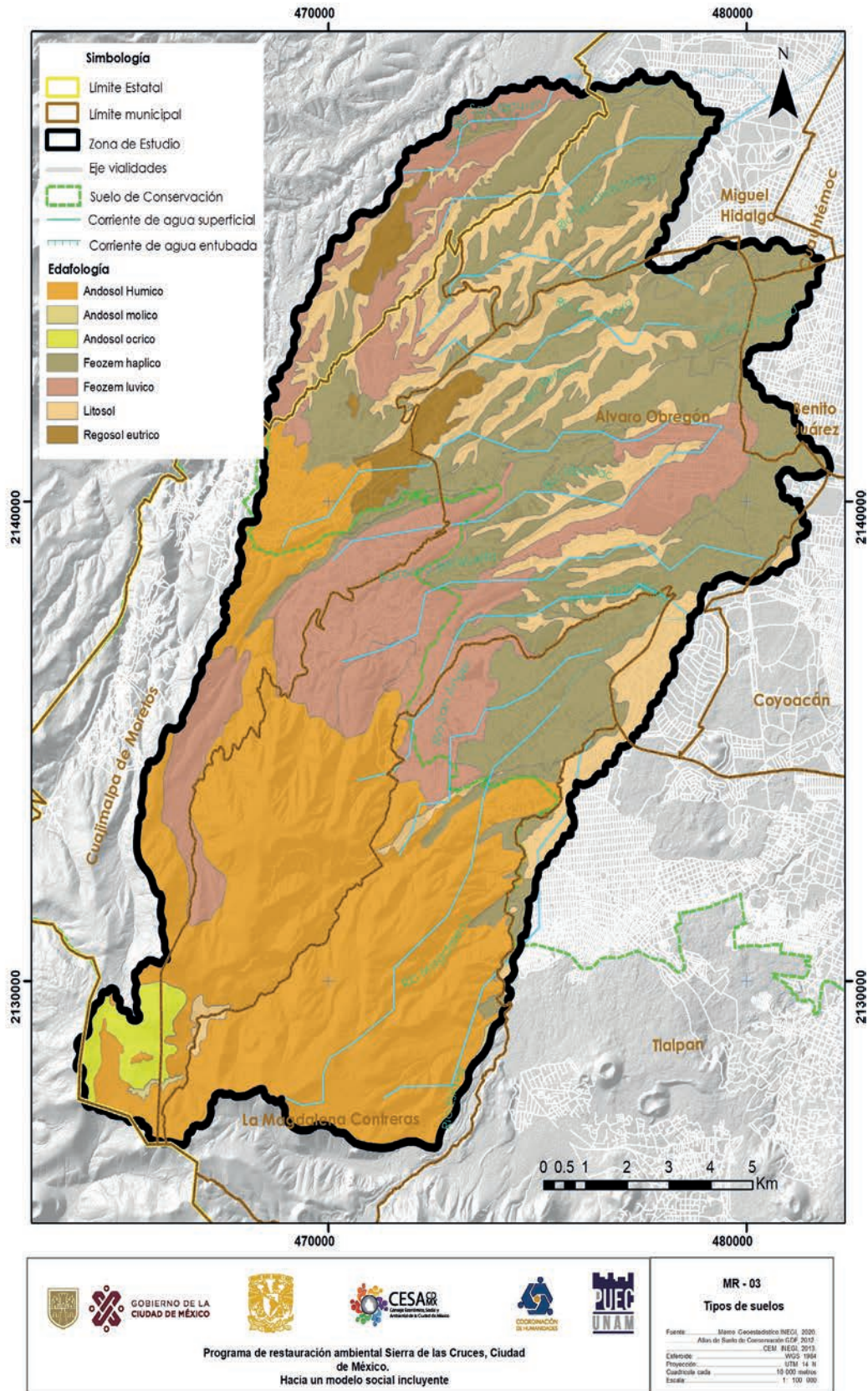
Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/10535/Clima-promedio-en-Álvaro-Obregón-México-durante-todo-el-año#Sections-Precipitation> [consultado en agosto de 2022].

una burbuja de aire caliente; esta asciende desde la parte baja de la ciudad por las depresiones del sistema de barrancas, modificando en ellas el perfil térmico semitemplado del aire, con la consecuente alteración de los microambientes, y afecta también la presión atmosférica, los vientos, la nubosidad y la precipitación, así como la redistribución de contaminantes (Conde, Pabón y Sánchez, 2013). Por lo anterior, resulta indispensable considerar la mitigación de la isla de calor mediante la conservación y el acrecentamiento de las zonas de vegetación en el sistema de barrancas, lo que aumentará la humedad, disminuirá la temperatura y se mantendrá, o mejorará, la calidad de aire en beneficio ambiental de los ecosistemas y la ciudad.

**Edafología.** Los suelos se forman por la transformación de los materiales volcánicos de la Sierra de las Cruces, en la que se presentan cuatro unidades de suelo: andosol (T), feozem (H), litosol (I) y regosol (R) (Mapa 3).

*Andosoles.* Estos suelos se desarrollan sobre materiales volcánicos recientes que suelen tener alto contenido de vidrio volcánico. Presentan espesores oscuros de hasta 50 cm con una textura media. Ocupan las partes montañosas más altas y húmedas del suroeste en las demarcaciones Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón y la

Mapa 3. Tipos de suelos



Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2020

Magdalena Contreras. Su distribución coincide, en lo general, con la cubierta forestal de pinos en las partes altas de las microcuencas, que son de alta susceptibilidad de deslizamientos y erosión.

*Feozem*. Este suelo se encuentra en la mayor parte de la región, en las alcaldías de Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, la Magdalena Contreras y Miguel Hidalgo. Se asocia al clima subhúmedo y presenta horizontes superficiales oscuros fértiles. Son de fácil erodabilidad y en las barrancas ocasionan problemas erosivos serios, además de ser susceptibles de deslizamientos y derrumbes.

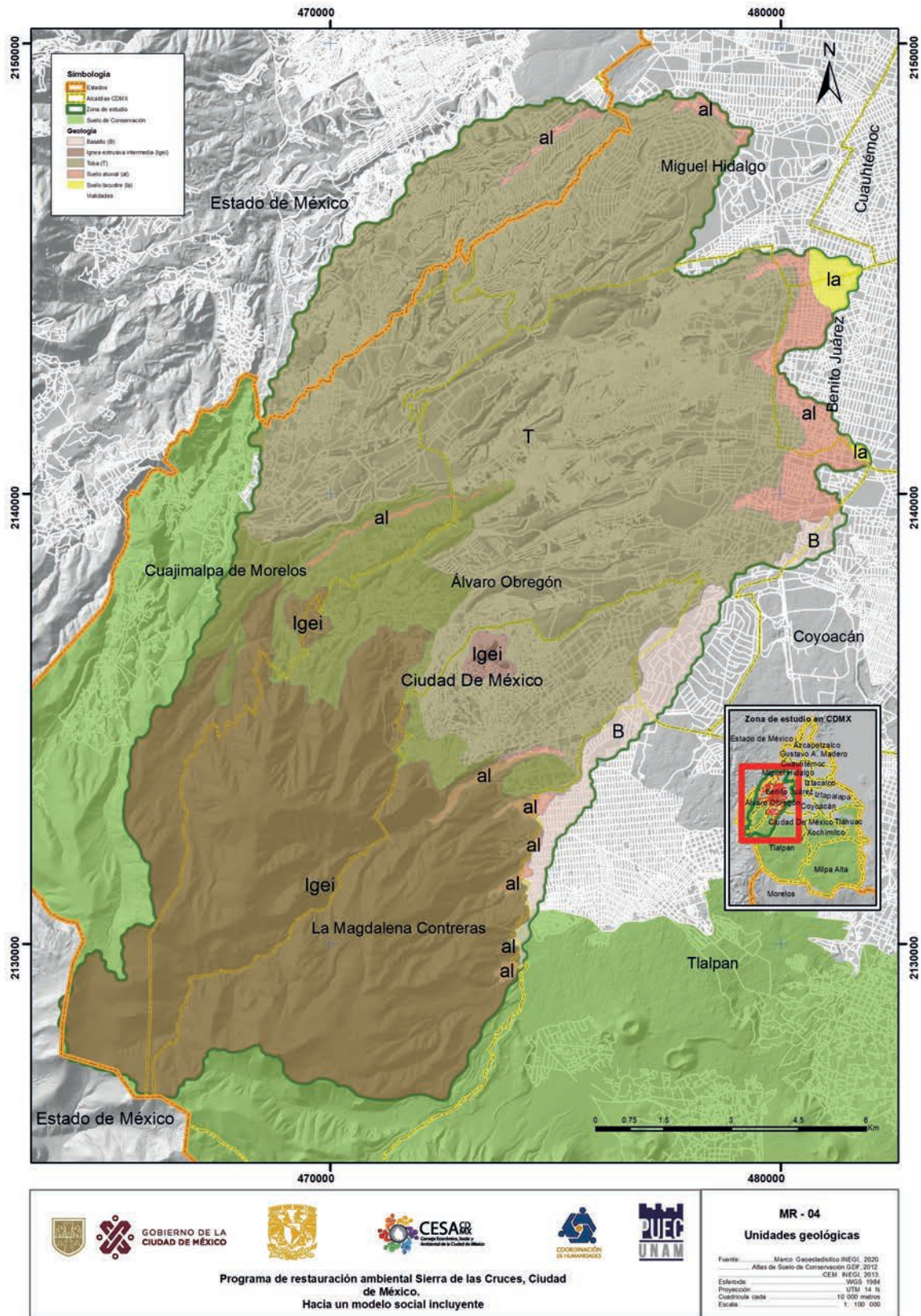
*Litosol*. Son suelos resultantes de los procesos erosivos en las barrancas. Se distribuyen en la porción central de la región, en los límites de la Magdalena Contreras con Tlalpan y en el límite de la región dentro de la alcaldía Coyoacán. Se localiza en la parte más baja del sistema de barrancas que cruza la zona de estudio de suroeste a noreste. En las barrancas son susceptibles de derrumbes y deslizamientos.

*Regosoles*. Estos suelos se desarrollan incipientemente a partir de materiales arenosos volcánicos. Su extensión es menor en las alcaldías Cuajimalpa de Morelos y Álvaro Obregón. Su estructura es de material suelto que puede sustentar diferentes tipos de vegetación.

**Geología.** La Sierra de las Cruces es una estructura volcánica que se edificó desde el Periodo Terciario y tuvo manifestaciones eruptivas hasta el Cuaternario. En la unidad más antigua predominan las rocas volcánicas de andesitas y dacitas (*igea* e *igeri*) del Mioceno y Pleistoceno. En las barrancas, este tipo de materiales están dominados por la formación Tarango, de edad cuaternaria, que conforma todo el piedemonte compuesto por varios tipos de sedimentos (Bryan, 1948; Arellano, 1953).

**Geomorfología.** La Sierra de las Cruces se originó en la actividad volcánica extrusiva, que produjo un relieve montañoso con diversas geoformas, tales como montañas de domo y bloque, taludes de piedemonte, valles y barrancas, planicies alabeadas y derrames lávicos. La montaña y el piedemonte cubren la mayor parte del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces, en donde destacan elevaciones importantes como el cerro de San Miguel, así como

Mapa 4. Unidades geológicas



Programa de Restauración Ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente

Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2020

geofomas menores de barrancos, cañadas y algunas mesetas; mientras que en el piedemonte se conforma la mayoría de las barrancas distribuidas en sentido suroeste a noreste, entre las que destacan Tecamachalco, Tacubaya, Jalalpa, Golondrinas, Mixcoac, Tarango, Del Muerto, Guadalupe, Hueyatlaco, El Moral, La Malinche y Atzoyapan. Al sur de la región están las cuencas de los ríos Magdalena y San Buenaventura (Mapa 5).

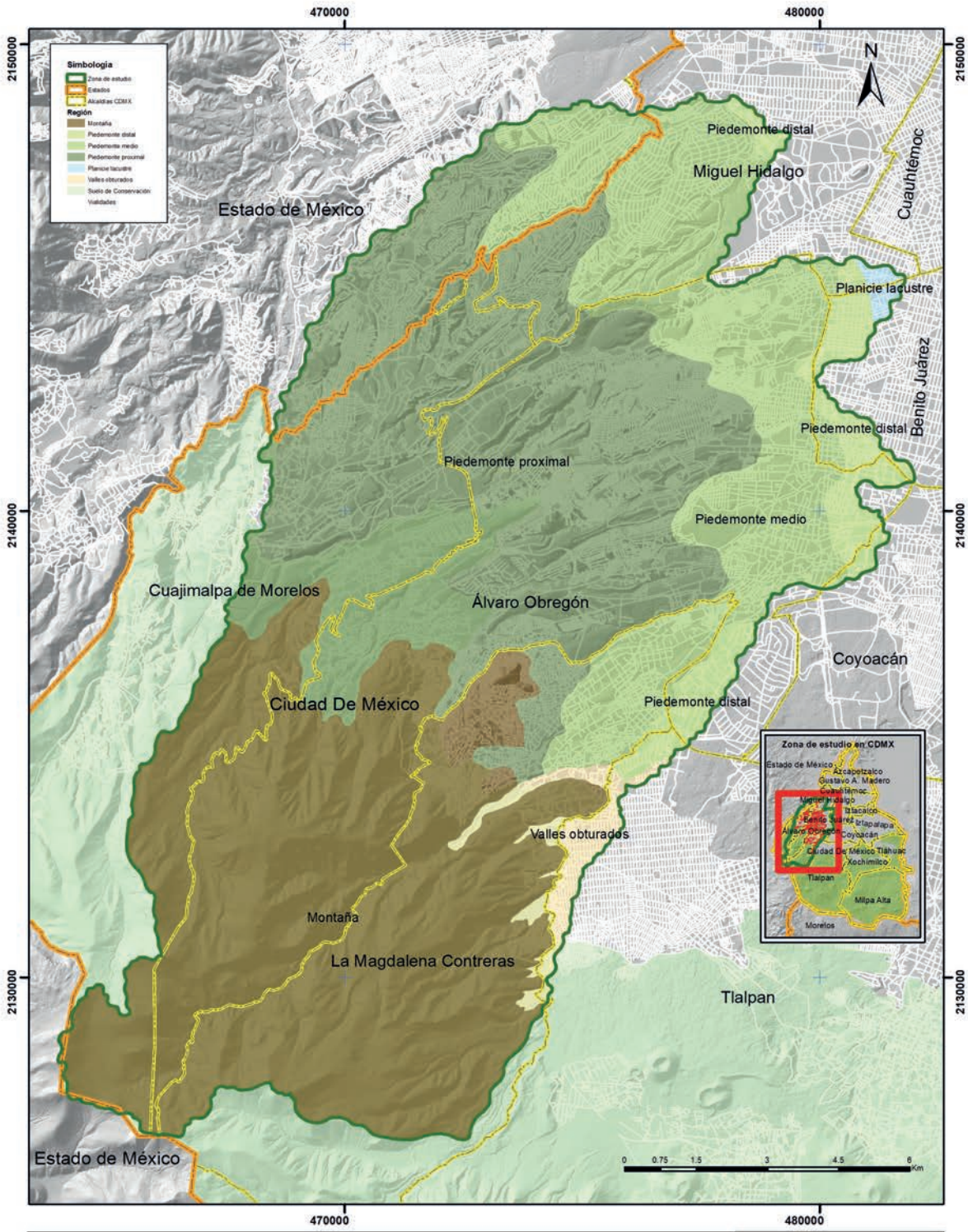
**Hidrología.** El sistema hidrológico de las barrancas de la Sierra de las Cruces está formado por los ríos San Joaquín, Tecamachalco, Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Barranca del Muerto, Tequilasco, Pilares, San Ángel, Magdalena y Eslava; así como por una serie de arroyos como lo son Puente Grande, Puente Colorado, Las Flores y Texcalatlaco. Estos, en su mayoría, se encuentran entubados en su parte final, donde convergen con la zona urbanizada de la CDMX, a fin de evitar problemas de inundaciones (Mapa 6).

El sistema hidrológico también incluye presas a lo largo de los ríos principales, las cuales en el pasado se construyeron para la generación de energía eléctrica, el almacenamiento y el control de avenidas. Sin embargo, en la actualidad este sistema —conformado por las presas Anzaldo, Las Flores, Tequilasco, La Mina, Pilares, Tarango, Mixcoac, Becerra A, B y C, Tacubaya, Ruiz Cortines (presa Tacubaya), Texcalatlaco y Tecamachalco— se encuentra fuera de operación.

Las cuencas hidrográficas del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces son unidades físico-naturales muy importantes para la planeación y gestión ambiental, dado el papel funcional que los ríos tienen al interconectar y caracterizar todo el espacio geográfico que constituye la cuenca. En ella transcurren los flujos hídricos superficiales y subterráneos que transportan energía y materia desde las partes altas de la cuenca de captación hasta las zonas bajas, conduciendo a lo largo de todo el sistema de cauces, con laderas tendidas o abruptas, dando lugar a la conformación de barrancos, cañones y valles. El sistema de barrancas ocupa esencialmente el talud medio y bajo, que reciben flujos estacionales importantes de la cuenca montañosa, pero esencialmente, hoy día, reciben aguas grises y negras de los asentamientos urbanos que han invadido



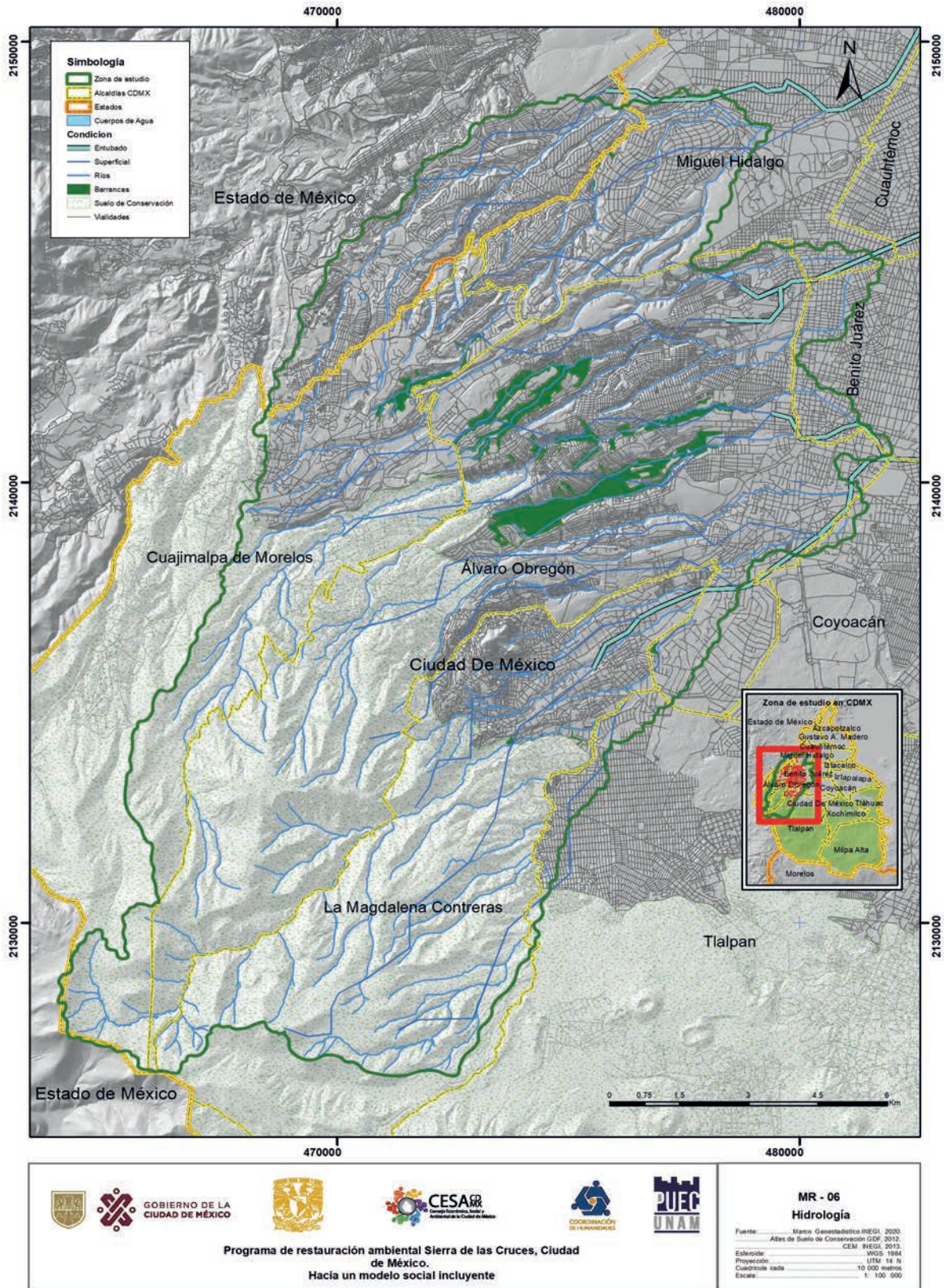
Mapa 5. Geomorfología



					<p><b>MR - 05</b> <b>Geomorfología</b></p> <p>Fuente: Marco Geoespacial INEGI 2020 Atlas de Suelo de Conservación GDE 2012 CEM INEGI 2013</p> <p>Elaborado: WGS 1984 Proyección: UTM 14 N Cadastrado: 10 000 metros Escala: 1: 100 000</p>
<p>Programa de restauración ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente</p>					

Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2020

Mapa 6. Hidrología



Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2020

todo el talud, a la vez que rodean y flanquean todo el perímetro de las barrancas.

Por esta razón es que el almacenamiento hídrico en el sistema de barrancas resulta inadecuado, debido a la contaminación que sufre el agua pluvial que se mezcla con aguas grises y negras en la red de drenaje, en virtud de la proliferación de emisores domésticos y urbanos que confluyen en él. A esta situación se suma la gran cantidad de residuos líquidos y sólidos, que empantanar los cauces y embalses de las presas; equipamientos que, con la llegada de los asentamientos urbanos y el entubamiento de los ríos, dejaron de contar con mantenimiento, y hoy en día se encuentran totalmente inservibles y fuera de su vida útil.

### Río Magdalena. Paraje Cieneguillas



En su curso, el río Magdalena, transcurre por dos diferentes tipos de zonas: la primera es el área natural, que corresponde a una porción del suelo de conservación de la Ciudad de México, desde un nacimiento en el paraje Cieneguillas hasta la entrada al Parque Nacional Los Dinamos. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

### Río Tecamachalco



El río Tecamachalco presenta altos niveles de contaminación debido a las aguas negras que descargan y corren al aire libre, lo que hace que el olor se fétido y provoque enfermedades gastrointestinales. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

### Presa Tarango



En Tarango se presenta acumulación de residuos sólidos en la presa y su cauce. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

## Presa Anzaldo



El Río Magdalena y Eslava desembocan en la Presa Anzaldo, la cual presenta serios problemas de azolve por basura y lodos. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

### Riesgos

Existe una probabilidad alta de que sucedan daños y pérdidas en las estructuras urbana y arquitectónica, así como en la población que se encuentra sobre y circundando el sistema de barrancas. Dicha amenaza resulta de la interacción entre la vulnerabilidad y la exposición al peligro de los agentes perturbadores, que eleva los riesgos de inestabilidad de laderas, los hundimientos del terreno e inundaciones; en conjunto, constituyen las mayores amenazas del sistema. En áreas con tunelamiento de minas existe el peligro de colapso de techos de cavernas que no fueron adecuadamente estabilizadas antes de la edificación urbana.

En zonas de fallas geológicas y de actividad sísmica, el suelo de las barrancas es más vulnerable a las sobrecargas del mismo, por el peso de las edificaciones y el abatimiento de los niveles freáticos que ocasionan grietas de desecación y movimientos de masa.

## Barranca Mixcoac



Los usos a los que están siendo sujetas las barrancas deterioran los atributos ecológicos de estas áreas, ya que casi todos los asentamientos se expanden usando el proceso de ocupación irregular. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

## Barranca Magdalena Eslava



En la zona se encuentran asentamientos irregulares, los cuales ocupan suelo favorable para la infiltración y avanzan sobre la cubierta vegetal de la subcuenca. Algunos de éstos crecen sobre barrancas y laderas, lo que los convierte en altamente vulnerables al deslizamiento de tierras. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

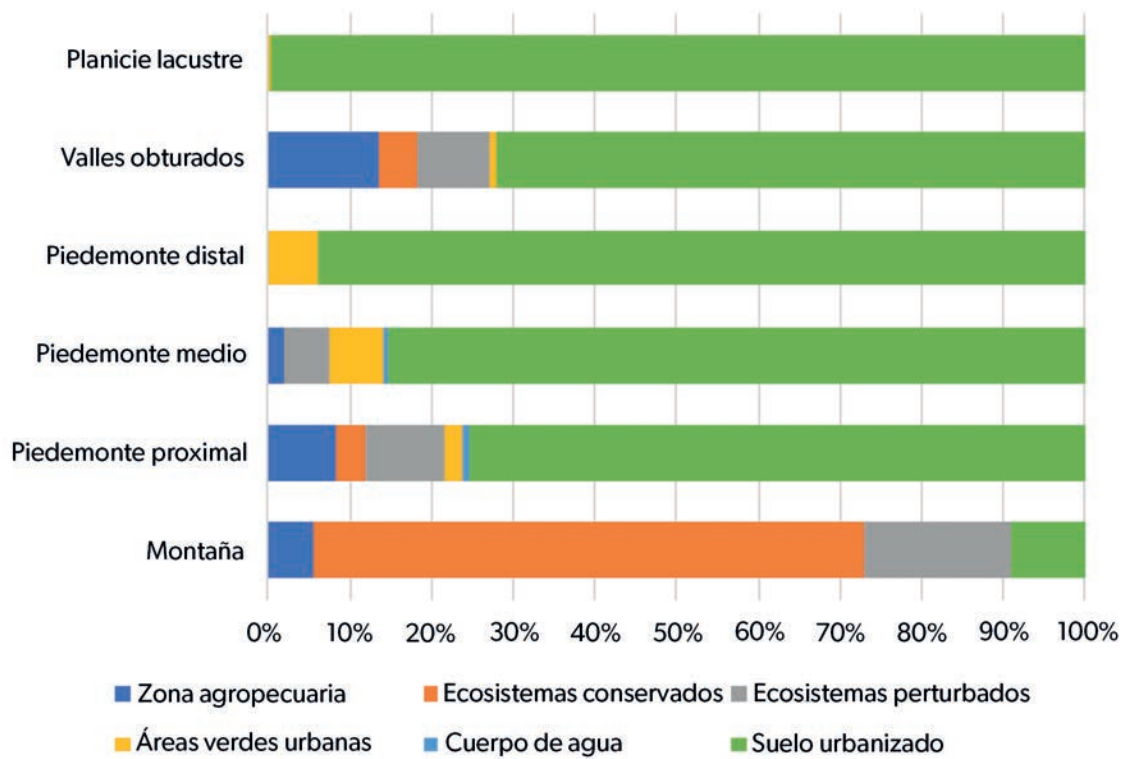
## Uso de suelo y vegetación

La actividad humana ha impactado el sistema de barrancas desde tiempos precoloniales, dejando huellas de cambios intensos y diversos. Hoy en día el uso del suelo lo dominan los asentamientos humanos, que han confinado la naturaleza a los lugares más abruptos.

En términos generales, la distribución de los usos de suelo en el talud de las barrancas es la siguiente: a) en las cuencas altas se conservan bosques templados de pinos y pastizales, hoy degradados; b) en la cuenca media se presentan relictos de bosques de pino y encino, usos agropecuarios y zonas urbanas; c) la cuenca baja está ocupada primordialmente por el área urbana, con algunos relictos de bosque de encino y vegetación secundaria en la parte más baja de las barrancas.

Por cubrimiento, el uso del suelo da los siguientes resultados: las cuencas altas de los ríos y la zona de montaña forestada presentan 67.3 % de área conservada; 17.9% está perturbada y el resto tiene 5.7% de zonas agropecuarias y 9.1% urbanizadas. En el piedemonte proximal, la superficie ecosistémica forestal disminuye considerablemente, ocupando apenas 15.3% del territorio; el suelo urbanizado se extiende 75.4% y el agropecuario, 7.3%. En el piedemonte medio, los ecosistemas forestales ocupan una superficie de 12.1%, de la cual 5.5% se encuentra perturbada. El suelo urbanizado alcanza 85.4% y las zonas agropecuarias apenas 2.1%. En el piedemonte distal, donde están las cuencas bajas, ya no se registran usos de suelo rurales ni ecosistemas forestales; 93.8% es suelo urbanizado y el restante es de áreas verdes urbanas. Los valles obturados y la planicie lacustre se consideran para contextualizar la composición completa del territorio en el sur de la región. Esta área presenta 13.5% de zonas agropecuarias y 13.6% de superficie forestal; la superficie restante (73%) está urbanizada. La planicie lacustre es el terreno más bajo, ocupado en 99.7% por suelo urbanizado y 0.3% por áreas verdes urbanas (Figura 1 y Mapa 7).

**Figura 1.** Proporción de coberturas de uso de suelo y ecosistemas por geoforma

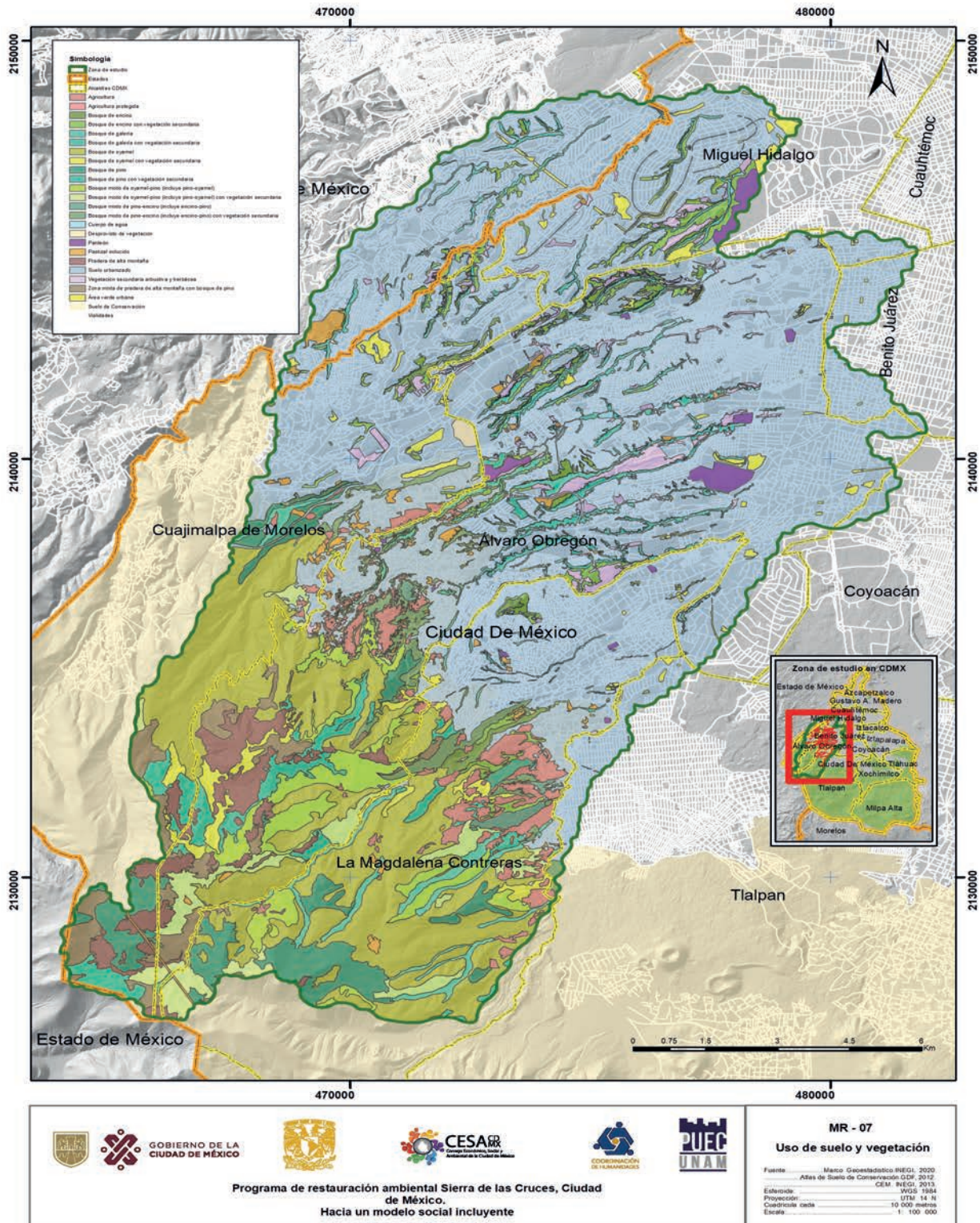


Fuente: elaboración propia



Mapa 7. Uso de suelo y vegetación

Programa de Restauración Ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente



Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2022

## Estatus de conservación y/o protección del patrimonio natural

En el sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces están presentes tres categorías de conservación o de protección: área natural protegida (ANP), área con valor ambiental (AVA) y la zonificación de uso de suelo prevista en el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF). Todas se establecieron con la finalidad de mantener la provisión de servicios ecosistémicos y el desarrollo sustentable de la CDMX.

Dentro de la categoría de ANP se encuentra el Parque Nacional Desierto de los Leones, ubicado casi totalmente en las alcaldías Cuajimalpa de Morelos y Álvaro Obregón. Data de 1917 y fue la primera ANP que se decretó en México, con una superficie de 1,529 ha. También está la ANP Lomas de Padierna, decretada en 1938, con una superficie de 1,161 ha, que ha perdido casi por completo sus valores naturales por la ocupación urbana. En la actualidad, de ella solo persiste una pequeña área forestada en la cima del Cerro del Judío, que funciona como área verde para la población local.

Otras áreas son las Reservas Ecológicas Comunitarias (REC) de San Bernabé Ocotepc y San Nicolás Totolapan; se les considera como una tipología adicional de las ANP, porque los núcleos agrarios ejidales las destinan voluntariamente a la conservación. La REC San Bernabé Ocotepc se estableció en 2010 con una superficie de 240 ha, y se localiza en la parte central de la zona de montaña. Además de mantener en buen estado sus recursos naturales, funciona como una barrera frente a la expansión de las áreas urbanas. Por su parte, la REC San Nicolás Totolapan, que data de 2006, cuenta con una superficie de 1,989 ha, ubicándose más de la mitad en el sureste de la zona de montaña. Al igual que la REC San Bernabé, mantiene la

provisión de servicios ecosistémicos para la población local de las alcaldías Tlalpan y la Magdalena Contreras.

Las AVA son una figura de conservación que se aplica a zonas de barrancas con bosques. Su creación es una respuesta para disminuir la presión que, sobre estas áreas y sus ecosistemas, ejerce el crecimiento urbano. En la Sierra de las Cruces se localizan 26 AVA, que cubren una superficie total de 1,712.89 ha (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** AVA en la zona de estudio

Número	Nombre	Superficie (ha)
1	Barranca Anzaldo	26.00
2	Barranca Atzoyapan-Mixcoac	241.75
3	Barranca Becerra Tepecuache Sección La Loma	160.77
4	Barranca Bezares-El Castillo	25.30
5	Barranca Coyotera	9.32
6	Barranca de Tarango	300.37
7	Barranca del Moral	30.86
8	Barranca Echánove	51.41
9	Barranca El Zapote	10.76
10	Barranca Guadalupe	84.68
11	Barranca Hueyetlaco	18.68
12	Barranca Jalalpa	67.39
13	Barranca Las Margaritas	6.47
14	Barranca Magdalena Eslava	55.57
15	Barranca Milpa Vieja	30.43
16	Barranca Mimosas	4.26
17	Barranca Pachuquilla	25.60
18	Barranca San Borja	19.69
19	Barranca Santa Rita	2.87
20	Barranca Tacubaya	158.98
21	Barranca Tecamachalco	21.83
22	Barranca Texcalatlaco	31.89
23	Barranca Volta y Kotch	1.87
24	Bosque de Chapultepec	293.19
25	La Diferencia	32.46
26	Vista Hermosa	0.45

Fuente: elaboración propia con base en datos proporcionados por SEDEMA, 2021.

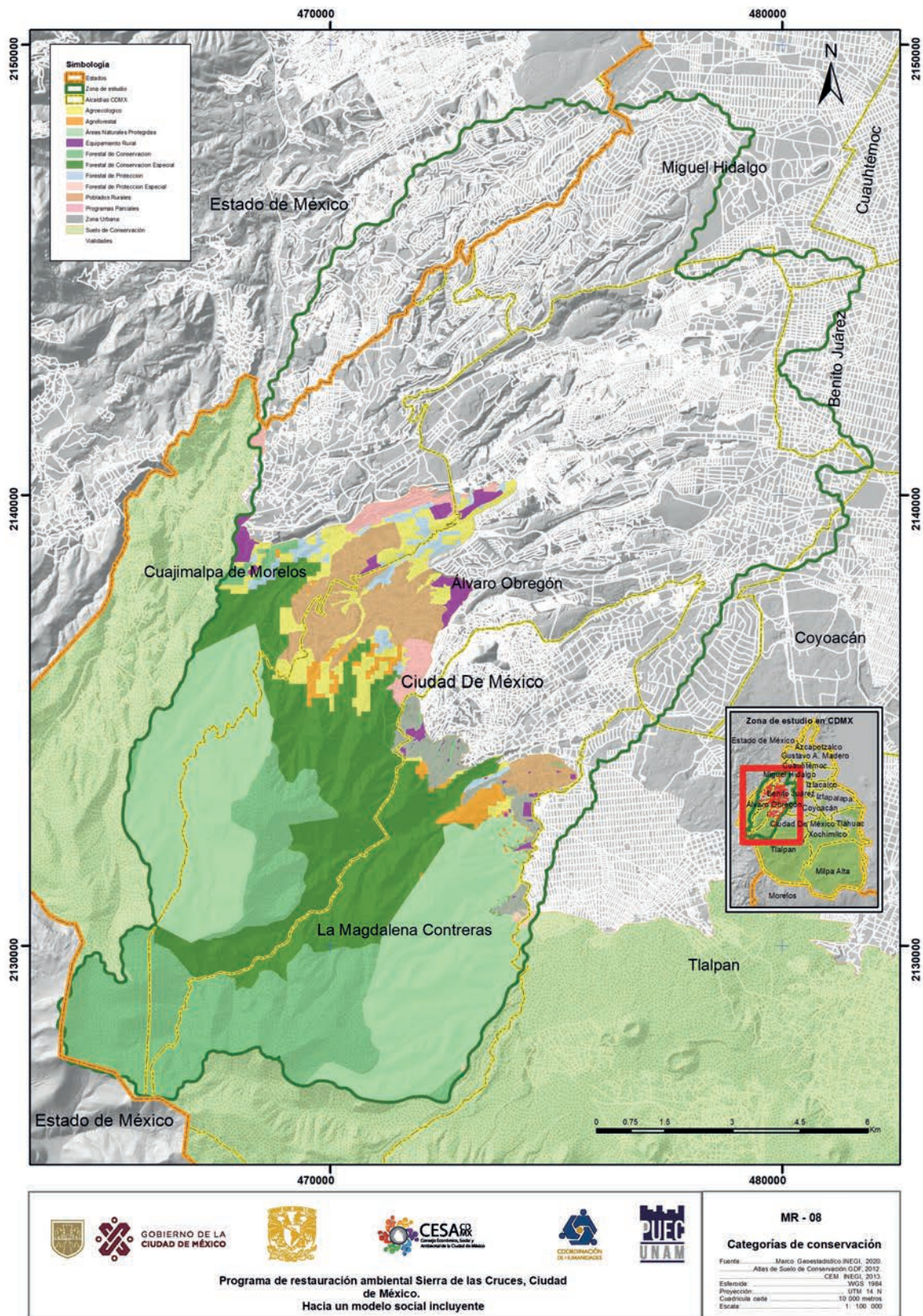
La tercera categoría es la de conservación, que determina los usos permitidos y no permitidos asociados a un conjunto de zonificaciones que se aplican en el suelo de conservación. Los usos permitidos y no permitidos en las ANP y AVA son rebasados con frecuencia, especialmente en la transición entre el suelo urbano y el suelo de conservación. Complementariamente a las figuras de conservación mencionadas, dentro de la Sierra de las Cruces se cuenta con 212 espacios públicos (áreas verdes urbanas) —asociados a las seis AVA—, que contribuyen a los objetivos de una ANP o AVA, al conservar la diversidad biológica. Se ha sugerido que algunos de estos espacios públicos se integren a los límites de algunas AVA, por lo que su condición podría cambiar al concretarse las propuestas de modificación o ajustes a las AVA que actualmente realiza la SEDEMA. La distribución de las categorías de conservación y espacios públicos se muestra en el Mapa 8.

### Barranca Mixcoac



El ecosistema de la barranca Mixcoac, se constituye por bosque de encino con ejemplares de más de 12 metros de alto, lo que indica que no ha sido perturbado. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

Mapa 8. Categorías de conservación o protección dentro de la zona de estudio



Fuente: elaboración propia con base en SEDEMA y PGOEDF, 2000

### Acceso principal a la Cañada, Barranca Río Magdalena



Acceso principal a la zona de la Cañada en el AVA río Magdalena, donde se puede observar la transición entre la zona urbana y el área natural. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

# Magnitud del impacto ambiental

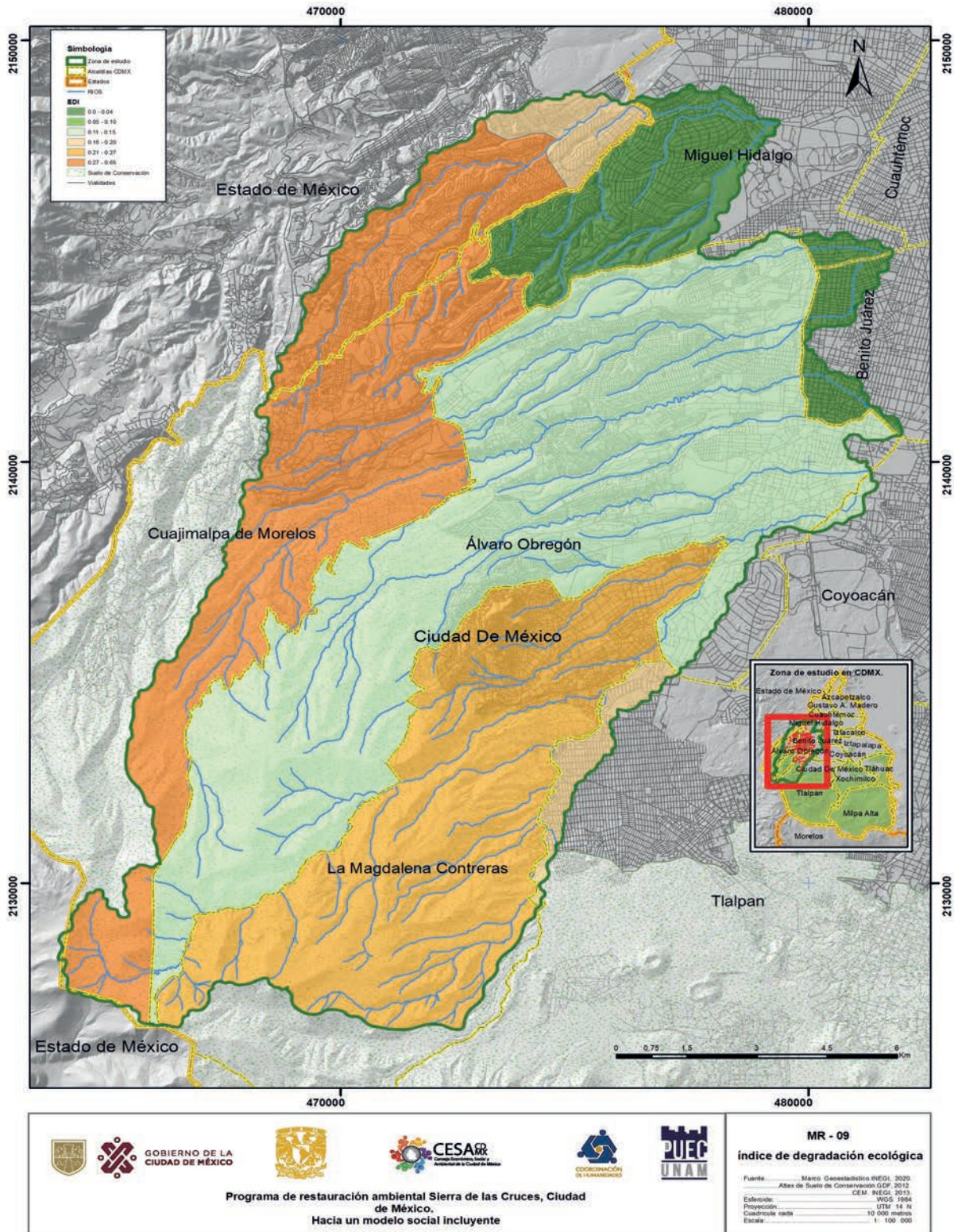
El sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces —ubicado en la zona poniente de la CDMX— aporta importantes servicios ecosistémicos como la regulación de los flujos hídricos, la regulación del meso y microclima, el contexto paisajístico, la polinización y la conservación de germoplasma y biodiversidad, entre otros.

Particularmente durante el siglo XX, el sistema de barrancas fue objeto de explotación intensiva de recursos pétreos (arenas, grava y piedra). Cuando cesó la explotación, los terrenos quedaron con severo daño ambiental y fueron considerados de alto riesgo por su susceptibilidad de derrumbes y hundimientos por el minado subterráneo; sin embargo, esto no impidió que se convirtieran en zonas de asentamientos irregulares y colonias populares (CIIEMAD-IPN, 2006).

Con la problemática ambiental se agrava la social, de pobreza, desigualdad, ocupación irregular del suelo, delincuencia, conciencia y educación ambiental; por ello, la cantidad y calidad de la oferta ambiental se ven cada vez más reducidas, ya que los asentamientos han destruido o degradado mucho los servicios geoecosistémicos.

Para establecer una base de la condición que guarda el sistema de barrancas se aplicaron los índices de Degradación Ecológica (IDE), de Impacto Antropogénico (IIA) y de Capital Natural (IDN), generados por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); en conjunto, han permitido tener un conocimiento aproximado de la calidad de la biodiversidad de los ecosistemas naturales y agroecosistemas. Los resultados se muestran en el Mapa 9, en el que las cifras bajas corresponden a la mayor degradación y pérdida de la calidad natural, ecológica y del paisaje.

Mapa 9. Índice de Degradación Ecológica en la zona de estudio



Programa de Restauración Ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente

Fuente: elaboración propia con base en CONABIO, 2022



El impacto antropogénico tiene correspondencia con las zonas de mayores presiones urbanas que se dan en las alcaldías Miguel Hidalgo, Álvaro Obregón y Coyoacán, ubicadas en un nivel extremadamente alto; las otras alcaldías que conforman la región de estudio muestran rangos que la ubican en niveles menores (Mapa 10).

El índice de capital natural para el área de estudio se encuentra entre los niveles extremadamente bajo y muy bajo, lo que se debe en buena medida a la extensa distribución del uso urbano que ha afectado de manera irreversible la naturaleza, el ambiente y el paisaje en la región.

A pesar de lo anterior, las barrancas se mantienen como relictos de naturaleza y paisaje, con sitios de valor potencial para el desarrollo de proyectos como el ecoturismo, la observación de la biodiversidad remanente, la colecta de germoplasma forestal con fines de reproducción de especies nativas, el fomento de especies arbustivas y herbáceas polinizadoras, entre otros, con el fin de generar condiciones para restaurar y recuperar áreas de usos compatibles con la conservación y el disfrute educativo y recreativo.

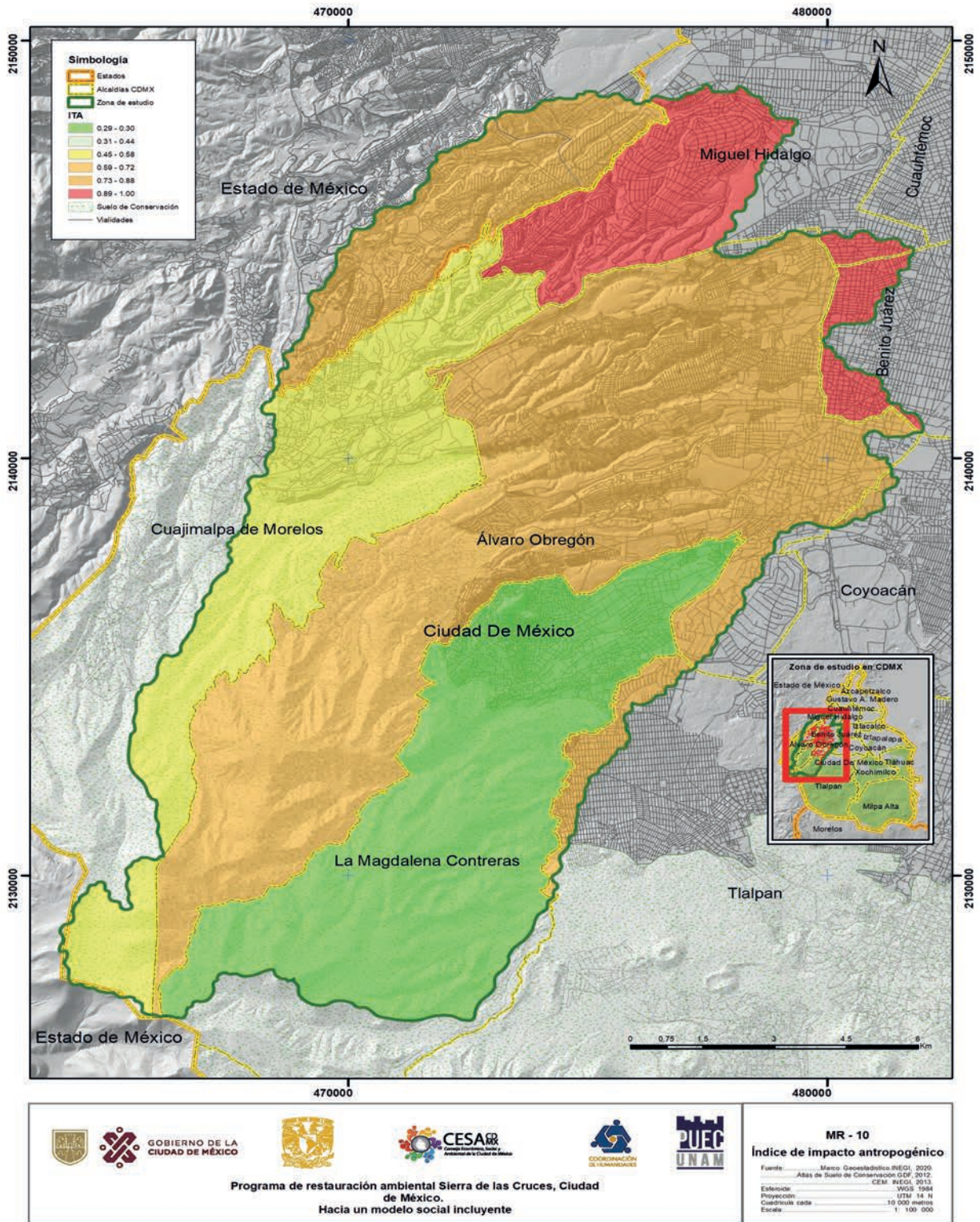
## Potencial económico de los servicios ecosistémicos

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2020), los servicios ecosistémicos (SE) o servicios ambientales (SA) son aquellos que provee la naturaleza por medio de procesos biofísicos, bioquímicos y biológicos. Dichos servicios pueden clasificarse en cuatro tipos: los de abastecimiento (agua, alimento y materias primas), regulación (clima, captura de carbono, erosión, aire y agua), apoyo o soporte (espacios vitales para el resto de los servicios) y culturales (paisaje, entretenimiento, apego y entorno natural).

La CDMX cuenta con una superficie de 87,291 ha de suelo de conservación, dividido en 38,752 ha de macizos forestales (bosques) y 48,539 ha destinadas a la producción agrícola y pecuaria. El Centro

Mapa 10. Índice de impacto antropogénico

Programa de Restauración Ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente



Fuente: elaboración propia con base en CONABIO, 2022

## Barranca Tecamachalco



La ocupación urbana en las barrancas es contrastante, las zonas residenciales también ejercen impactos en el cauce de los ríos, regulación del flujo de agua y su desalojo. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

## Barranca Becerra Tepecuache



El AVA Barranca Becerra-Tepecuache, se encuentra rodeada en su totalidad por viviendas, así como zonas comerciales y corporativos. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

## Barranca Mixcoac



Los asentamientos humanos se están adentrando en la zona de bosque y ponen en peligro las áreas verdes protegidas. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (Centro-Geo, 2012) indica la riqueza de especies por cada tipo de ecosistema, así como la aptitud de infiltración y la captura de carbono (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Servicios ecosistémicos de los tipos de ecosistemas de la CDMX

Tipos de ecosistema	Superficie (ha)	Aptitud de infiltración (miles de m <sup>3</sup> /año)	Carbono almacenado en biomasa aérea (ton/ha/año)	Riqueza de mamíferos	Riqueza de aves	Riqueza de anfibios	Riqueza de reptiles
				(# Especies)	(# Especies)	(# Especies)	(# Especies)
Bosque de oyamel	8,475	2.28	85.38	29.56	102.21	10.05	11.92
Bosque de pino	22,666	2.44	59.13	41.14	107.37	11.38	17.57
Bosque de encino	1,270	2.48	39.25	32.24	72.85	5.19	10.66
Matorrales	3,218	2.66	18.07	30.21	55.03	1.61	9.01
Pastizales	4,627	2.71	39.46	37.64	68.45	7.61	13.82

Fuente: CentroGeo, 2012

En este contexto, el sistema de barrancas cumple el servicio geoeosistémico de corredores biológicos por la continuidad que mantiene entre el suelo urbano y el de conservación, ya que transfiere los servicios ecosistémicos del bosque hacia las zonas urbanas. Además, permite el tránsito de especies de fauna y flora hacia la ciudad, generando así zonas de amortiguamiento natural que sirven para disminuir, en cierta medida, los impactos ambientales negativos de la urbanización (SEDEMA, 2012).

Los servicios ecosistémicos brindados por los bosques que existen en los ecosistemas de la región de estudio producen una captura de dióxido de carbono a razón de unas 40 ton/ha cada año, cantidad que representa 16.5% del total capturado por los bosques de toda la ciudad; adicionalmente, la infiltración de agua corresponde a 2,230 m<sup>3</sup> por año. Estos datos justifican la importancia de establecer medidas de conservación para el sistema de barrancas (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Servicios ecosistémicos

Tipos de ecosistema	Superficie (ha)	Aptitud de infiltración (miles de m <sup>3</sup> /año)	Carbono almacenado en biomasa aérea (ton/ha/año)	Riqueza de mamíferos	Riqueza de aves	Riqueza de anfibios	Riqueza de reptiles
				(# Especies)	(# Especies)	(# Especies)	(# Especies)
Bosque de oyamel	4,381	1.18	44.14	15.28	52.84	5.20	6.16
Bosque de pino	1670	0.18	4.36	3.03	7.91	0.84	1.29
Bosque de encino	712	1.39	22.00	18.07	40.84	2.91	5.98
Matorrales	913	0.75	5.13	8.57	15.61	0.46	2.56
Pastizales	702	0.41	5.99	5.71	10.39	1.15	2.10

Fuente: Elaboración propia con datos de USyV zona de estudio y CentroGeo.

## Barranca Echánove



El bosque de encino es el principal tipo de vegetación que prevalece en la Barranca Echánove. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

## Laguna La Chocolatea, Tarango



En la Barranca Tarango se encuentra la laguna “La Chocolatea” que está en peligro de desaparecer. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

## Valor monetario de los servicios ecosistémicos

La estimación del valor de los servicios ecosistémicos del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces se realizó con base en la metodología desarrollada por Galindo y Basurto (2021), en la que se aplican diversos métodos de estimación. Los servicios de los ecosistemas analizados se sintetizan en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Servicios de los ecosistemas

Servicios de los ecosistemas	Clasificación
Servicios de contribución a los cultivos agrícolas	Provisión
Servicios de polinización	Provisión
Servicios de almacenamiento y secuestro de carbono	Regulación
Servicios de los ecosistemas en bosques	Provisión
Servicios de ANP y turismo de naturaleza	Provisión

*Fuente: elaboración propia.*

### Servicios de provisión para la agricultura

Los servicios a la agricultura ayudan directamente al mantenimiento del ciclo de nutrientes, la humedad del suelo, el germoplasma y la producción de biomasa, así como indirectamente al control de la erosión del suelo, la diversidad genética, el control de plagas y la polinización (Galindo y Basurto, 2019).

Las barrancas que se benefician de estos servicios ecosistémicos son Cuajimalpa, Álvaro Obregón y la Magdalena Contreras, donde existe una superficie sembrada de aproximadamente 2,119.86 ha, con un precio unitario estimado para el periodo 2003-2020 de 5.3 millones de pesos constantes de 2013 (INEGI, 2022b).

## Barranca Magdalena Eslava



Actividades productivas agrícolas, en el Rancho Chichicarpa. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

### Servicio de polinización

El servicio de polinización consiste en la fertilización de los cultivos a través de la acumulación y movimiento de polen, el cual favorece la producción y la productividad agrícola, la calidad de los productos agrícolas y reduce las pérdidas y la varianza en la producción agrícola (Hurlings *et al.*, 2019; Galindo y Basurto, 2019). El valor monetario de la demanda potencial anual promedio del periodo 2003-2020 del servicio de polinización ascendió a 2.62 millones de pesos constantes de 2013, que corresponde a 0.21% del PIB del sector agropecuario (Sector 11) y el 0.0001% del PIB de la CDMX.

### Servicios de almacenamiento y secuestro de carbono en bosques y suelos

El servicio regulatorio del almacenamiento y captura de carbono de los bosques y suelos corresponde al carbono no emitido a la



atmósfera, que contribuye a regular y reducir los efectos negativos del cambio climático (Horlings *et al.*, 2019; Edens *et al.*, 2019). En cuanto a este servicio, las barrancas proporcionan a la CDMX un almacenamiento y captura de carbono significativos. Se estima que 16% del almacenamiento de carbono en bosques corresponde a las barrancas de la CDMX. La construcción de economías carbono neutral buscan estabilizar el aumento de la temperatura global entre 1.5 y 2.0 °C, con estrategias de mitigación que contemplen precios elevados del carbón de 25 a 700 USD  $tCO_2e_t$  para 2050-2070 (Galindo y Basurto, 2019).<sup>1</sup> Estos precios  $tCO_2e_t$  indican que será posible potenciar un conjunto de actividades que fomenten el almacenamiento y secuestro de carbono con granjas de carbono y empleos verdes (Hein *et al.*, 2021).

### Valor monetario del carbono en bosques

Las estimaciones realizadas para las barrancas de Tecamachalco, Río Becerra Tepecuache, Echánove, Magdalena Eslava, Mixcoac y Tarango indican que el almacenamiento de carbono en biomasa aérea de bosques aumentó de 10,772.68  $tCO_2e_t$  en 2007 a 11,902.92 en 2014  $tCO_2e_t$ , lo que implica un secuestro positivo de carbono entre 2007 y 2014 de 1,130  $tCO_2e_t$ . Esto demuestra que el servicio de almacenamiento y secuestro de carbono es relevante en las barrancas de la CDMX.

Las estimaciones del valor monetario que corresponde al almacenamiento y secuestro de carbono en biomasa aérea en bosques del sistema de las barrancas de Tecamachalco, Río Becerra Tepecuache, Echánove, Magdalena Eslava, Mixcoac y Tarango registran una importante volatilidad dependiendo, desde luego, de la tasa de interés utilizada y del precio al carbono aplicado. Así, las estimaciones oscilan entre un valor monetario anual del almacenamiento y secuestro de carbono de \$14,2 millones de pesos, con una tasa de interés de 2% y un precio al carbono de USD \$5 a un valor monetario de \$852,7 millones de pesos con una tasa de interés de 2% y un

<sup>1</sup> Griscom *et al.* (2017) estiman que la conservación, restauración y manejo sustentable de bosques y otros tipos de vegetación y tierras pueden ahorrar 23.8 GtCO<sub>2</sub> emisiones acumulados a 2030.

precio al carbono de 300 USD  $tCO_2e_t$ . En este sentido, resulta particularmente relevante la evolución del precio del carbono que está asociada a las negociaciones globales de cambio climático, para determinar el valor monetario del almacenamiento y secuestro de carbono en las barrancas de la CDMX. En particular, la evolución del precio del carbono es importante para atender el cumplimiento de la meta de convertirse en una economía carbono neutral entre 2050-2070 (NGFS, 2021).

### Barranca Echánove



Al fondo de la barranca se puede observar la planta de tratamiento con la que cuenta la Barranca Echanove. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

## Barranca Magdalena Eslava



En la Barranca Magdalena Eslava hay bastantes escurrimientos de agua, los ejidatarios de San Nicolás Totolapan han realizado obras para su aprovechamiento y participación en el programa Sembrando Vida. Fuente: PUEC, UNAM. Trabajo de campo, julio de 2022.

### Valor monetario del carbono en suelos

Las estimaciones realizadas para las barrancas de Tecamachalco, Río Becerra, Tepecuache, Echánove, Magdalena Eslava, Mixcoac y Tarango, indican que el almacenamiento de carbono en suelos aumentó de 12,007.97  $\text{tCO}_2\text{e}_t$  en 2007 a 20,011.78  $\text{tCO}_2\text{e}_t$  en 2014, lo que implica un secuestro positivo de carbono, entre 2007 y 2014, de 8,003.81  $\text{tCO}_2\text{e}_t$ .

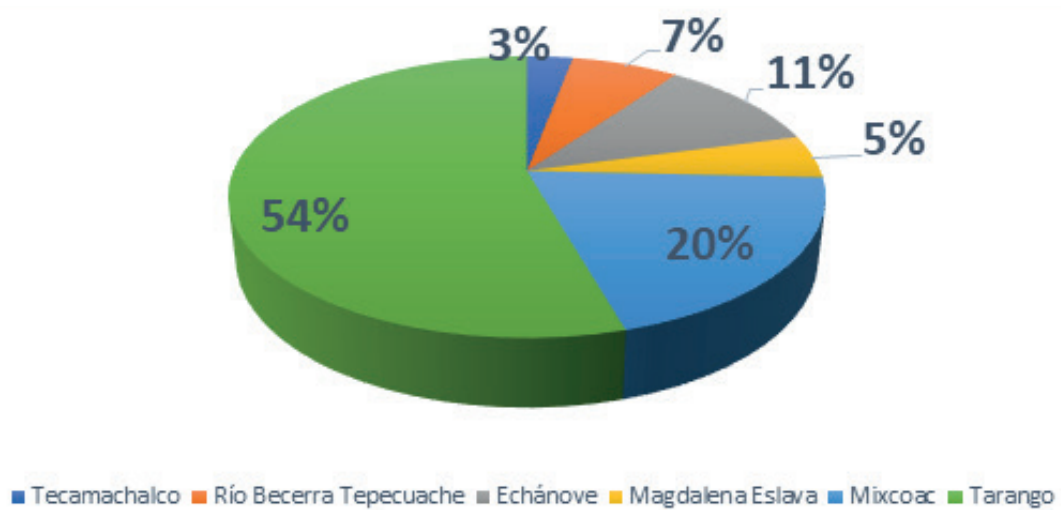
El valor monetario estimado del servicio anual del almacenamiento y secuestro de carbono orgánico en suelos oscila entre 521.69 miles de pesos —con una tasa de interés de 2% y un precio al carbono de 5 USD— y 31,301.27 miles de pesos —con una tasa de interés del 2% y un precio al carbono de 300 USD  $\text{tCO}_2\text{e}_t$ —. Destaca el valor monetario con un precio del carbono de 300 USD  $\text{tCO}_2\text{e}_t$ . Ello indica el influjo de las negociaciones internacionales sobre el cambio climático en el valor monetario de los servicios de los ecosistemas de las barrancas. De este modo, el valor monetario del servicio de almacenamiento y captura de biomasa en bosques y de carbono orgánico en suelos oscila entre 663.81 miles de pesos —con una

tasa de interés de 2% y precio del carbono de 5 USD tCO<sub>2</sub>e<sub>t</sub>— y 39,828.51 miles de pesos —con una tasa de interés de 2% y precio del carbono de 300 USD tCO<sub>2</sub>e<sub>t</sub>—. Desde luego, otras tasas de interés o precios del carbono implican distintos valores monetarios del almacenamiento y secuestro de carbono.

En este contexto sobresale que la distribución del valor monetario del servicio de almacenamiento y secuestro de carbono es heterogénea en las barrancas de la CDMX (Gráfico 2). Por ejemplo, destaca la relevancia de este servicio en las barrancas de Tarango y Mixcoac, cuyo potencial puede beneficiarse de empleos verdes y granjas de carbono más grandes.

El valor monetario del servicio de almacenamiento y secuestro de carbono en los ecosistemas en las barrancas no está completamente reconocido por el mercado y su evolución dependerá del éxito de las negociaciones del cambio climático (CC) en la Conferencia de las Partes (COP) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Además, con su uso se podrá contribuir a la estrategia de cambio climático (mitigación y adaptación) de la cdmx y en la estrategia nacional de cambio climático.

**Gráfico 2.** Distribución del valor anual de almacenamiento y secuestro de carbono por barranca (porcentaje)



Fuente: elaboración propia

Por ejemplo, las metas de mitigación pueden flexibilizarse atendiendo a la capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono en bosques y suelos, además de plantear la posibilidad de construir una nueva economía verde en torno a la preservación de bosques y suelos e, incluso, a la conformación de granjas de carbono. Además, el aumento del valor del servicio ecosistémico también puede contribuir a preservar el suelo y ampliar la cobertura forestal (Bryan *et al.*, 2014).

### Servicios de los ecosistemas de bosques

La estimación del valor monetario de los servicios ecosistémicos del bosque, considerando un rango de 459 USD a 3,000/ha/año en el sistema de barrancas de la CDMX, es de entre 4.24 millones de pesos de 2021 y 27.73 millones de pesos de 2021 (Cuadro 5). Este valor es mayor en las barrancas de Tarango y Mixcoac.

Los valores obtenidos pueden tener una doble contabilidad con respecto a los valores estimados en otros servicios como el almacenamiento y secuestro de carbono.

## Servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas y turismo de naturaleza

El valor monetario de una hectárea de una ANP —considerando solamente los servicios ecosistémicos básicos de conservación, servicios hidrológicos, regulación y soporte—, basado en el metaanálisis de Galindo y Basurto (2021), es de 3,664 USD; con base en una metarregresión (Harbord y Higgins, 2008), aumenta a 8,660 USD, teniendo en cuenta su aprovechamiento para actividades de caza y pesca; y se incrementa a 12,435 USD si las ANP son utilizadas para actividades turísticas y recreativas.

En este contexto, se observa que el turismo de naturaleza puede otorgar un mayor valor monetario a las hectáreas de las ANP. Por ejemplo, algunas estimaciones sugieren que el servicio de recreación basado en la naturaleza representa entre 30 y 40% de los ser-

**Cuadro 5.** Valores de los servicios de los ecosistemas en bosques.

Barranca	Área (ha)	Valor 459 (miles de pesos, 2021)	Valor 3000 (miles de pesos, 2021)
Barranca Tecamachalco	11.83	111.66	729.81
Río Becerra Tepecuache	31.36	296.03	1,934.83
Barranca Echánove	48.54	458.20	2,994.75
Barranca Magdalena Eslava	22.39	211.41	1,381.74
Barranca Mixcoac	88.62	836.56	5,467.73
Barranca de Tarango	246.66	2,328.53	15,219.15
Total	449.39	4,242.39	27,728.03
Total (porcentaje del PIB de la CDMX)		0.00012	0.00080

Fuente: elaboración propia.

vicios totales de los ecosistemas en áreas urbanas (Vallecillos *et al.*, 2019) e incluso puede ser superior al valor del servicio de captura de carbono (Marcos-Martínez *et al.*, 2019).

Al considerar que la CDMX tiene 28 AVA con una superficie de 1,153.3 ha, el valor de los servicios de los ecosistemas —obtenido con el método de transferencia de beneficios (*Benefit Transfer*, BT), sustentado en el metaanálisis de Galindo y Basurto (2021), e incluyendo el valor del turismo de naturaleza en las AVA en el área de estudio—<sup>2</sup> oscila entre 33.9 millones de pesos y 114.9 millones de pesos de 2021 (Cuadro 6).

Estas estimaciones indican el valor máximo en caso de que toda el área se dedicara a este tipo de turismo, lo que no resulta factible, pero representa una primera aproximación a la importancia de este rubro. Debe además considerarse que este valor está asociado a la realización de importantes obras de infraestructura.

<sup>2</sup> Incluye el AVA de Becerra Tepecuache, Tarango, Echánove, Hueyatlaco, Magdalena Eslava, San Borja y Tecamachalco.

**Cuadro 6.** Valor monetario de las AVA por el servicio de turismo de naturaleza con un metaanálisis.

Barranca	Área (ha)	Valor 3664 (miles \$, 2021)	Valor 8660 (miles \$, 2021)	Valor 12435 (miles \$, 2021)
Barranca Tecamachalco	11.83	891.34	2,106.72	3,025.07
Río Becerra Tepecuache	31.36	2,363.07	5,585.21	8,019.88
Barranca Echánove	48.54	3,657.59	8,644.85	12,413.25
Barranca Magdalena Eslava	22.39	1,687.57	3,988.63	5,727.32
Barranca Mixcoac	88.62	6,677.93	15,783.53	22,663.76
Barranca de Tarango	246.66	18,587.66	43,932.62	63,083.39
Total	449.39	33,865.16	80,041.57	114,932.67
Total (% del PIB de la CDMX)		0.0010	0.0023	0.0033

Fuente: Elaboración propia.

### Servicios de captación y cosecha de lluvia

La cosecha de lluvia se estimó considerando la precipitación media en el sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces a fin de determinar el balance hídrico en las microcuencas durante un intervalo específico. La precipitación media específica se estimó para las dos microcuencas administrativas de la CONAGUA que integran el sistema de barrancas.

### Estimación de la precipitación máxima probable en 24 horas para periodos de retorno de 2 a 100 años

Se estimó la evaluación del comportamiento de la lluvia como un fenómeno extraordinario, a partir del cálculo de probabilidades de ocurrencia con datos de precipitación máxima diaria obtenidos de los registros meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Con esto, se estimaron las láminas de agua del escurrimiento potencial utilizadas para la cosecha de agua.

**Cuadro 7. Precipitación media en microcuencas**

Estación	Nombre	Alcaldía	Cuenca	Microcuenca	Precipitación promedio anual (mm)	Área km <sup>2</sup>	Área * promedio
9049	Tarango	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La Magdalena Contreras norte	871	3.999187	3,483.291877
9059	Castañeda	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La Magdalena Contreras norte	846.2	1.721281	1,456.547982
9046	Colonia santa fe	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La Magdalena Contreras norte	1,001	0.000528	0.528528
9038	Presa Mixcoac	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La Magdalena Contreras norte	912.3	1.228357	1,120.630091
9037	Presa Anzaldo	La Magdalena Contreras	Río Moctezuma	La Magdalena Contreras norte	914	0.698586	638.507604
9023	Guadalupe inn	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La Magdalena Contreras norte	833.5	1.277477	1,064.77708
					Total	8.93	7,764.28
					Precipitación Media anual (mm)		869.91

Estación	Nombre	Alcaldía	Cuenca	Microcuenca	Precipitación promedio anual (mm)	Área km <sup>2</sup>	Área* promedio
9049	Tarango	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La venta	871	0.469159	408.637489
9016	Cuajimalpa	Cuajimalpa de Morelos	Río Lerma-Toluca	La venta	1,182.9	3.18712	3,770.044248
9059	Castañeda	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La venta	846.2	1.833518	1,551.522932
9046	Colonia Santa fe	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La venta	1,001	8.351278	8,359.629278
9039	Presa Tacubaya	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La venta	803.1	4.12537	3,313.084647
9038	Presa Mixcoac	Álvaro Obregón	Río Moctezuma	La venta	912.3	6.845988	6,245.594852
9012	Colonia Escandón	Miguel Hidalgo	Río Moctezuma	La venta	758.3	2.289554	1,736.168798
9048	Tacubaya central (obs)	Miguel Hidalgo	Río Moctezuma	La venta	597.2	2.764524	1,650.973733
					Total	29.87	27,035.66
					Precipitación Media anual (mm)		905.22

Fuente. elaboración propia con datos de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional. 2022



## Microcuenca La Venta

La microcuenca La Venta, que es la más larga, comienza en la sierra de las Cruces por debajo de los 2,800 msnm y ofrece un perfil del cauce muy equilibrado. Por ello, su flujo hídrico corre sin grandes turbulencias; pero, dada su mayor capacidad y área de captación, puede acumular en las partes media y baja un volumen de agua muy importante con el riesgo potencial de inundar varios sitios, los cuales se determinaron geográficamente para ser utilizados en la prevención de esa amenaza.

La aplicación de esta información resulta muy útil para estimar la erraticidad de la lluvia en los próximos 100 años, teniendo en cuenta la influencia del CC. La estimación indica un aumento de la intensidad y una disminución de la precipitación en toda el área. También se obtuvieron las láminas de agua de escurrimiento potencial requeridas para la cosecha de agua, a partir de la estimación de la lluvia efectiva, esto es, la lluvia caída menos la infiltración evapotranspiración. La estimación indica que las láminas de agua tienden a presentar un régimen de torrencialidad, cuyo comportamiento es errático, en el que aumentan tanto la sequía extrema como los periodos de fuerte pluviosidad. Particularmente, la microcuenca La Venta tiene un factor de torrencialidad alto, posiblemente como consecuencia del mayor nivel de desarrollo que llega arriba de la cuenca media. En esto resalta que el gasto a 100 años duplique su valor actual.

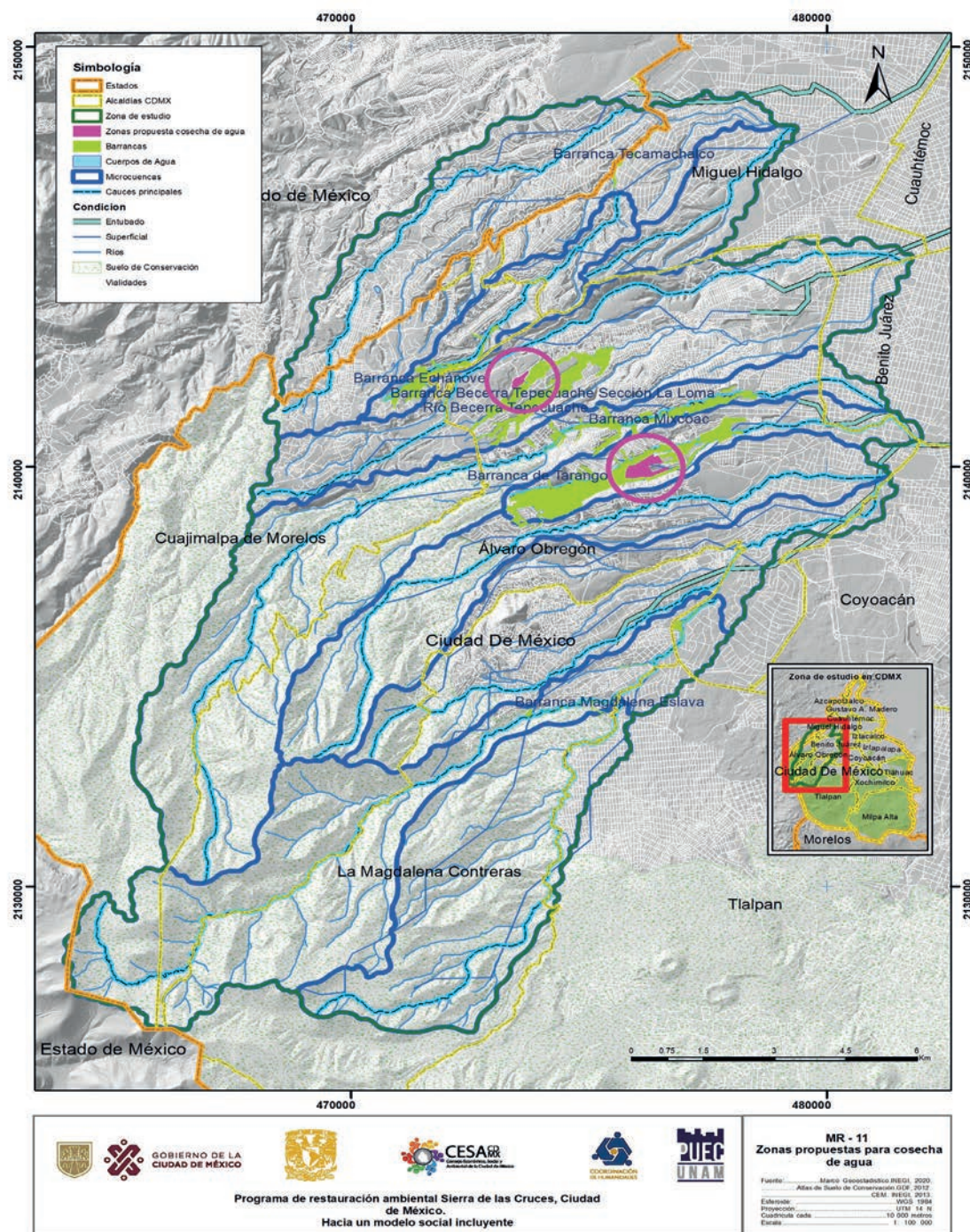
## Microcuenca La Magdalena Contreras Norte

Esta microcuenca registra un aumento de la torrencialidad, por lo cual también contiene factores de alto riesgo de inundación a lo largo de su cauce; habrá que considerar además que su cauce está casi cerrado en muchos tramos por asentamientos humanos. No obstante, el volumen del escurrimiento es menor porque la afectación en la cuenca alta es menor y presenta un buen nivel de conservación. En ella, las funciones de infiltración y evapotranspiración reducen mucho los volúmenes del agua de escurrimiento y, con ello, se constituyen como un servicio geoecosistémico de resiliencia en la cuenca.

## Cosecha de agua estimación total

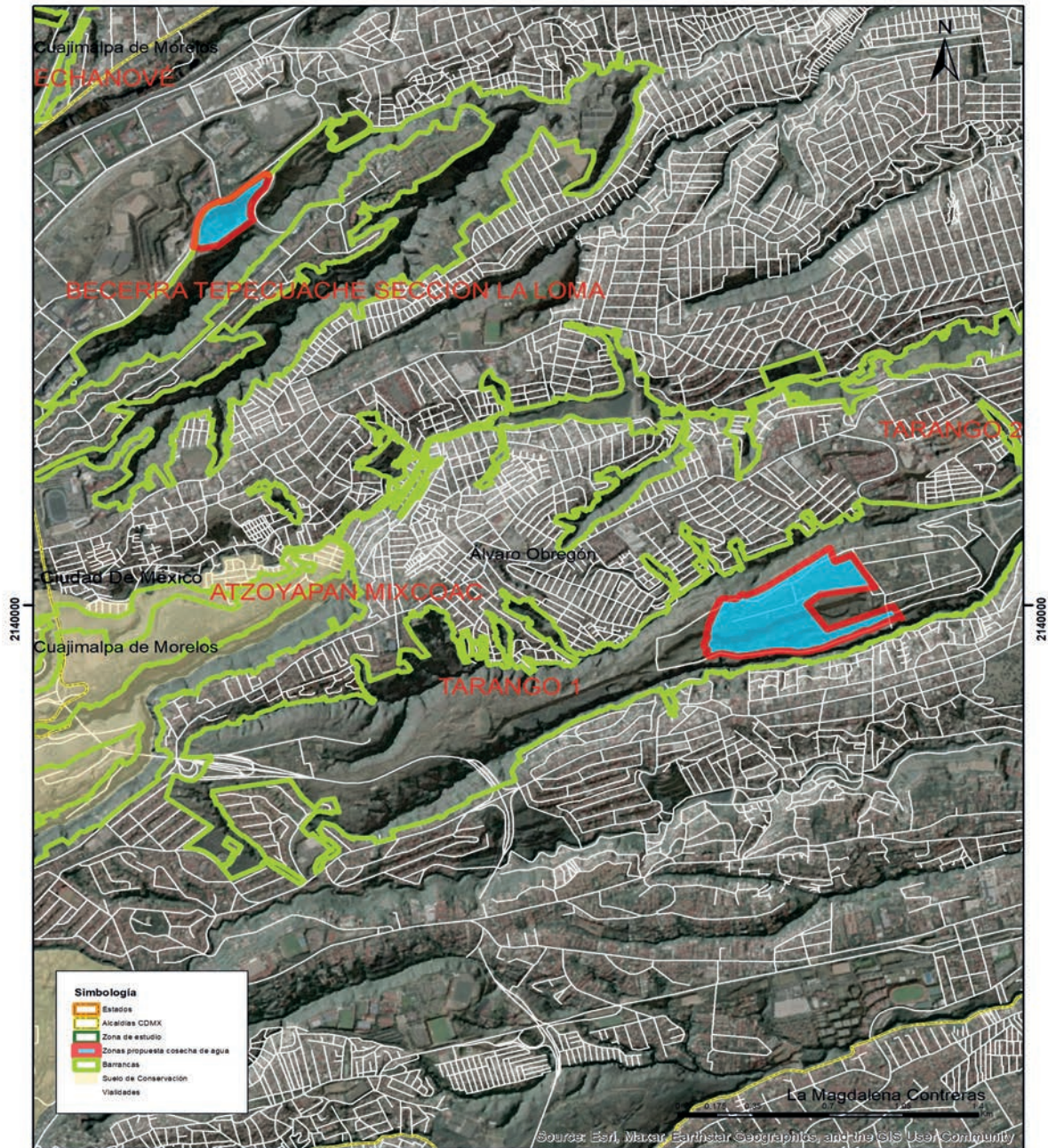
A partir del análisis desarrollado, se identificaron las zonas propuestas para la cosecha de agua en las barrancas Becerra Tepecuache y Tarango. Los sitios se muestran en los mapas siguientes.

Mapa 11. Zonas propuestas para cosecha de agua



Fuente: elaboración propia, 2022

Mapa 12. Zonas para cosecha de agua



<p>GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO</p>	<p>CESAR Comisión Especial de Estudios de la Sierra de las Cruces</p>	<p>UNAM</p>	<p>MR - 12</p> <p>Zonas para cosecha de agua</p> <p>Fuente: Marco Geostadístico INEGI, 2020 Atlas de Suelo de Conservación G.O.P., 2012; CEM, INEGI, 2013. Elevación: WGS 1984 Proyección: UTM, 14 N Cuadrícula cada: 10 000 metros Escala: 1: 100 000</p>
<p>Programa de restauración ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente</p>			

Fuente: elaboración propia 2022

A partir de los análisis de precipitación y de las microcuencas en las que se encuentran las barrancas seleccionadas para los anteproyectos —Tarango y Becerra Tepecuache—, se obtiene la evaluación de la captación potencial de agua de escurrimiento para cosecha de agua, las cuales se presentan los cuadros siguientes.

**Cuadro 8.** Cosecha de agua barranca Tarango

Microcuenca La Magdalena Contreras norte			
Microcuenca	m <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	
Área total	8,925,415.52	8.93	
Zonas propuestas para cosecha de agua			
Barranca	Área seleccionada m <sup>2</sup>	Precipitación neta mm	Volumen m <sup>3</sup>
Tarango	253,387.71	9.97	2,526.33
Zonas propuestas para cosecha de agua			
Barranca	Área seleccionada m <sup>2</sup>	Precipitación promedio anual	Volumen m <sup>3</sup>
Tarango	253,387.71	869.91	220,423.78

Fuente: elaboración propia 2022

**Cuadro 9.** Cosecha de agua barranca Becerra Tepecuache

Microcuenca La Venta			
Microcuenca	m <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>	
Área total	29,853,228.55	29.85	
Zonas propuestas para cosecha de agua			
Barranca	Área seleccionada m <sup>2</sup>	Precipitación neta mm	Volumen m <sup>3</sup>
Becerra Tepecuache	45,616.49	10.81	493.25
Zonas propuestas para cosecha de agua			
Barranca	Área seleccionada m <sup>2</sup>	Precipitación promedio anual	Volumen m <sup>3</sup>
Becerra Tepecuache	45,616.49	905.22	41,292.80

Fuente: elaboración propia 2022

# La nueva economía urbana del siglo XXI: empleos verdes y servicios de los ecosistemas en el sistema de las barrancas

Los ecosistemas ubicados en el sistema de barrancas de la CDMX ofrecen un conjunto de servicios que contribuyen a las actividades económicas y al bienestar social, los cuales no han sido valorados monetariamente y, por tanto, no forman parte de las decisiones económicas. Esto conduce a un uso del suelo no sustentable que provoca un sesgo en los análisis de costo-beneficio y una toma de decisiones ineficiente.

Por lo anterior, la valoración de los servicios ecosistémicos resulta fundamental para diseñar una estrategia de desarrollo urbano sustentable. Las estimaciones de costo-beneficio disponibles revelan que las medidas de restauración y conservación ecológica abren nuevas oportunidades de negocios. Por ejemplo, BenDor *et al.* (2015) estimaron que una inversión de un millón de dólares en restauración y conservación de ecosistemas genera entre 7 y 40 empleos en Estados Unidos. Además, la preservación y el fomento de los servicios de los ecosistemas pueden contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y generar empleos verdes.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Los empleos verdes se definen como aquellos que contribuyen directamente a la sostenibilidad ambiental, ya sea al producir bienes y servicios ambientales o a través de un uso más eficiente de los recursos naturales (Saget *et al.*, 2020: 57).

ECLAC e ILO (2018) estiman que cerca de 20% de los empleos en América Latina y el Caribe están asociados directa o indirectamente con los servicios de los ecosistemas, donde destaca la generación de empleos verdes en el sector agrícola. Para México, se estima un aumento de empleos verdes en agricultura y bosques de 2.1 millones en 2030 (OCDE, 2019).

De este modo, la generación de un nuevo valor agregado, como consecuencia de las estrategias de recuperación, conservación y ampliación de los servicios de los ecosistemas en las barrancas, puede traducirse en la creación de empleos verdes.

Las estimaciones realizadas, con base en el Cuadro 10, incorporan varios supuestos como:

1. Los empleos verdes generados por las actividades agrícolas se basan en la actual razón de empleo a PIB en el ámbito nacional. Ello permite obtener una cota superior que muy probablemente se reduzca con el incremento de la productividad en los próximos años.

**Cuadro 10.** Valor monetario de los Servicios ecosistémicos de las barrancas en la CDMX

Servicio del ecosistema	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo	Empleos verdes (aproximados)
1. Servicios de provisión de cultivos		\$5.3 millones de pesos de 2013		60
2. Servicio de polinización	\$1.57 millones de pesos de 2013 (ajustado por oferta potencial)	\$1.98 millones de pesos de 2013 (ajustado por distancia)	\$2.62 millones de pesos de 2013 (demanda)	18 - 30
3. Servicios de almacenamiento y secuestro de carbono	\$663.81 miles de pesos (USD \$5 y tasa de interés de 2%)		\$39,828.5 miles de pesos (USD \$300 y tasa de interés de 2%)	371 - 2,230
4. Servicios de los ecosistemas de bosques	\$4.24 millones de pesos de 2021		\$27.73 millones de pesos de 2021	47 - 310
5. Servicios ecosistémicos de Áreas Naturales protegidas (ANP) y turismo de naturaleza	\$33,865 miles de pesos		\$114,932.67 miles de pesos	190 - 6,436

Fuente: elaboración propia

2. Los empleos verdes generados por las actividades de almacenamiento y secuestro de carbono y turísticas se basan en una razón de empleo a PIB; en las actividades agropecuarias es 50% de la razón de empleo a PIB.

Los valores estimados para los diferentes servicios de los ecosistemas son distintos para cada barrancas. Debe además considerarse que estas estimaciones por servicios de los ecosistemas no pueden sumarse debido a que se incurriría en una doble contabilidad.

## Propuestas para desarrollar actividades recreativas y de ecoturismo

Como resultado de la evaluación de las potencialidades del suelo, la calidad del paisaje, las necesidades requeridas para la recreación activa y pasiva, la educación ambiental, la actividad deportiva y el ecoturismo, se seleccionaron las dos barrancas que reunieron las mejores condiciones para alojar las actividades objetivo del estudio. Bajo esta consideración, se hizo un reconocimiento detallado de las barrancas Becerra-Tepecuache y Tarango para observar en detalle el conjunto de actividades recreativas que en la actualidad se realizan en ellas y sus alrededores.

De las actividades observadas destacan, en orden de magnitud: la carrera, el ciclismo de ruta, el ciclismo de montaña, la caminata y, en general, los paseos que buscan ambientes de “aire libre”. Sin embargo, por los conflictos de accesibilidad a los espacios de las barrancas, la inseguridad en todo el trayecto, el cierre de calles y servidumbres de paso por construcciones y desarrollos inmobiliarios y otros obstáculos que impiden una fácil accesibilidad y conectividad, muchas de las actividades suceden a lo largo de secciones de calles de mejor perfil y/o cercanas a parques, plazas y otros espacios abiertos, incluyendo centros comerciales.

Con el uso de la aplicación Strava,<sup>4</sup> que se utiliza para actividades exteriores, se pudo constatar que los diferentes tipos de usuarios recorren en su mayoría perímetros de espacios abiertos y calles, sin importar que estos tengan conectividad estructural con el tejido urbano. Esto evidencia que las personas —en la mayoría de sus recorridos— tienden a alcanzar metas de tiempos y distancias, sin importar que se logren en pequeños espacios como calles cerradas, pequeños parques y otros sitios de cercanía.

Los recorridos de estos usuarios generalmente obedecen a actividades recurrentes, tanto en espacio físico como en horario. Esta información presenta un excelente parámetro del uso del espacio público, de lo que se desprende una primera conclusión: Los paseantes que recorren espacios abiertos recurrentemente buscan actividades que puedan iniciar y concluir de manera predecible en espacios que cuentan con organización urbana; y realizan recorridos de 3, 5 y hasta 10 kilómetros.

En la actualidad, la mayoría de los paseantes solo cruza por las orillas de las áreas de valor ambiental, y la ocurrencia de que estos usuarios puedan transitar al interior es mucho menor a la circulación que actualmente se presenta en secciones de calles y parques urbanos perimetrales. De esta evidencia se desprende una clara oportunidad para generar una mayor conectividad espacial entre el tejido urbano existente y un nuevo tipo de infraestructura que posibilite el acceso controlado y organizado a las barrancas que aún no cuentan con redes de senderos. La finalidad es dar lugar a la recreación y la visitación organizada, incluyendo actividades ecoturísticas, educativas y de encuentro con la naturaleza, en consonancia con la utilidad pública de las áreas de valor ambiental.

Es así como el establecimiento de redes de senderos de usos múltiples, y su bajo impacto ambiental en barrancas, representa una oportunidad para complementar los servicios ambientales que actualmente prestan estas áreas. Además, es una forma sustentable

---

4 Strava es una red social, basada en internet y GPS, enfocada a deportistas (como ciclistas y corredores) y una aplicación de seguimiento GPS deportiva. La red la gestiona una compañía del mismo nombre con sede en San Francisco, Estados Unidos. Fecha del lanzamiento inicial: 2009; desarrollador: Strava, Inc. [<https://developers.strava.com/>]



para distribuir la creciente demanda de los usuarios que, a partir de los datos observados, presentan una tendencia creciente al uso de espacios abiertos con capacidad de recorridos de mayor longitud en cercanía y al interior de las barrancas. Con el propósito de cubrir la demanda de actividades de un grupo heterogéneo de personas, se diseñaron circuitos divididos en tres categorías diferentes y complementarias, que aceptan la convivencia libre de conflicto, con una distribución estratégicamente trazada a partir del tiempo disponible y la condición física del individuo. Estos circuitos se describen a continuación:

- **Circuitos de aprendizaje lúdico y actividades físicas de menor impacto.** Esta actividad integra a los usuarios de menor condición física y/o menor disponibilidad de tiempo, incluyendo visitas escolares, personas de la tercera edad y aquellos que no desean recorridos largos; por lo que se espera que recorran solo una porción menor de la red de senderos.
- **Circuitos con actividades deportivas para senderismo y ciclismo de montaña.** Esta actividad se enfoca en personas con buena condición física, activas y con disponibilidad de tiempo, específicamente deportistas, y otras en busca de espacios para ejercitarse intensamente y que realizan recurrentemente este tipo de actividades, que incluirá la totalidad del sendero.
- **Circuitos de recreación activa para la apreciación de biodiversidad y paisaje.** Esta actividad busca ofrecer oportunidades de contemplación a visitantes con un interés específico en la observación de flora y fauna o simplemente individuos en busca de un contacto directo con la naturaleza.

La disminución de conflictos entre usuarios y las actividades que pueden convivir entre sí se contempla en el diseño del mismo sendero, que se ha realizado contemplando pendientes no mayores a 10%, a fin de evitar que el encuentro se dé a altas velocidades, y posibilita líneas de visión de 10 a 15 metros, permitiendo anticipar el encuentro entre usuarios y actividades. Desde el punto de vista ambiental, estos senderos buscan impedir el encauzamiento del agua en las secciones longitudinales con el propósito de prevenir la

erosión. A esto también contribuye la propuesta de crear diferentes paletas vegetales, incluyendo especies de cubresuelos y arbustos, teniendo en cuenta la paleta vegetal SEDEMA.

Es importante comprender que una estrategia de senderos incluye el cierre y rotación de caminos erosionados y/o que no cumplan con las condiciones de seguridad. Por ello la estrategia de senderos de usos múltiples debe considerarse en el amplio sentido, como parte de los programas de conservación de suelos y de las estrategias para control y vigilancia de incendios, lo que hace de estas infraestructuras recreativas una valiosa herramienta multifuncional para encauzar la visitación de áreas naturales en contextos urbanizados.

## Infraestructura verde y conectividad urbano-rural

Con la ayuda de la Secretaría de Movilidad (SEMOVI) se revisó el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito, en el que no se encontraron lineamientos sobre señalética para paradas turísticas/recreativas, lo cual queda como un área de oportunidad para diseñarla. En cuanto a las paradas y rutas de RTP, se logró coordinar con la misma dependencia la ubicación de rutas e infraestructura de paraderos que mantienen influencia directa en las barrancas Becerra Tepecuache y Tarango.

Dentro de las recomendaciones generales sobre las propuestas de conexión ciclista entre las áreas contempladas, se menciona crear un enlace entre el parque La Mexicana y la barranca Tepecuache, por medio de carriles de prioridad ciclista (en el tramo del parque La Mexicana a la avenida Carlos Lazo) y como sendero compartido en la intersección de la avenida Santa Fe, Javier Barros Sierra y los accesos a la barranca. En este último tramo se contempla la posibilidad de incrementar el ancho de la acera para facilitar el tránsito conjunto de ciclistas y peatones, sin descartar la construcción de una ciclovía confinada con fuentes de financiación privada. Asimismo, se recomienda reubicar y rehabilitar el circuito de ciclovías entre las avenidas Santa Fe, Carlos Lazo y Javier Barros Sierra, en

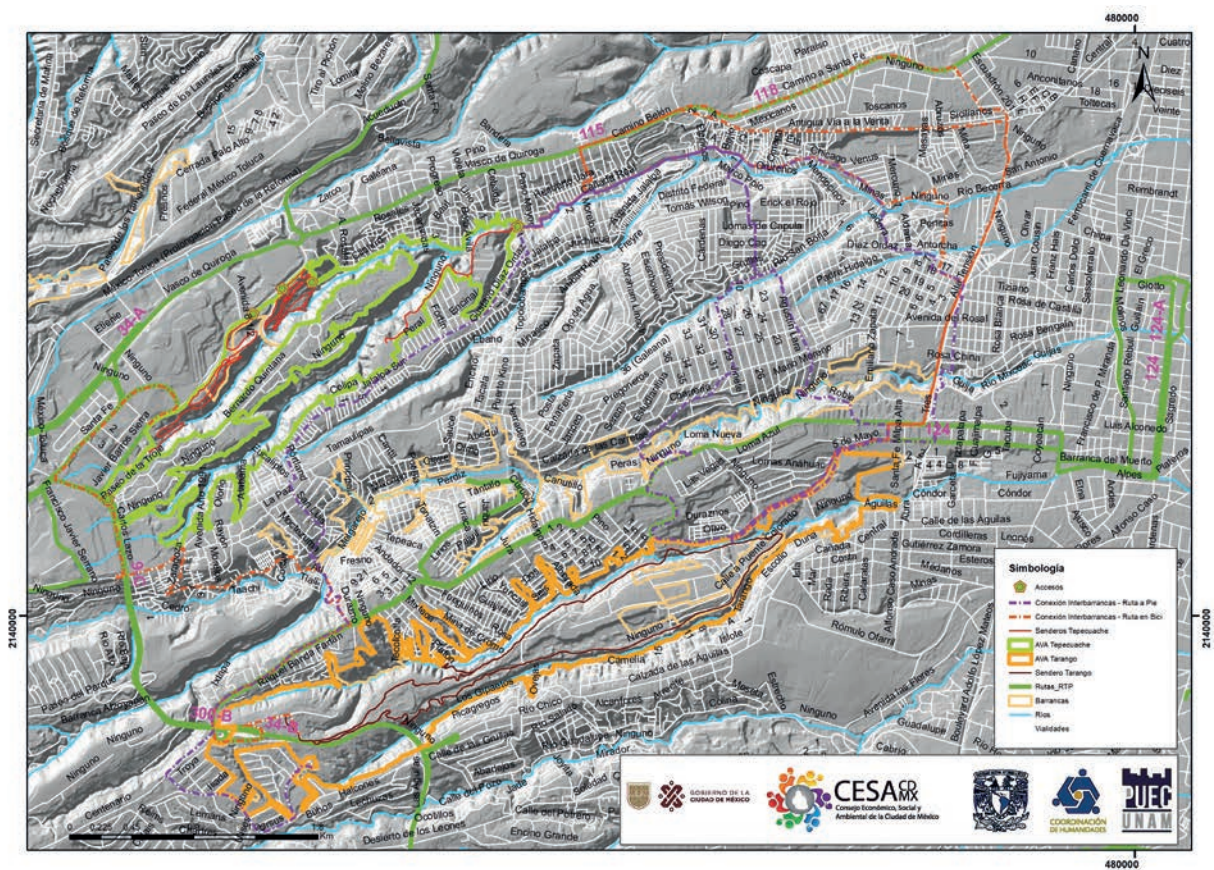
los carriles de extrema derecha. Lo anterior, a reserva de un análisis mayor de las propuestas del equipo de investigación.

Respecto al espacio delimitado en los costados de la avenida de los Poetas (entre las avenidas Tamaulipas y Centenario), planteado como posible conexión peatonal con el parque Tarango, se pudo constatar que dicha infraestructura de iniciativa ciudadana se delimitó como ciclovía, pero no fue habilitada para el uso ciclista. En resumen, la principal conectividad propuesta para la barranca Becerra Tepecuache consiste en crear una conexión de movilidad no motorizada, a través de ciclovías, entre la barranca y el parque La Mexicana. Para este fin, en conjunto con SEMOVI y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), se plantearon posibles continuidades de carriles ciclistas y otras infraestructuras confinadas, como las mencionadas en párrafos anteriores.

## Conectividad entre barrancas

Para consolidar los sistemas de visitación en las barrancas estratégicamente planeados se tuvieron en cuenta la accesibilidad y las temáticas de interés educativo que plantean nuevas rutas. En el mapa 13 se muestra la generación de recorridos urbanos, incluida la conectividad a 400 m de distancia entre centros escolares y AVA, así como nuevas rutas ciclistas y peatonales, que representan una oportunidad de recreación y visitación de población escolar; esto habrá de considerarse al momento de decidir los accesos y realizar los trazos de recorridos con enfoque educativo y de accesibilidad a las AVA.

**Mapa 13.** Conectividad territorial peatonal y ciclista entre ambas barrancas



Fuente: elaboración propia

## Red de senderos ecoturísticos de usos múltiples

### Barranca Río Becerra Tepecuache

La red de senderos diseñada para la barranca Río Becerra Tepecuache se compone de poco más de 8 kilómetros de longitud, divididos en tres secciones y cinco accesos, uno de ellos solamente de servicio, ubicado en la calle Cilantro. Las diferentes secciones se han diseñado a partir de circuitos de actividades siguiendo las curvas de nivel, estableciendo miradores y puntos de descanso con elementos naturales, como retranqueos de piedras y troncos de madera existentes. En el método constructivo de los senderos se contempla solo el volteo de la capa superior de tierra para la conformación de taludes, así como el entrelazamiento con caminos existentes que no sobrepasen 10% de pendiente. Por la ubicación de la barranca, se considera un acercamiento entre los distintos entornos sociales y se pretende que la red de senderos se convierta en un punto de encuentro comunitario en un entorno natural.

En la parte surponiente se contempla un conjunto de proyectos de cohesión social que incluye huertos familiares, cultivo de plantas medicinales, apiarios para la producción de miel y otras actividades con el potencial de generar comunidad, vigilancia comunitaria y obtención de ingresos derivados de una economía verde local. En la presente propuesta solo se han señalado los puntos a desarrollar en función de los aspectos sociales, geográficos y demográficos. Por ello se recomienda perfeccionar estas sugerencias basadas en el mapa temático que presenta una zonificación de actividades. En esta zona es deseable la continuación de los programas de limpieza de barrancas, ya que dada la accidentalidad del terreno no es posible crear redes de senderos.

Finalmente, se propone una pequeña conexión de paso urbano entre la parte surponiente y suroriente de la barranca, a través de un sendero que enlace las canchas de fútbol con algunas vialida-

des de tránsito urbano, lo que acortaría de forma significativa el acceso al transporte público. Este sendero podría contemplarse como infraestructura verde y se sugiere que se complemente con actividades recreativas y deportivas como muros de escalada, instalaciones de parkour, rampas para skateboard, BMX y otras actividades lúdicas, que no se contrapongan con los usos del área de valor ambiental.

**Mapa 14.** Río Becerra Tepecuache para zonificación y proyectos complementarios para ecoturismo y cohesión social



Fuente: elaboración propia

**Proyectos sociales complementarios.** Se ubicarían en distintos puntos al sur de la barranca, como espacios que concentren actividades agroproductivas a escala local y de cohesión social, tales como:

- Huertos comunitarios
- Apiarios
- Plantas medicinales
- Sitios de cohesión social

**Juegos deportivos de bajo impacto ambiental.** Al sureste de las barrancas se podrían crear espacios para promover las actividades físicas, deportivas y de encuentro al aire libre, con estructuras y elementos removibles.

- Parkour
- Muros de escalada
- Bike park

## Barranca Tarango

La red de senderos de usos múltiples diseñados para la barranca Tarango cuenta con una extensión de 9.4 kilómetros a lo largo de un solo circuito perimetral, ubicado en la zona de transición entre meseta y pendiente. Por su longitud, puede ser un circuito para grandes recorridos, atractivo para ciclistas de montaña, corredores y paseantes de muy diversos intereses. La barranca cuenta con tres accesos principales, de los cuales dos se encuentran habilitados y en uso. Se sugiere, asimismo, la habilitación de un tercero, el cual se encuentra en la calle de Aristóteles; esto implicaría la construcción de un puente y algunas otras obras civiles, que bien justifican la accesibilidad de un núcleo de población que actualmente no cuenta con entradas a la barranca, a pesar de encontrarse colindante al área natural y carecer de áreas verdes.

El sendero propuesto se diseñó, en su mayor parte, en terrenos con pendientes de 10 al 30%, lo que lo hace ideal para la observación del entorno urbano. Por esta razón se sugiere que el enfoque a desa-

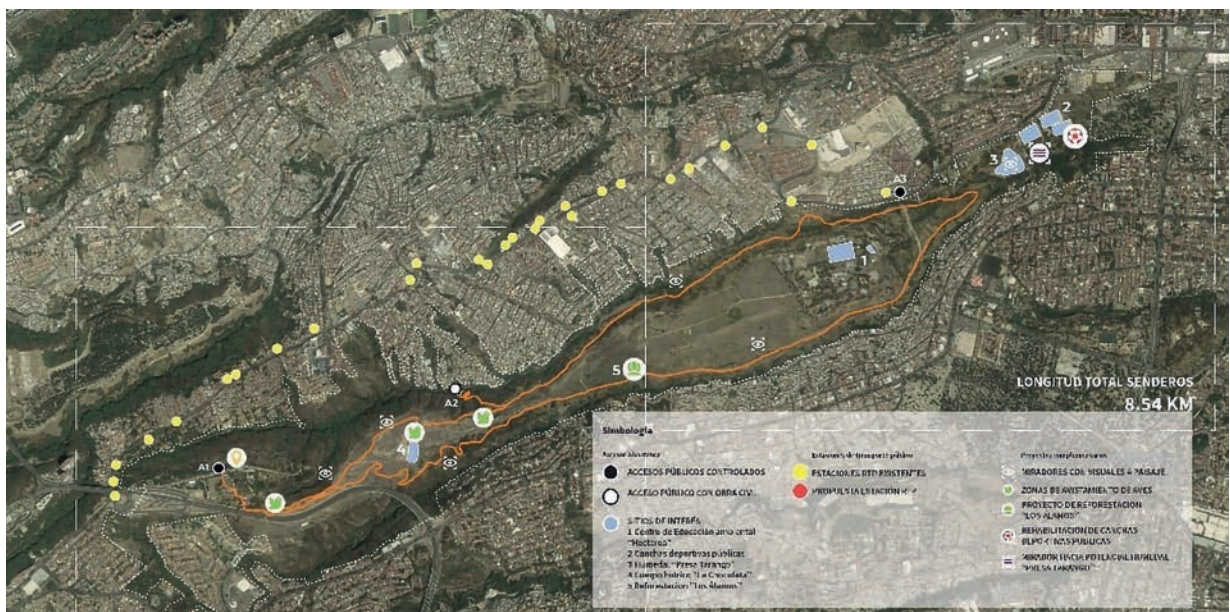
rollar incluya, además de componentes deportivos, otros de educación ambiental que puedan complementar las actividades del Centro de Educación Ambiental Hectárea, centrados en la educación ambiental y visitas escolares, incluyendo temáticas de relación entre el ecosistema de barrancas y el entorno urbano.

Se plantea implementar los siguientes proyectos que complementen el uso ecoturístico de la barranca:

**Rehabilitación de canchas deportivas públicas.** Deberá contar con un área de sanitarios públicos sustentables con tecnologías ecológicas, además de señalética (cartografía para desplegar mapa de la AVA tipo Way Finding / Navegación urbana conceptual) y área para biciestacionamientos.

**Mirador humedal Presa Tarango.** A partir de un potencial proyecto de preservación hídrica, se sugiere la creación de un espacio de contemplación hacia el humedal y el avistamiento de aves, además de la adecuación de un área para picnic.

**Mapa 15.** Río Becerra Tarango para zonificación y proyectos complementarios para ecoturismo y cohesión social.



Fuente: elaboración propia



## Estrategia para fortalecer el marco jurídico e institucional en materia de áreas de valor ambiental

Se requiere fortalecer la gobernanza para lograr la sustentabilidad en la gestión del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces. Estas fortalezas deben estar orientadas por lo dispuesto en la Constitución Política de la Ciudad de México, expedida en febrero del año 2017, y por los contenidos de los instrumentos de planeación del desarrollo: Plan General de Desarrollo de la Ciudad de México (PGD-CDMX) y el Programa General de Ordenamiento Territorial (PGOT-CDMX).

En este contexto se requiere redefinir la regulación del sistema de barrancas como áreas de valor ambiental (AVA), dentro del sistema de áreas naturales protegidas (ANP) señaladas por el artículo 16 de la Constitución Política de la Ciudad de México, como sigue:

- **Áreas naturales protegidas**, federales y de la Ciudad de México. Para esta última se mantendrían las siguientes variantes (conforme a la legislación vigente) o aquellas que se redefinieran conforme a los criterios actuales de conservación de este tipo de áreas:
  - Zonas de Conservación Ecológica
  - Zonas de Protección Hidrológica y Ecológica
  - Zonas Ecológicas y Culturales
  - Refugios de vida silvestre
  - Zonas de Protección Especial
  - Reservas Ecológicas Comunitarias
- **Áreas de valor ambiental**, que serían únicamente referidas a las barrancas y que por sus especificidades ecosistémicas requieren un régimen especial.

- **Bosques urbanos.** Dejarían de ser considerados en la misma categoría que las barrancas, y por sus características también deberían estar sujetos a previsiones específicas.
- **Áreas verdes,** consideradas como tales las que a continuación se señalan y sus homólogas:
  - Parques y jardines
  - Plazas jardinadas o arboladas
  - Jardineras
  - Zonas con cualquier cubierta vegetal en la vía pública
  - Área o estructura con cualquier cubierta vegetal o tecnología ecológica instalada en azoteas de edificaciones
  - Alamedas y arboledas
  - Promontorios, cerros, colinas, elevaciones y depresiones orográficas, pastizales naturales y áreas rurales de producción forestal, agroindustrial o que presen servicios ecoturísticos

Lo anterior permitirá lograr un mejor manejo y gestión de los diferentes espacios verdes ubicados en nuestra ciudad, diferenciando sus características, función social y ambiental y la normatividad para su conservación uso y aprovechamiento. Evidentemente, la regulación deberá dar integralidad a la regulación de las distintas categorías señaladas, por ello formarán parte de un sistema único e integral. A partir de esto, la modificación más importante se haría a la legislación ambiental, en la que deberá incluirse un título especial para el sistema, que abarcara disposiciones generales y un capítulo para cada una de las categorías señaladas: áreas naturales protegidas, áreas de valor ambiental (barrancas), bosques urbanos y áreas verdes.

**Zonificación.** Sin lugar a dudas, uno de los aspectos que se debe cuidar y considerar de manera importante en la actualización de la normatividad en materia de áreas de valor ambiental es el tema de la zonificación. En primer lugar, debe quedar perfectamente claro que, en la zonificación primaria, las barrancas como áreas de valor

ambiental, independientemente de su ubicación, son parte del suelo de conservación, ya que su caracterización y función ambiental en la planeación del territorio justifican perfectamente ello, y justamente hacia ahí se deberán dirigir los contenidos de los proyectos de PGD y PGOT. En segundo lugar, la zonificación secundaria deberá prever el conjunto de usos que podrán considerarse en las barrancas como AVA, siempre teniendo en cuenta su caracterización y función ambiental; es aquí donde se va a identificar el conjunto de actividades prohibidas y permitidas. Finalmente, respecto de la zonificación, la normatividad deberá prever criterios para las zonas aledañas a los polígonos considerados como AVA, armonizando la normatividad ambiental y urbana en el ordenamiento territorial.

### Fortalecimiento del contenido de los instrumentos de gestión de las barrancas como AVA (decretos, programas de manejo)

Se deben realizar y decretar programas de manejo para todas las áreas de valor ambiental, incluyendo trabajo de campo y cartografía a escala 1:4000, y definir los límites de cada poligonal. En los programas de manejo se deberán contemplar metodologías para la evaluación y monitoreo de los servicios geoecosistémicos.

Deberán establecerse, con precisión, zonificaciones secundarias con intensidades de usos y manejos del suelo, además de los diferentes recursos de importancia para la sustentabilidad dentro de cada barranca, para tener claro las actividades permitidas.

También se deberá aumentar el presupuesto para el manejo y gestión de las barrancas, considerando las atribuciones legales de la SEDEMA. Esta dependencia tiene una limitada capacidad operativa y presupuestal, de tal forma que no puede garantizar la conservación de servicios y valores ambientales de las áreas de valor ambiental. Por lo anterior resulta imperativo destinar más presupuesto a la conservación de las barrancas, ya que sin ello las instituciones y dependencias no podrán ejercer y cumplir plenamente con sus funciones. Por otra parte, las alcaldías están obligadas a procurar el incremento de áreas verdes de su competencia, manteniendo un equilibrio en los usos de suelo distintos de áreas verdes, espacios abiertos y jardinados o en suelo de conservación.

Del mismo modo, la SEDEMA y las alcaldías podrán celebrar convenios de participación y trabajo conjunto con ciudadanos e instituciones privadas o públicas, con la finalidad de que se involucren en el mantenimiento, mejoramiento, restauración, fomento, conservación, forestación, reforestación, actividades recreativas y culturales, y promuevan la vigilancia y cuidado de estos espacios. Al no haber un organismo que se encargue de regular las funciones de cada institución de manera transversal, y hasta que no haya un presupuesto específico para la conservación de barrancas, estos convenios difícilmente se llevarán a cabo.

## Hallazgos relevantes

- La superficie total del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces es de 22,222 ha; 39.2% corresponde a ecosistemas naturales, de los cuales 5,930 ha (26.7%) están ocupadas por ecosistemas forestales conservados de bosque de pinos y mixto, y 12.5% pertenece a ecosistemas perturbados. Las zonas agropecuarias están restringidas a 1,240 ha aproximadamente y las áreas verdes urbanas ocupan 297 ha. El suelo urbanizado corresponde al uso de suelo dominante con 11,800 ha (53.1%), mientras que los cuerpos de agua ocupan 27 ha.
- En el sistema de barrancas los ecosistemas dominantes son el bosque perturbado mixto de pinos y encinos, con una superficie total de 960 ha, y el bosque de encino, con una superficie de 715 ha, que en la mayoría de su extensión se encuentra muy perturbado.
- La regulación del sistema de barrancas en la CDMX es inadecuada e insuficiente, ya que las barrancas son consideradas como parte de las áreas naturales protegidas federales, pero sin la misma importancia en la normatividad de la CDMX, que las equipara con los bosques urbanos de valor ambiental; si no se incorporan a ninguna de esas categorías, los programas de desarrollo urbano aplicables las regulan como áreas verdes.

- Se deberá definir en la ley el concepto de área de valor ambiental, asociado a la protección y aprovechamiento sustentable de las barrancas y su vinculación con la regulación de otros espacios de protección, como las ANP, los bosques urbanos o las áreas verdes. Lo anterior permitirá redefinir o recategorizar los diferentes espacios sujetos a protección, así como los instrumentos de gestión respectivos.
- La definición actual de las AVA no reconoce el valor de las barrancas por sus servicios ecosistémicos que aportan a la ciudad y el bienestar y seguridad de la población. De acuerdo con esta propuesta, las nuevas AVA deberán determinarse a partir de la consideración técnica de los valores intrínsecos que son:  
a) **Barranca:** *depresión geográfica que, por sus condiciones topográficas y geológicas, se configura como hendidura y sirve de refugio de vida silvestre, de cauce de los escurrimientos naturales de ríos, riachuelos y precipitaciones pluviales; se constituye como una zona importante del ciclo hidrológico y biogeoquímico;* b) **área de valor ambiental:** *barrancas ubicadas en espacios donde los ambientes originales han sido modificados por las actividades antropogénicas o existe esa posibilidad; requieren ser conservadas o restauradas, en cuanto a que mantienen características ecosistémicas que permiten la aportación de servicios ambientales y contribuyen a mantener la calidad ambiental de la ciudad en favor de la población de la propia entidad federativa.*

## Propuestas

- Se deberá fortalecer la coordinación entre las autoridades y los mecanismos de participación social. La coordinación institucional deberá fortalecer los mecanismos de colaboración de diversas autoridades en la gestión del sistema de barrancas. Aspectos como la disposición de residuos sólidos, la descarga de aguas residuales, la atención de situaciones de riesgo, el otorgamiento de permisos o autorizaciones, entre otros, requieren la implicación de diversas autoridades. El hecho de que se trate de un espacio sujeto a legislación ambiental no implica que solo las autoridades de ese sector deben ser las que asuman la responsabilidad absoluta.
- Los programas y actividades dirigidos al cuidado, la administración y vigilancia de los recursos naturales, incluidas las barrancas, son parte de las atribuciones de la SEDEMA (artículo 86) y, conforme a lo previsto en la misma ley, serán las alcaldías quienes procederán en los casos de invasión de las barrancas, previa celebración del convenio respectivo. Como parte de la regulación para lograr una adecuada administración y protección de estos espacios, se otorgan diversas facultades a las alcaldías, tales como la vigilancia, construcción, rehabilitación, administración, preservación, protección, restauración, forestación y reforestación. Sin embargo, las alcaldías, al no tener la capacidad de generar recursos propios, dependen del presupuesto que les otorgue el gobierno de la CDMX, y difícilmente destinarán su propio presupuesto —muy limitado— a la protección de barrancas, argumentando que le corresponde a la SEDEMA esa función.
- En el caso de la participación social, se requieren no solo cambios normativos, sino mecanismos de participación social de vecinos y organizaciones sociales, privadas o académicas, inte-

resadas en la protección o adecuado aprovechamiento de las barrancas.

- Se propone la conformación de un consejo rector para el sistema de barrancas de la CDMX, conformado por representantes de la sociedad civil y autoridades que promuevan acciones en favor de esos espacios. Asimismo, podrían reactivarse otros espacios para una participación amplia entre autoridades y sociedad civil, como los consejos de cuenca previstos en la normatividad en materia de gestión del agua.
- Una estrategia de cosecha de agua potencial tendría un fuerte impacto en la creación de zonas de captación —mediante galerías de infiltración y captación superficial de la escorrentía— en microcuencas, con obras de almacenamiento, ubicadas sobre las laderas de los taludes alto y medio del sistema de barrancas.
- Es en este contexto que el valor monetario de los servicios ecosistémicos resulta ser pieza clave para la construcción de una nueva economía verde para la CDMX. En ella, las AVA del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces deben considerarse como parte de la gran estrategia de lograr una carbonneutralidad que fomente la rentabilidad socioambiental frente a la política actual que solo pondera la rentabilidad privada. Para alcanzar esta meta comprometida en los Acuerdos de París de 2015, se debe entender la economía carbono neutral con una visión a futuro (2050-2070). Ello implicará elevar los precios del carbono a un nivel de entre 300 y 700 USD por tCO<sub>2</sub>eq (tonelada de carbono equivalente), lo que hará rentable promover grandes áreas con función de sumideros de carbono potencial, para establecer “granjas de carbono” que aumenten el valor monetario de los servicios ecosistémicos de las barrancas.
- Bajo el enfoque urbano, la recuperación ambiental del sistema de barrancas se vincula a la aplicación de programas de desarrollo urbano que las consideren en una escala de mayor importancia que la de áreas verdes o de valor ambiental. Por ello se requiere una nueva jerarquía en la política ambiental de la CDMX y las alcaldías relacionadas.

- El presente “Programa de restauración ambiental Sierra de las Cruces, Ciudad de México. Hacia un modelo social incluyente” considera alternativas para la toma de decisiones, así como recomendaciones que permitan consolidar —entre el gobierno, la sociedad y los actores económicos— metodologías, sistemas de información y políticas para la valoración integral de los servicios ecosistémicos del sistema de barrancas de la Sierra de las Cruces del poniente de la CDMX, que deben incorporarse en la evaluación socioambiental jurídica de las AVA.



# Glosario de siglas y abreviaturas

ANP. Área natural protegida

AVA. Áreas de valor ambiental

CC. Cambio climático

CDMX. Ciudad de México

CentroGeo. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial

CIIEMAD. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

SEPI. Conferencia de las Partes. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

ECLAC. Comisión Económica para América Latina y el Caribe

GCDMX. Gobierno de la Ciudad de México

GDF. Gobierno del Distrito Federal

IDE. Índice de degradación ecológica

IDN. Índice de capital natural

IIA. Índice de impacto antropogénico

ILO. Organización Internacional del Trabajo

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IPN. Instituto Politécnico Nacional

OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

ODS. Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU. Organización de las Naciones Unidas

PGD-CDMX. Plan General de Desarrollo de la Ciudad de México

PGOEDF. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal

PGOT-CDMX. Programa General de Ordenamiento Territorial

PIB. Producto interno bruto

REC. Reservas ecológicas comunitarias

RTP. Red de Transporte de Pasajeros

SA. Servicios ambientales

SE. Servicios ecosistémicos

SEDEMA. Secretaría del Medio Ambiente

SEDUVI. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SEMOVI. Secretaría de Movilidad

SMN. Servicio Meteorológico Nacional

## Referencias

- BenDor, T. et al.** (2015). Estimating the size and impact of the ecological restoration economy. *PLOS ONE*, 10(6). Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0128339>
- Bryan, B. A., Nolan, M., Harwood, T. D., Connor, J. D., Navarro-Garcia, J., King, D. y Hatfield-Dodds, S.** (2014). Supply of carbon sequestration and biodiversity services from Australia's agricultural land under global change. *Global Environmental Change*, 28: 166-181.
- Centro de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo-Instituto Politécnico Nacional (CIEMAD-IPN)** (2006). Instrumentos de política pública para el manejo sustentable de áreas de valor ambiental en el D.F. Estudio de caso: las barrancas de la delegación Álvaro Obregón. Reporte final.
- Conde, C., Pabón, D. y Sánchez, R.** (2013). "La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y el desarrollo urbano", en R. Sánchez (ed.), *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL, pp. 25-39.
- ECLAC-ILO** (2018). Employment situation in Latin America and the Caribbean: Environmental sustainability and employment in Latin America and the Caribbean. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/44186?locale-attribute=en>
- Edens, B. M., Vissers, C., Su, J., Arumugam, S., Xu, Z., Shi, H., y Ma, Y. C.** (2019). FMRP modulates neural differentiation through m6A-dependent mRNA nuclear export. *Cell Reports*, 28(4): 845-854.

- Galindo, L. M. y Basurto, S.** (2021). Valoración monetaria de los servicios de los ecosistemas en México. Documento de trabajo. Resultados del Proyecto Natural Capital. Aguascalientes: INEGI.
- Gobierno de la Ciudad de México (GCDMX)** (2022). Proyecto del Plan Programa general de ordenamiento territorial de la Ciudad de México.
- Griscom, B., et al.** (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(44): 11645-11650.
- Harbord, Roger M. y Higgins, Julian P. T.** (2008). Meta-regression in Stata. *Stata Journal*, 8(4): 493-519.
- Hein, M. Y., Vardi, T., Shaver, E. C., Pioch, S., Boström-Einarsson, L., Ahmed, M., Grimsditch, G. y McLeod, I.M.** (2021). Perspectives on the use of coral reef restoration as a strategy to support and improve reef ecosystem services. *Frontiers in Marine Science* 8:299. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.618303>
- Horlings, L. G.** (2019). Sustainable place-shaping: what, why and how. Findings of the SUSPLACE program. Deliverable D7.6 Synthesis report. Gelderland: Wageningen University and Research. Disponible en <https://www.sustainableplaceshaping.net>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)** (2022). Banco de información económica. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>
- (2022a). Marco geoestadístico. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- (2022b). Carta de uso de suelo y vegetación. Serie VII. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>
- (2021). Cuentas de los ecosistemas de México. Resultados del Proyecto Natural Capital. Aguascalientes: INEGI.
- Landa, R., Magaña, V. y Neri C.** (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*. México: SEMARNAT/Cen-

tro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Disponible en: [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/agua\\_y\\_clima/agua\\_y\\_clima.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/agua_y_clima/agua_y_clima.pdf) [consultado el 24 de noviembre de 2016].

**Marcos-Martinez, R., Bryan, B. A., Schwabe, K. A., Connor, J. D., Law, E. A., Nolan, M., y Sánchez, J. J.** (2019). Projected social costs of CO<sub>2</sub> emissions from forest losses far exceed the sequestration benefits of forest gains under global change. *Ecosystem Services*, 37: 100935.

**Network for Greening the Financial System (NGFS)** (2021). *NGFS climate scenarios for central banks and supervisors*. París: NGFS.

**Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)** (2019). *OECD Employment Outlook 2019: The Future of Work*. París: OCDE. Disponible en <https://dx.doi.org/10.1787/9ee00155>

**Saget, Catherine, Vogt-Schilb, Adrien y Luu, Trang** (2020). *Jobs in a Net-Zero Emissions Future in Latin America and the Caribbean*. Washington D.C. y Ginebra: Inter-American Development Bank and International Labor Organization.

**Secretaría de Medio Ambiente de la CDMX (SEDEMA)**. (2012). Barrancas urbanas del surponiente del Distrito Federal. Áreas de valor ambiental. Consultado en: <http://martha.org.mx/una-politica-con-causa/wp-content/uploads/2013/09/05-Barrancas-Urbanas.pdf>

**Vallecillo, S., La Notte, A., Zulian, G., Ferrini, S. y Maes, J.**, (2019). Ecosystem services accounts: Valuing the actual flow of nature-based recreation from ecosystems to people. *Ecological Modelling*, 392: 196-211.