



# Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

## INFORME FINAL

*Gloria Soto Montes de Oca\**

*Gustavo Cruz Bello\**

*Lessli Alejandra Ramírez Macario*

*Jesús Romero Martínez*

Ciudad de México, noviembre 2019.

\*Profesor-investigador, Universidad Autónoma Metropolitana-  
Cuajimalpa

## Contenido

INTRODUCCIÓN.....	2
MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	3
METODOLOGÍA .....	7
RESULTADOS .....	17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	24
BIBLIOGRAFÍA.....	27
LISTADO DE ANEXOS ELECTRÓNICOS .....	31
Anexo 1: Documento Word con 64 mapas con la ubicación espacial y las vías de comunicación para llegar a las zonas prioritarias .....	31
Anexo 2: Archivo Prioridad.kmz con los polígonos prioritarios para reforestación para observarse en el sistema Google Earth .....	31
Anexo 3: Base de datos Excel con indicadores de para cada una de las localidades rurales que se ubican cerca de los polígonos prioritarios.....	31
Anexo 4. Archivo Localidades rurales_final.kmz con la ubicación de las localidades rurales que se ubican cerca de los polígonos prioritarios.....	31
Anexo 5. Base de datos Excel con indicadores de las colonias que sufrieron inundaciones severas durante 2017-2018.....	31
Anexo 6. Archivo Colonias_inundables.kmz con la ubicación espacial de las colonias que presentaron eventos de inundaciones. ....	31

## INTRODUCCIÓN

El riesgo de inundaciones en zonas urbanas es una preocupación debido a los crecientes efectos del cambio climático. Es evidente la necesidad de desarrollar estrategias que reduzcan la vulnerabilidad de las ciudades, incluida la protección que los ecosistemas naturales brindan para retener los escurrimientos de agua hacia zonas bajas. Con frecuencia los habitantes, los gobiernos y otros actores relevantes omiten considerar las estrategias asociadas al manejo de recursos naturales. Este informe parte del argumento de que los ecosistemas naturales periurbanos pueden reducir o aumentar los riesgos por inundaciones de las zonas urbanas. En este sentido, la conservación del suelo y la preservación o restauración de los ecosistemas actúan como un seguro para reducir la magnitud de los daños por eventos de precipitación extrema, que beneficia así a las áreas urbanas en zonas bajas con riesgo de inundaciones.

El estudio fue realizado en alianza con Zurich, a través de la Z Zurich Foundation, bajo el pilar de resiliencia climática, el cual está encaminado a ayudar a las personas a entender los riesgos derivados de los efectos del cambio climático. De la misma forma, el estudio se alinea al Programa de Resiliencia ante Inundaciones que desarrolla Zurich en conjunto con la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja y la Cruz Roja Mexicana. Se busca contribuir a la solución del problema público que generan las inundaciones.

El objetivo del estudio es definir las zonas peri-urbanas con mayor potencial de ser intervenidas a través de reforestaciones para reducir la magnitud de inundaciones en el suelo urbano de las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán en la Ciudad de

México. Esto implicará la generación de información a múltiples escalas geográficas tanto en el suelo peri-urbano como en el urbano que se puede utilizar para mejorar la toma de decisiones de diferentes actores sobre las zonas que ofrecen el mejor potencial para recibir intervenciones, como las de reforestación o aforestación. El enfoque empleado consiste en la construcción de indicadores sobre el potencial de retención de escurrimientos de las precipitaciones en las áreas peri-urbanas, así como información relevante de las zonas urbanas afectadas por inundaciones.

## MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Los fenómenos hidrometeorológicos extremos han producido pérdidas humanas y altos costos económicos crecientes en México y el mundo (EM-DAT, 2018). Los riesgos globales más apremiantes, según el último Reporte Global de Riesgos, se relacionan con el medio ambiente, particularmente con los eventos climáticos extremos y la inacción en materia de medidas orientadas a resolver el cambio climático (World Economic Forum- Zurich, 2019). El cambio climático está presentando mayores riesgos contra las defensas que existían en diferentes lugares para protegerse de las inundaciones y también está erosionando los servicios de regulación de inundaciones prestados por los ecosistemas naturales. El resultado es que más hogares, empresas, infraestructura y tierras agrícolas corren el riesgo de inundarse. La forma como las ciudades manejan actualmente sus recursos hídricos y sus políticas ambientales impactará la resiliencia de las ciudades ante los efectos del cambio climático que se presentarán en el futuro. De esta manera, es importante que los tomadores de decisiones implementen políticas de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad de las ciudades.

Los riesgos por inundaciones de las zonas urbanas se pueden reducir a través del uso de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas naturales en las áreas peri-urbanas (Soto et al., 2020). Estos espacios, que sirven de interfaz entre los territorios urbanos y rurales, son importantes para la provisión de servicios ecosistémicos, particularmente la regulación de inundaciones (McGregor et al., 2006). Las áreas periurbanas están bajo la presión del crecimiento de la población, la expansión de la mancha urbana, la construcción de carreteras y el desarrollo económico, lo que resulta en el detrimento de la provisión de servicios ecosistémicos (Pisanti et al., 2009). Debates recientes identifican a las áreas periurbanas, con su combinación de infraestructura urbana, agricultura y ecosistemas naturales, como áreas prioritarias para mejorar la gestión multifuncional del paisaje. Además, en un contexto de cambio climático, mejorar la resiliencia de las comunidades periurbanas puede reducir la vulnerabilidad regional (Morton et al., 2014).

El concepto del valor del seguro de los ecosistemas es importante para entender la relación entre las áreas que se benefician y aquellas que proporcionan el servicio de regulación o protección. En el caso de la regulación de las inundaciones que beneficia a las áreas urbanas, las zonas periurbanas aguas arriba de las ciudades son importantes. El concepto de valor de aseguramiento de un ecosistema natural se refiere a la capacidad que tienen los sistemas naturales para protegernos contra desastres y su capacidad de continuar brindando servicios ecosistémicos incluso cuando se ve afectado por eventos extremos. El valor implícito de ciertos servicios ecosistémicos reguladores se podría estimar si se conociera el costo que se tendría que pagar si estos servicios no estuvieran presentes (Baumgärtner, 2008). El valor de protección de los ecosistemas de un espacio forestal que mitiga los riesgos aguas abajo es cada vez más evidente (Quaas y Baumgärtner, 2008; Kellet y Way, 2018).

Dado que los servicios de regulación con frecuencia se consideran bienes públicos porque se proveen de manera gratuita, a menudo están en riesgo de perderse o se han deteriorado

debido a la falta de información sobre su valor y la negligencia de las políticas públicas (Kaul, 2012), de manera que sean necesarias intervenciones para mantener o restaurar el valor del seguro de los servicios del ecosistema que ya han sido afectados.

Cuando se sabe que un ecosistema presta un servicio de regulación, se debe establecer qué aspectos del ecosistema son relevantes. En el caso de los bosques y espacios naturales de las zonas peri-urbanas, la regulación de los flujos de agua está directamente relacionada con la biomasa y la calidad del bosque (Mueller et al., 2013). La fragmentación del hábitat forestal es una amenaza para la provisión de servicios ecosistémicos asociados. Un aspecto que aumenta la seguridad que proveen los ecosistemas es la biodiversidad, pues la variedad de especies dentro de los grupos funcionales actúa para aumentar la diversidad de respuesta, lo que reduce los impactos negativos de las perturbaciones externas en los ecosistemas terrestres y acuáticos (Elmqvist et al., 2003).

Existen recomendaciones para considerar los flujos del servicio del ecosistema comparando mapas sobre la oferta y la demanda, para establecer dónde se producen los servicios reguladores del ecosistema y quiénes son los beneficiarios. El mapeo sobre la dirección del flujo de los servicios del ecosistema es el primer paso hacia un nuevo enfoque en el que los espacios naturales se gestionan para aprovechar los beneficios que nos proveen, reemplazando la práctica por la cual los ecosistemas se gestionan para protegerlos con escasa información sobre quiénes y en qué magnitud se benefician las comunidades (Johnson et al. 2010). Un enfoque integrando a través del mapeo de las relaciones espaciales permite visualizar detalles importantes y se facilita la comunicación (Bagstad et. al 2013).

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

En México los desastres con declaratoria relacionados con el clima han aumentado. En el periodo 1999 y 2017, por cada desastre geológico hubo 13 desastres relacionados con el clima y con costo 10 veces mayor (INECC, 2018). Alrededor de 10.1 millones de personas, aproximadamente el 8.5% de la población del país, viven en áreas periurbanas (Soto y Alfie, 2019). Estas áreas comparten características de espacios urbanos y rurales, ya sea en unidades contiguas o fragmentadas. Los hogares en estos sitios aún desarrollan actividades tradicionales en el sector primario, pero en ocasiones han ampliado el tipo de actividades económicas aprovechando la cercanía a la ciudad. El problema es que muchos de los ecosistemas en estas zonas han perdido su calidad ambiental, por lo que se requiere promover intervenciones para mejorar su capacidad de retención del agua de lluvia, y reducir con ello la magnitud de las inundaciones en los espacios urbanos aledaños.

En la Ciudad de México los eventos de precipitación con una intensidad mayor a 30 mm en 24 horas son los más frecuentes, mientras que los eventos con una intensidad mayor a 70 mm en 24 horas fueron muy raros en los registros históricos de la Ciudad (periodo 1959-1988). Sin embargo, algunos escenarios de cambio climático indican que los eventos con intensidades mayores a 60 mm en 24 hrs. podrían incrementarse en cerca del 150% y los eventos mayores a 70 mm en 24 hrs. aumentarían en 200% (Soto y Herrera, 2016).

Considerando este marco conceptual sobre el valor de seguro de los ecosistemas y la evidencia sobre el incremento de eventos de hidrometeorológicos costosos en México, este estudio busca aplicar un enfoque multicriterio que integre información de diversas fuentes, cuyo objetivo sea restaurar los ecosistemas en las áreas periurbanas que tengan mayor potencial de reducir la magnitud de las inundaciones en las algunas zonas urbanas de la Ciudad de México.

## METODOLOGÍA

Para determinar las zonas con mayor potencial para generar escurrimientos y que pueden ser intervenidas para reducir las inundaciones en las partes bajas se empleó una metodología consistente en dos fases (Soto et al., 2020). En la primera se utilizó el Método Racional (Musa, et al., 2013; Gökbulak, et al., 2015), para evaluar el coeficiente de escorrentía anual y el volumen potencial de escurrimientos naturales. Este método fue generado a finales del siglo antepasado para determinar el caudal máximo de escurrimiento en un área suponiendo que éste se presenta cuando se tiene una intensidad máxima de una lluvia constante y uniforme, pero es aún muy utilizado a nivel internacional.

Esta relación se describe mediante la ecuación:

$$Q = CiA$$

Donde

$Q$  es el caudal máximo de escorrentía ( $\text{pies}^3/\text{s}$ );  $i$  la intensidad de la lluvia ( $\text{in}/\text{h}$ );  $A$  área (acres) y  $C$  el coeficiente de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento es la fracción de la lluvia que escurre de forma directa. Su valor es una función del uso del suelo, las características hidrológicas del suelo (grupo hidrológico) y la pendiente del terreno (Aparicio, 1992; Mc Cuen, 1998), Ver Tabla 1.

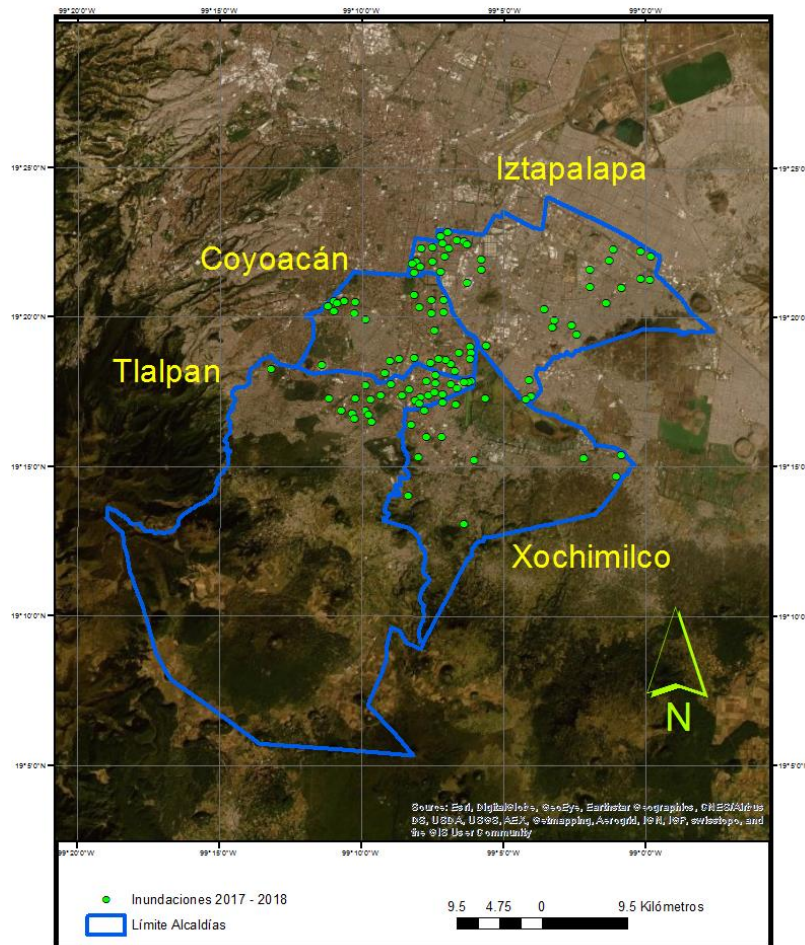


## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

La Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 “Conservación del recurso agua” lo establece como un método indirecto para el cálculo del volumen medio anual de escurrimiento natural en cuencas sin registros hidrométricos. La tabla descrita en esta NOM fue enriquecida con la presentada en Mc Cuen (1998) para considerar la pendiente del terreno y adecuada a los datos disponibles para el área de estudio.

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento se consideró una zona de 15 km alrededor del área de estudio que corresponde a las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán.



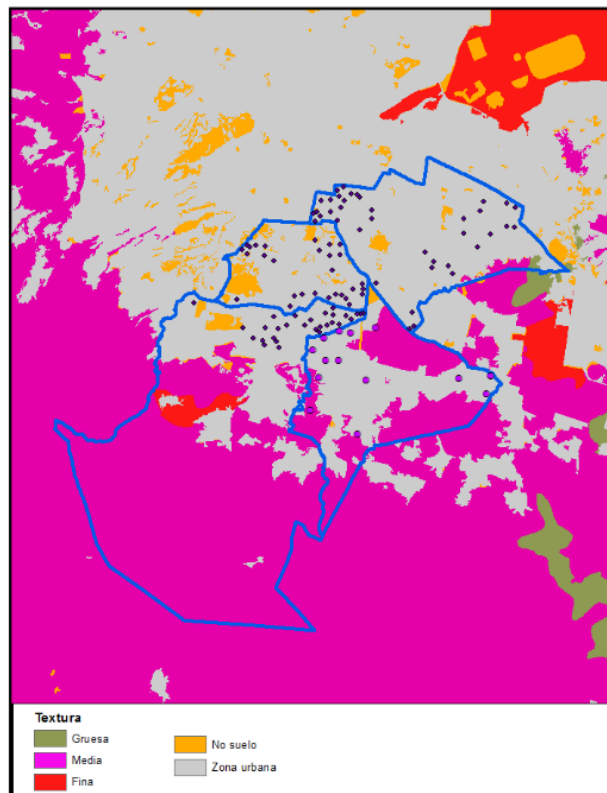
Área de estudio.

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Talpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

La generación de las capas espaciales necesarias para su cálculo se llevó a cabo considerando diversos elementos. Primero, el porcentaje de pendiente del terreno se derivó a partir del Modelo de Elevación Digital de INEGI (Continuo Nacional de Elevación) escala 1:50,000, descargado directamente de la página de internet de este instituto (INEGI, 2013). Esta capa se reclasificó de acuerdo a las categorías de porcentaje descritas en la Tabla 1: 1) menor a 2%; 2) 2 a 6% y 3) mayor a 6%.

Segundo, para el caso de la capa de suelos, ésta también se descargó de la página oficial del INEGI, en este caso la escala de trabajo disponible fue 1: 250,000 (INEGI, 2004). De esta capa la información utilizada fue la textura de los suelos clasificada como: 1) gruesa, 2) media y 3) fina, aunque esta capa también contiene cuerpos de agua, esta categoría no fue considerada en nuestro análisis.

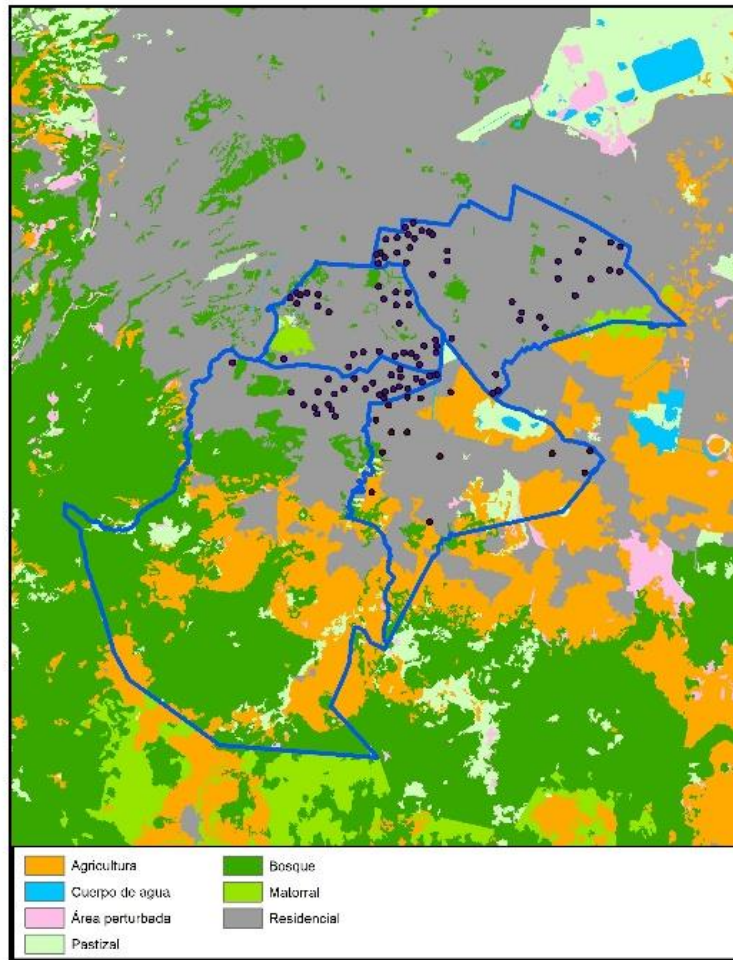


Textura del suelo

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Talpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

Tercero, la capa de Uso de suelo y Vegetación a escala 1:50,000 se obtuvo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2015). Esta capa de información contiene la distribución espacial de diferentes usos del suelo y tipos de vegetación. Todos ellos se reclasificaron a siete tipos considerados dentro de la Tabla 1: 1) Bosque, 2) Matorral, 4) Agricultura, 5) Residencial, 6) Área perturbada y 7) Otros.



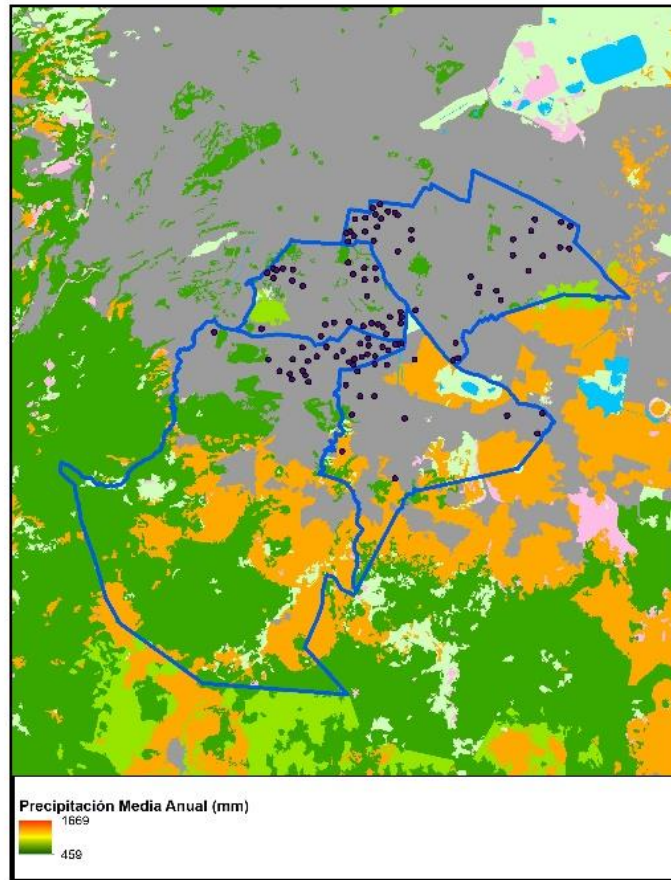
Uso del suelo y vegetación

Cuarto, la capa de precipitación media anual fue obtenida del Atlas Climático Digital de México generado por el Centro de Ciencias de la Atmosfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua.

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

Esta capa se derivó a partir del promedio mensual de datos diarios del periodo 1902 - 2011 de la base climatológica del Sistema Meteorológico Nacional (SMN) (UNAM, 2019). En su elaboración se aplicó un control de calidad, eliminando las (diferencias) estaciones con valores por encima y por debajo de la media más menos dos desviaciones estándar. Para nuestro análisis las capas de los promedios mensuales se sumaron para obtener el promedio anual.



Precipitación media anual

Todas las capas fueron recortadas a la extensión del área de estudio y geo-referidas al sistema de coordenadas UTM Zona 14 norte, Datum WGS 1984. Los análisis espaciales fueron desarrollados en formato raster con un tamaño de pixel de 15 m en el software ArcGis.

**Informe final**

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Talpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

Finalmente, para calcular el coeficiente de escurrimiento se combinaron las categorías de las tres capas de entrada (uso del suelo y vegetación, pendiente del terreno, suelos) mediante algebra de mapas. A las diferentes combinaciones de las tres capas se les asignó el valor del coeficiente de escurrimiento correspondiente de acuerdo a la Tabla 1.

<b>Tabla 1. COFICIENTE DE ESCURRIMIENTO</b>				
<b>USO DE SUELO Y VEGETACION</b>	<b>EDAFOLOGIA</b>	<b>PENDIENTE</b>		
		<b>&lt; 2%</b>	<b>2 - 6 %</b>	<b>&gt; 6%</b>
BOSQUE	GRUESA	0.1	0.14	0.18
	MEDIA	0.12	0.16	0.2
	FINA	0.15	0.2	0.25
	NA	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>
MATORRAL	GRUESA	0.2	0.28	0.37
	MEDIA	0.26	0.35	0.44
	FINA	0.3	0.4	0.5
	NA	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>
PASTIZAL	GRUESA	0.23	0.34	0.45
	MEDIA	0.3	0.42	0.52
	FINA	0.37	0.5	0.62
	NA	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>
AGRICULTURA	GRUESA	0.16	0.21	0.28
	MEDIA	0.2	0.25	0.34
	FINA	0.24	0.29	0.41
	NA	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>
RESIDENCIAL	GRUESA	0.35	0.39	0.44
	MEDIA	0.38	0.42	0.49
	FINA	0.41	0.45	0.54
	NA	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>
AREA PERTURBADA	GRUESA	0.66	0.68	0.7
	MEDIA	0.68	0.7	0.72
	FINA	0.69	0.72	0.75
	NA	<b>0.41</b>	<b>0.45</b>	<b>0.54</b>
OTROS (AGUA)	GRUESA	0	0	0
	MEDIA	0	0	0
	FINA	0	0	0
	NA	0	0	0

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

Una vez asignado el coeficiente de escurrimiento, se procedió a calcular el coeficiente de escurrimiento anual de acuerdo a las condiciones descritas en la NOM-011-CONAGUA-2015:

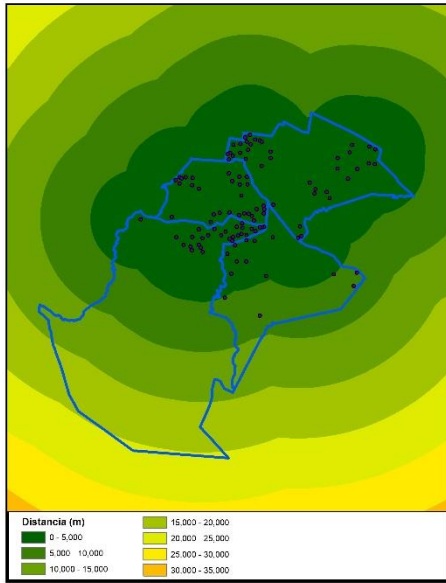
K: PARÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (Ce)
Si K resulta menor o igual que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0,15) / 1.5$

En la segunda fase de este estudio se consideraron las áreas que presentaron inundaciones en 2017 y 2018. Esta información se obtuvo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Secretaría de Administración y Finanzas de la Ciudad de México y la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México. Se capturaron los datos de aquellos eventos donde existió un costo asociado al seguro que provee el Gobierno de la Ciudad, administrado a través de la Secretaría de Administración y Finanzas, pues así se confirmaron los casos donde hubo daños materiales considerables. La información se procesó a nivel de colonia y/o el lugar o vialidad registrados, mediante sus coordenadas geográficas en el SIG. Se contabilizó el número de eventos de inundación que experimentó la colonia, el lugar o la vialidad. En la mayoría de los casos sólo se presentó un evento, pero hubo un lugar donde se reportaron seis inundaciones (Ver hoja excel Colonias\_inundadas).

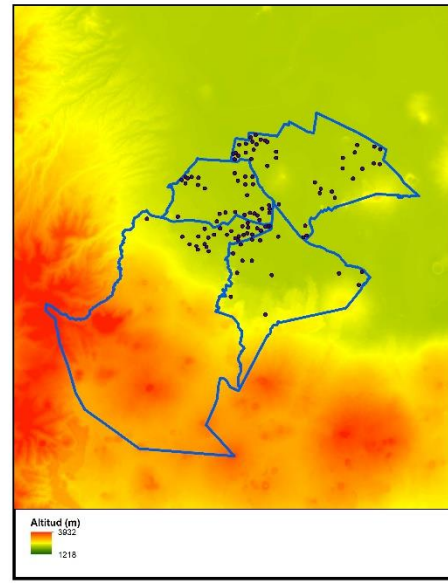
Finalmente, para asignar la prioridad de zonas a intervenir a través de reforestación en las áreas periurbanas se empleó un análisis espacial multicriterio considerando tres atributos: distancia a las zonas de inundación, altitud del terreno y el coeficiente de escurrimiento.

## Informe final

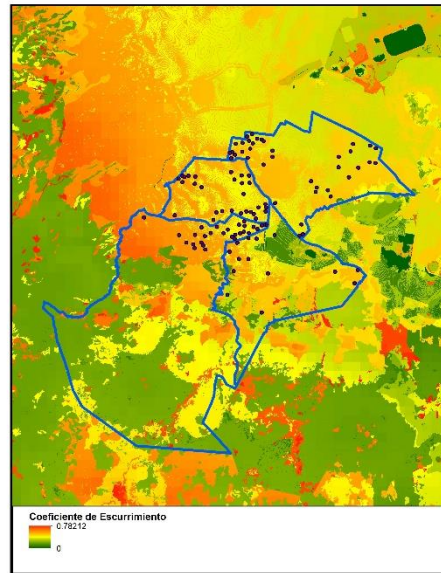
Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México



Distancia a inundaciones



Altitud del terreno



Coeficiente de escurrimiento anual

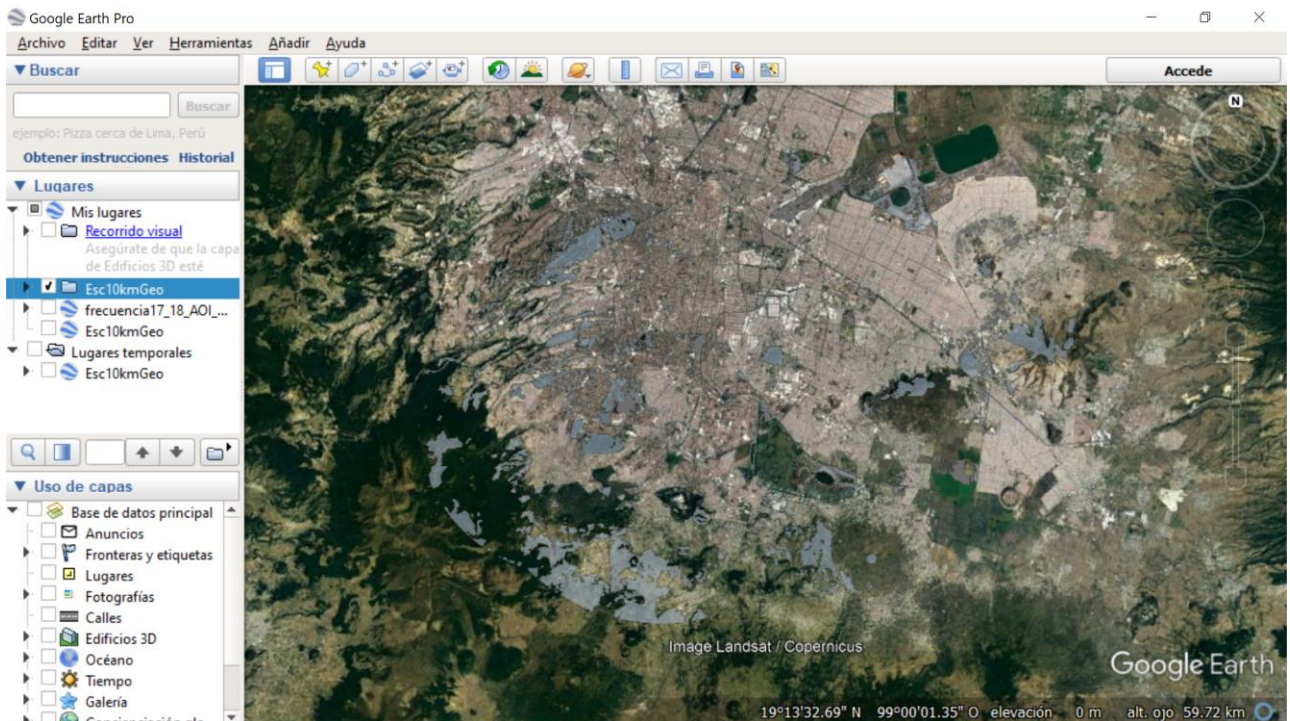
Se consideró una relación lineal entre estas variables y la prioridad para reforestación. En los casos de la altitud del terreno y el coeficiente de escurrimiento se consideró una relación directamente proporcional (a mayor valor de la variable mayor prioridad), mientras que

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Talpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

para la distancia a las zonas inundables se empleó una relación inversamente proporcional (a menor valor de la variable mayor prioridad). El peso o contribución de cada variable al resultado final de asignación de prioridad para reforestación se distribuyó de la siguiente manera: 50% para el coeficiente de escurrimiento, 35% para altitud del terreno y 15% para la distancia a las zonas inundables.

Esta metodología generó una capa continua de la prioridad para reforestación. Esta capa fue reclasificada a cinco clases: Muy baja, Baja, Moderada, Alta y Muy alta. De ellas se extrajeron las zonas con categorías altas y muy altas.



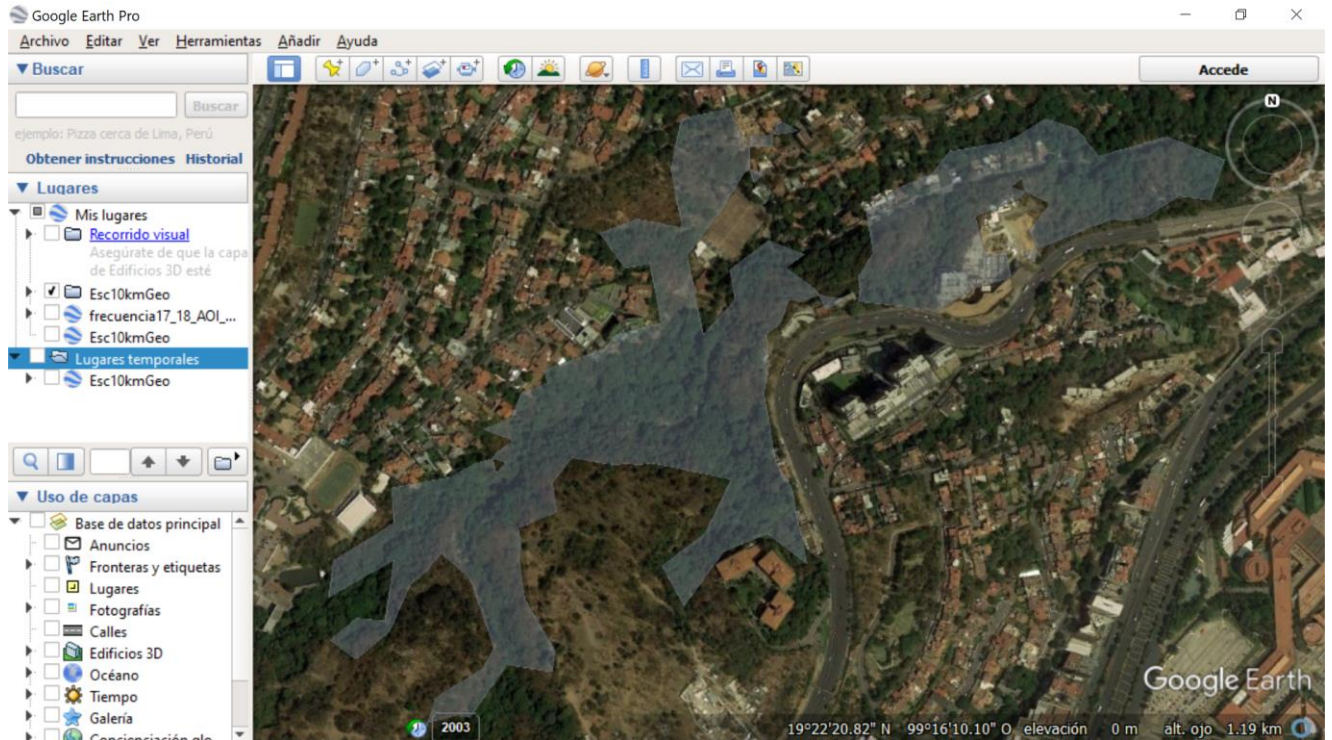
La capa resultante se verificó mediante imágenes de satélite de alta resolución en el sistema Google Earth. A partir de este análisis se encontró que en algunos casos las zonas prioritarias



## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Talpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

se ubicaban en campos de golf u otros equipamientos deportivos. Todas esas áreas fueron eliminadas manualmente de la capa final de zonas prioritarias.



## RESULTADOS

Se procesó el coeficiente de escurrimiento para las zonas periurbanas con influencia en las inundaciones del suelo urbano de las cuatro alcaldías seleccionadas- Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán. Las áreas periurbanas tuvieron valores del coeficiente de escurrimiento que oscilaron entre 0.06 y 0.78; lo que significa que escurre entre el 6 y 78% de la lluvia que se precipita, con superficies más extensas de niveles de escurrimiento alto en la zona sur, en alcaldías de Tlalpan y Xochimilco (ver Figura 1). La zona oriente también presenta zonas periurbanas con altos volúmenes de escurrimiento, con valores máximos de 54% de escurrimientos.

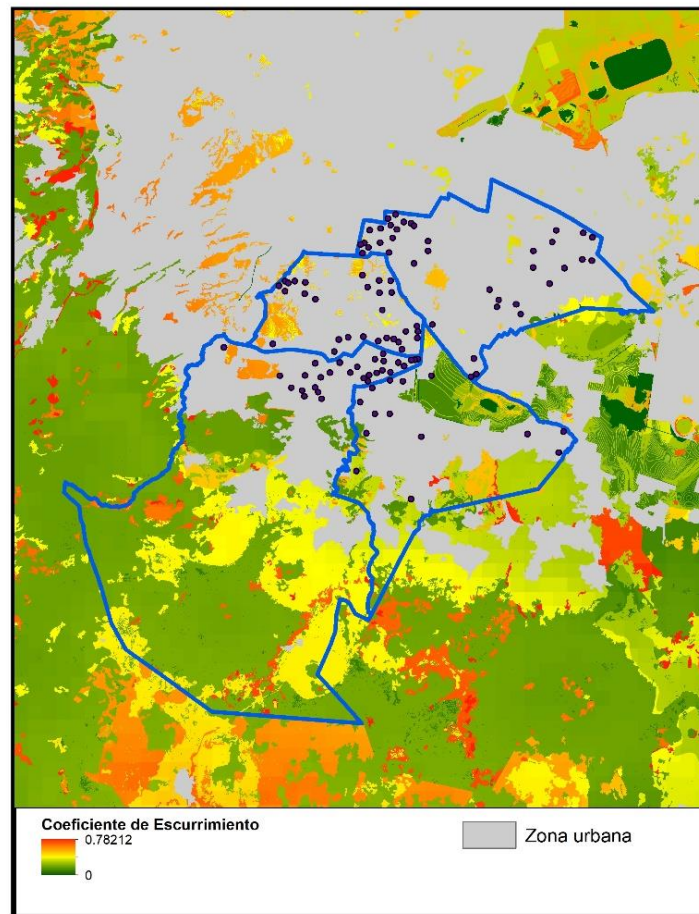


Figura 1: Coeficiente de escurrimiento anual

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

Los resultados del análisis espacial muestran los polígonos de las zonas peri-urbanas que tienen mayor potencial de reducir inundaciones en las áreas urbanas de las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán. La Figura 2 muestra el resultado del análisis con una capa de prioridades alta y muy alta para reforestación en las zonas periurbanas. En total se identificaron 1,982 polígonos con un área total de 9,810 hectáreas identificada como suelo periurbano. El tamaño de los polígonos fluctuó entre la superficie mínima de 0.14 ha y la máxima 1,440 ha, con una media de 5 hectáreas (Ver Figura 2).

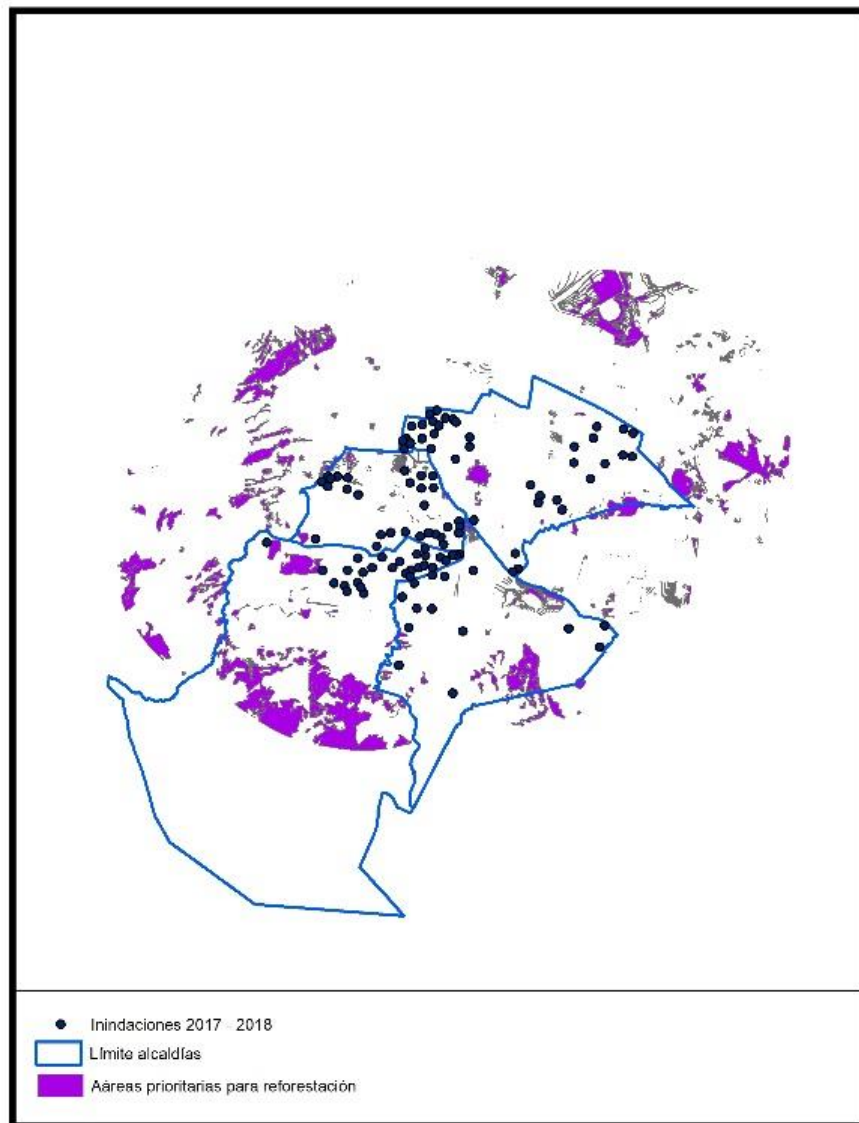


Figura 2. Áreas prioritarias para reforestación.

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

En el Anexo 1 se presentan 64 mapas con la ubicación espacial y las vías de comunicación para llegar a las zonas prioritarias. Adicionalmente los polígonos pueden observarse en el sistema Google Earth usando el archivo Prioridad.kmz incluido en la memoria USB, anexo 2. En este archivo se pueden observar imágenes como la que se muestra en la Figura 3.

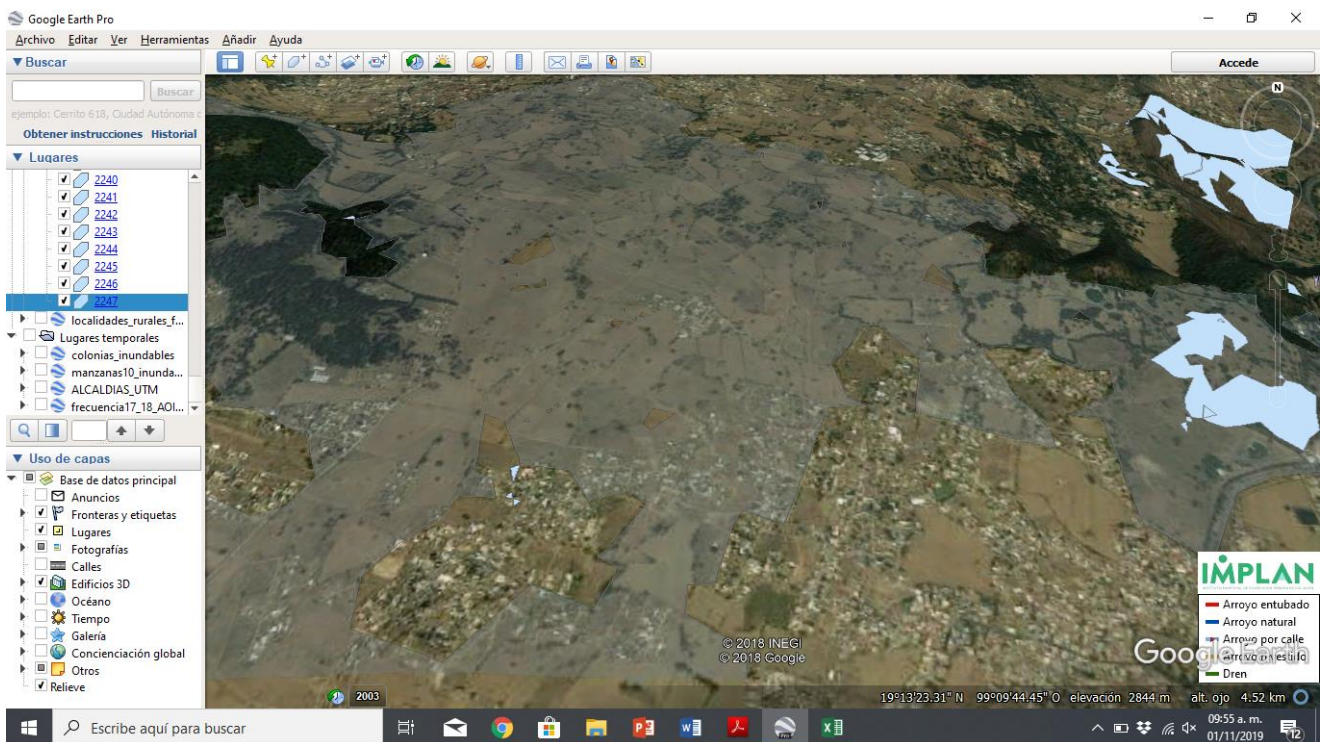


Figura 3. Imagen de una zona periurbana prioritaria para la reforestación-sistema  
Google Earth

El sistema Google Earth tiene la alternativa de visualizar lugares específicos en el sistema Google Maps (ícono en la parte superior derecha), para verificar las rutas de acceso a los diferentes sitios, como se muestra en la Figura 4.

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Talpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

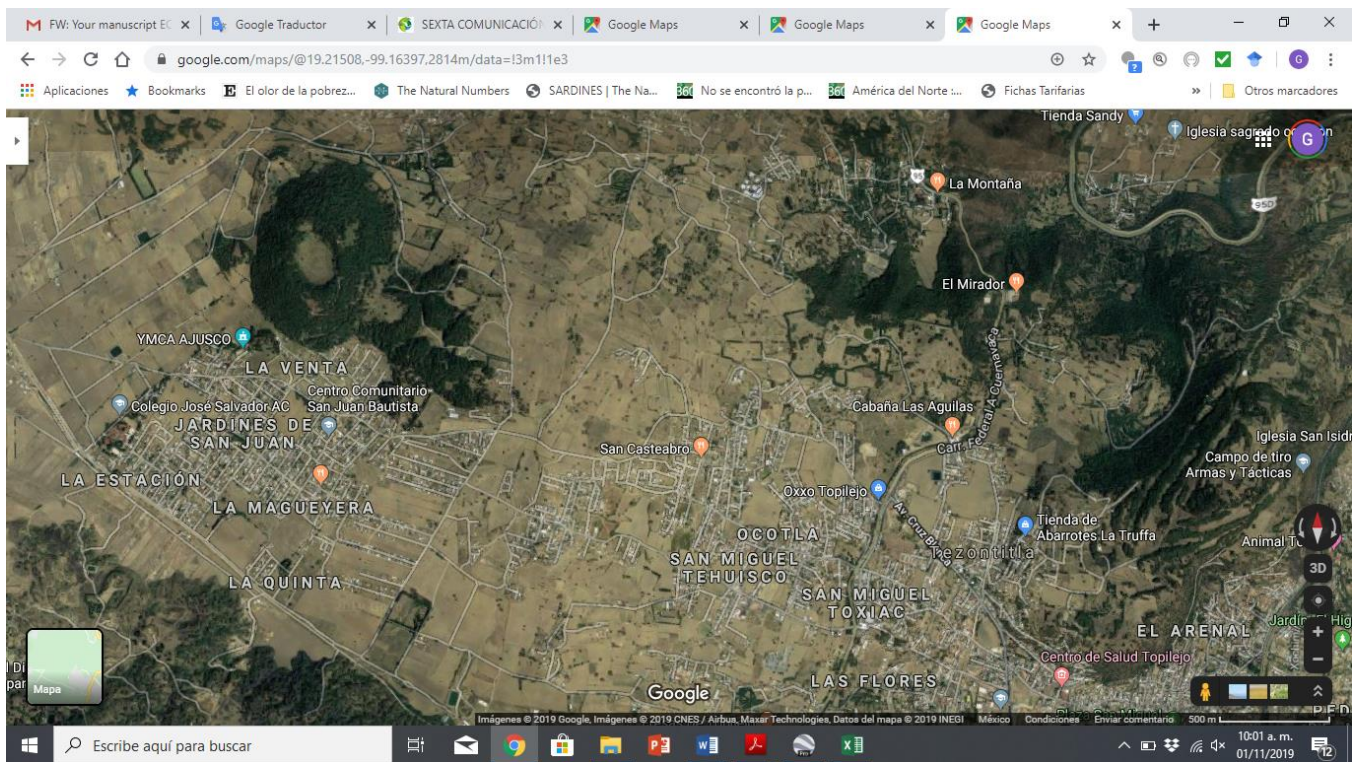


Figura 4. Imagen de una zona periurbana prioritaria para la reforestación-sistema  
Gloogle Maps

Considerando un escenario donde las zonas prioritarias a intervenir fueran reforestadas, se calculó una reducción promedio en la lámina de escorrentía de 139 mm anuales una vez que estas zonas puedan ser consideradas como boscosas, es decir por cada hectárea reforestada se tendría una reducción en la escorrentía de 1,390 m<sup>3</sup> anuales (un millón trescientos noventa mil litros). Es decir, el cálculo de la reducción en volumen de agua de escorrentía dependerá del área que realmente se llegue a reforestar, así como de las características específicas de la zona que se reforeste.

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

Se encontraron 101 localidades rurales que están cercanas a los polígonos prioritarios, ubicadas en seis alcaldías de la Ciudad de México y un municipio del Estado de México. La mayor cantidad de localidades se ubica en Tlalpan (71), seguido por Milpa Alta (11), Magdalena Contreras (8), Xochimilco (7), Tláhuac (2) y Cuajimalpa y el municipio de La Paz (Edomex) (1).

La Tabla 1 presenta las características sociodemográficas de las localidades rurales periurbanas, se registran 6,933 habitantes y 1668 viviendas, la mayoría de estas viviendas se encuentran en Tlalpan y Milpa Alta. Una pequeña proporción de habitantes hablan alguna lengua indígena, 329 personas, que equivalen al 4.7% del total de la población de dichas localidades rurales.

**Tabla 1. Información sociodemográfica de localidades rurales en zonas periurbanas**

	Núm. localidades rurales	Población total	Población que habla alguna lengua indígena	Grado promedio de escolaridad	Población sin derechohabencia a servicios salud	Viviendas particulares habitadas	Viviendas que no disponen de luz eléctrica	Viviendas que no disponen de agua entubada	Viviendas que no disponen de drenaje
Cuajimalpa de Morelos	1	518	23	7.36	222	115	4	108	5
Magdalena Contreras	8	615	16	7.61	265	141	5	114	5
La Paz	1	429	39	7.16	214	107	9	102	3
Milpa Alta	11	1589	78	8.06	589	382	2	206	1
Tláhuac	2	47	3	7.53	33	11	0	4	1
Tlalpan	71	3232	139	8.68	1648	797	40	660	73
Xochimilco	7	503	31	7.34	231	115	6	110	20
Total	101	6933	329	7.68	3202	1668	66	1304	108

Existen algunos indicadores que muestran marginación social, ya que menos de la mitad de los habitantes son derechohabientes de servicios de salud, mientras que 1,304 viviendas no

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

tienen agua entubada en la vivienda y 108 no disponen de drenaje. En la base de datos (indicadores loc rurales- Anexo 3) aparece los datos específicos para cada una de las localidades rurales y a través del archivo (localidades rurales\_final.kmz- Anexo 4) es posible ubicar geográficamente a cada una.

La Tabla 2 presenta estadísticas descriptivas para las colonias urbanas, que según la información que proporcionó el Sistema de Aguas y la Secretaría de Finanzas de la Ciudad de México, registraron eventos de inundaciones en 2017 y 2018. Se puede observar indicadores socio-demográficos (archivo Indicadores zonas inundables- Anexo 5). Se tuvieron registros de 110 colonias inundadas, la mayoría de las colonias se encuentran en Iztapalapa (38 colonias), seguido por Tlalpan y Coyoacán (29 colonias cada una) y Xochimilco (14 colonias). En las colonias afectadas se registran 172,305 viviendas, la mayoría en Iztapalapa y Tlalpan.

**Tabla 2. Información sociodemográfica de colonias inundadas durante 2017 y 2018**

Alcaldía	Número colonias inundadas	Población total	Promedio densidad poblacional	Total de Viviendas	Promedio de la frecuencia inundaciones	Moda del Grado de Marginación	Personas afectadas con grado de marginación alto por AGEB
IZTAPALAPA	38	266,018	341	76,737	1.3	Medio	45,547
TLALPAN	29	84,222	151	28,058	1.6	Muy bajo	0
XOCHIMILCO	14	94,568	113	26,701	1.9	Medio	22,230
COYOACAN	29	128,810	193	40,809	2.0	Muy bajo	0
Total general	110	573,618	223	172,305	1.7		67,777

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

El número de veces que estas colonias se inundaron durante estos dos años varia, la mayoría se inundó una vez o dos veces, aunque en un caso se presentaron seis eventos. De manera que la frecuencia de inundaciones está entre 1.3 y 2 veces en promedio. En estas colonias habitan 573,618 personas, la mayoría se concentran en Iztapalapa con 266,018 personas y en Coyoacán con 128,810 personas; además estas mismas alcaldías presentan el mayor promedio de densidad demográfica, con 341 personas por km<sup>2</sup> en Iztapalapa y 193 personas por km<sup>2</sup> en Coyoacán.

Las estadísticas descriptivas resaltan que la marginalidad social fue mayor en las colonias ubicadas en la alcaldía Iztapalapa y Xochimilco, lo que puede aumentar la vulnerabilidad de los habitantes urbanos a los peligros y eleva el valor que seguro de los ecosistemas periurbanos de la zona oriente y del suelo periurbano de Xochimilco (ver Anexo 1). En el archivo colonias\_inundables.kmz (Anexo 6) se pueden ubicar espacialmente las colonias que presentaron eventos de inundaciones.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis sobre inundaciones urbanas en las cuatro alcaldías estudiadas- Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán - demostró que algunas zonas periurbanas presentan altos valores de esorrentía, lo que indica un deterioro en el servicio de regulación de los escurrimientos de agua. Los flujos de agua hacia las zonas urbanas bajas contribuyen a que en estas alcaldías se hayan presentado múltiples eventos de inundaciones, algunos con altos costos.

El marco conceptual que presentamos se fundamenta en el valor de aseguramiento o de protección que proveen los recursos naturales de las áreas periurbanas, a partir de estudios especializados que han recomendado evaluar la relación espacial entre las áreas que proveen el servicio ecosistémico de regulación de escurrimientos y las áreas que se benefician. El mapeo del flujo de los servicios del ecosistema muestra 1,982 polígonos con un área total de 9,810 hectáreas que en principio pueden recibir intervenciones a través de acciones de reforestación para restaurar el servicio ecosistémico de regulación de escurrimientos hacia zonas bajas.

Un paso fundamental para las actividades de reforestación es el contacto con las personas o comunidades que poseen los espacios susceptibles a ser intervenidos. Como se podrá verificar en los mapas algunos están dentro de espacios urbanos y otros en zonas semirurales. Las imágenes muestran que en algunos de estos polígonos existen terrenos agrícolas, pero está demostrado que la productividad de muchas de estas tierras es baja (Muñoz et al., 2008). Al tener ubicadas a 101 localidad rurales que están cercanas a los polígonos que requieren intervenciones se facilita el trabajo para ubicar a los actores

relevantes. Las comunidades rurales que administran estas áreas tienen la oportunidad de beneficiarse de una mayor atención sobre la importancia de sus territorios. Muchas de estas zonas periurbanas son ejidos que han recibido poca atención en las políticas públicas, pero pueden convertirse en centros reconocidos de servicios ecosistémicos, incluso con valor monetario (Lamarque et al. 2011).

El trabajo para desarrollar o mejorar la gestión comunitaria de los ecosistemas periurbanos prioritarios puede llevar a la restauración y la conservación de manera que también mejore el bienestar local. En este nivel local, es importante considerar el conocimiento tradicional de las comunidades, pues las intervenciones pueden tener mayor probabilidad de éxito cuando se comprende la percepción de las comunidades sobre la manera como ellos piensan que pueden modificar sus prácticas tradicionales, así como los beneficios que les interesa obtener. Los incentivos actuales para que las comunidades locales administren sus tierras se centran en la provisión de aquellos servicios ecosistémicos de importancia para ellos y no necesariamente en servicios de importancia para otras comunidades.

El interés en restaurar el servicio ecosistémico de regulación de escurrimientos en ciertas zonas pueda detonar alianzas. Zurich ha buscado activamente vínculos con actores en múltiples sectores que comparten este interés, y el estudio provee información valiosa para reducir las vulnerabilidades de las personas asentadas en las cuatro alcaldías estudiadas, además de la posibilidad de trabajar con comunidades periurbanas que proveen servicios ecosistémicos importantes para la ciudad. Se contribuye así con información valiosa para la construcción de resiliencia y formar familias y una ciudad más segura. El papel de las alianzas multisectoriales para fortalecer la resiliencia de las comunidades ante las inundaciones puede llevar a nuevos instrumentos de políticas en torno a la provisión de servicios ecosistémicos (IPBES, 2018). Diferentes actores pueden tener ahora información

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

para proceder, a través de inversiones a restaurar los ecosistemas naturales que aumentan la protección natural y evitar los costos sociales.

El estudio parte de un enfoque basado en ecosistemas, que busca proporcionar nueva información a las autoridades ambientales, así como a aquellas a cargo de la gestión del agua y de riesgos sobre el riesgo de inundación. La pérdida, fragmentación o degradación de hábitats en ciertas áreas periurbanas tiene consecuencias negativas para las inundaciones urbanas que se benefician de los servicios de estos ecosistemas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa. México.
- Bagstad, K. J., Johnson, G. W., Voigt, B., & Villa, F. (2013). Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantifying actual services. *Ecosystem Services*, 4, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.012>
- Baumgärtner, S. (2008). The Insurance Value of biodiversity in the Provision of Ecosystem Services. *Natural Resource Modeling*, 20(1), 87–127. <https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2007.tb00202.x>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal ) (2015). Inventario Nacional Forestal y de Suelo (INFYS) 2013-2014, Colección de 32 tomos. México, Obtenido de <https://www.conafor.gob.mx/transparencia/t-map-inventario.html>.
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488–494. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2)
- EM-DAT (2018) - The OFDA/CRED - International Disaster Database <http://www.emdat.be> - Université catholique de Louvain Brussels - Belgium
- Gökbülak, F., K. Şengönül, Y. Serengil, I. Yurtseven, S. ÖzhanHikmet, H.K. Cigizoglu, B. Uygur. (2015). Comparison of Rainfall-Runoff Relationship Modeling using Different Methods in a Forested Watershed. *Water Resources Management* 29:4229-4239.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México.

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2013). Continuo de Elevaciones Mexicanos. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2004). Conjunto de datos Edafológicos alfanuméricos. Escala 1:250 000. Serie I (Continuo Nacional). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266691>

IPBES (2018): Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. J. Rice, C.S. Seixas, M.E. Zaccagnini, M. BedoyaGaitán, N. Valderrama, C.B. Anderson, M.T.K. Arroyo, M. Bustamante, J. Cavender-Bares, A. Diaz-de-Leon, S. Fennessy, J. R. García Márquez, K. Garcia, E.H. Helmer, B. Herrera, B. Klatt, J.P. Ometo, V. Rodríguez Osuna, F.R. Scarano, S. Schill and J. S. Farinaci (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 41 pages.

Johnson G, Bagstad K, Snapp R, Villa F. (2010). Service path attribution networks (SPANs): Spatially quantifying the flow of ecosystem services from landscapes to people. In: Taniar D, Gervasi O, Murgante B, Pardede E, Apduhan B, editors. Computational science and its applications – ICCSA 2010, vol 6016. Lecture notes in computer science. Berlin / Heidelberg: Springer, pp 238-253. DOI: 10.1007/978-3-642-12156-2\_18

Kaul, I. (2012). Global public goods: Explaining their underprovision. *Journal of International Economic Law*, 15(3): 729-750.

Kellet, J., Way, M. (2018). Reefs for resilience: Insuring our shared natural capital. United Nations Development Programme Blog posted on June 6, 2018. <http://www.undp.org/content/undp/en/home/blog/2018/Reefs-for-resilience-Insuring-our-shared-natural-capital.html>

- Lamarque, P., Tappeiner, U., Turner, C., Steinbacher, M., Bardgett, R. D., Szukics, U., ... Lavorel, S. (2011). Stakeholder perceptions of grassland ecosystem services in relation to knowledge on soil fertility and biodiversity. *Regional Environmental Change*, 11(4), 791–804. <https://doi.org/10.1007/s10113-011-0214-0>
- Mc Cuen, R. 1998. Hydrologic Analysis and Design. Prentice-Hall, Inc. EUA.
- McGregor, D. F. M., Simon, D., & Thompson, D. A. (Eds.). (2006). The peri-urban interface: approaches to sustainable natural and human resource use. London ; Sterling, VA: Earthscan.
- Morton, J.F., W. Solecki, P. Dasgupta, D. Dodman, and M.G. Rivera-Ferre, (2014): Cross-chapter box on urban–rural interactions—context for climate change vulnerability, impacts, and adaptation. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., et al (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 153-155
- Mueller, J. M., W. Swaffar, E. A. Nielsen, A. E. Springer, and S. M. Lopez (2013), Estimating the value of watershed services following forest restoration, *Water Resour. Res.*, 49, 1773–1781, doi:10.1002/wrcr.20163.
- Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J. M., & Braña, J. (2008). Paying for the hydrological services of Mexico’s forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological Economics*, 65(4), 725–736. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.031>
- Musa, J.J., J.K. Adewumi, J. Ohu. (2013). Comparing developed runoff coefficients for some selected soils of Gidan Kwano with exiting values. *International Journal of Basic and Applied Science* 1: 473-481.

## Informe final

Determinación de las zonas periurbanas prioritarias para prevenir las inundaciones en las alcaldías de Iztapalapa, Tlalpan, Xochimilco y Coyoacán de la Ciudad de México

Pisanty, I., M. Mazari, E. Ezcurra et al. (2009). El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas, in Capital natural de México, Vol. ii: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 719-759

Quaas, M. F., Baumgärtner, S. (2008). Natural vs. financial insurance in the management of public-good ecosystems. *Ecological Economics*, 65(2), 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.004>

Soto-Montes, G., and M. Herrera-Pantoja (2016), “Implications of Climate Change on Water Resource Management in Megacities in Developing Countries: Mexico City Case Study”. *Environmental Management and Sustainable Development*, Vol. 5, No. 1, ISSN 2164-7682, doi.10.5296/emsd.v5il.8807.

Soto-Montes-de-Oca, G., Alfie-Cohen, M. (2019). Impact of climate change in Mexican peri-urban areas with risk of drought. *Journal of Arid Environments*, 162, 74-88. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.10.006>

Soto-Montes-de-Oca, G., Bark, R., González, S. (2020 in press). Incorporating the insurance value of peri-urban ecosystem services into natural hazard policies and insurance products: Insights from Mexico. *Ecological Economics*. Forthcoming.

UNAM (Universidad Autónoma de México) (2014). Atlas Climático Digital de México  
Obtenido de <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>

World Economic Forum (2019). The Global Risk Report, 14<sup>th</sup> edition. World Economic Forum, Zurich.

## LISTADO DE ANEXOS ELECTRÓNICOS

Anexo 1: Documento Word con 64 mapas con la ubicación espacial y las vías de comunicación para llegar a las zonas prioritarias

Anexo 2: Archivo Prioridad.kmz con los polígonos prioritarios para reforestación para observarse en el sistema Google Earth

Anexo 3: Base de datos Excel con indicadores de para cada una de las localidades rurales que se ubican cerca de los polígonos prioritarios

Anexo 4. Archivo Localidades rurales\_final.kmz con la ubicación de las localidades rurales que se ubican cerca de los polígonos prioritarios.

Anexo 5. Base de datos Excel con indicadores de las colonias que sufrieron inundaciones severas durante 2017-2018

Anexo 6. Archivo Colonias\_inundables.kmz con la ubicación espacial de las colonias que presentaron eventos de inundaciones.