Estudio de impacto ambiental de los asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación de la Alcaldía de Milpa Alta

(Reporte preliminar)

Caracterización socioambiental e ilustración de evaluación de impactos

Centro Transdisciplinar Universitario para la Sustentabilidad (CENTRUS)

Universidad Iberoamericana Ciudad de México, julio 17 de 2020

RESUMEN

El presente informe de avances del "Estudio de impacto ambiental de los asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación de la Alcaldía de Milpa Alta", incluye la caracterización socioambiental y la ilustración de la evaluación de impactos de acuerdo con la metodología planteada en el primer informe y los avances del censo de predios y viviendas que se plantea en el marco del proyecto. Para la definición del área de estudio y su área de influencia, se distinguen diferentes definiciones territoriales que implican el uso de unidades espaciales predefinidas o áreas administrativas, que permitieran integrar datos espaciales de diversas fuentes para calcular el impacto socioambiental de los AHI de Milpa Alta, tanto en el ámbito de la problemática urbana y ambiental de la ciudad, como en el contexto de ocurrencia territorial de los mismos. Así, mientras las características geográficas, ambientales y de uso de suelo y vegetación del área de influencia en general y de la alcaldía de Milpa Alta en particular, la definen como una zona estratégica para la sostenibilidad de la Ciudad de México por la serie de bienes y servicios ecosistémicos en que se traducen en beneficios para sus habitantes; el área de estudio permite comprender el proceso de urbanización rural en el que se contextualiza la evaluación del impacto socioambiental de los AHI de Milpa Alta.

La evaluación de impactos se desarrolla de acuerdo con la metodología propuesta en la Guía Línea de Base Ambiental (SEMARNAT, 2017), a partir de una adaptación de la obra de Gómez-Orea y Gómez-Villarino (2013). Se trata de una aproximación metodológica que permite la valoración de impactos que resultaron con una afectación significativa por alguna obra o actividad desarrollada en el pasado mediante la construcción de índices de incidencia que aproximan la cuantificación de los impactos, a partir de una primera propuesta de factores y subfactores seleccionados para describir la situación socioambiental relacionada con las posibles afectaciones originadas por la presencia de AHI en su entorno.

Los factores y subfactores propuestos fueron agrupados en tres subsistemas: físico biológico o natural, socioeconómico y político-institucional. Dentro del subsistema físico natural, destacan los referentes a servicios ecosistémicos asociados a la aptitud de infiltración y captura de carbono, riesgo por eventos de precipitación intensa, pendiente, áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad y fragilidad ecológica. Para evaluar factores dentro del subsistema socioeconómico, se emplearon aproximaciones a la aptitud agrícola y agroforestal, así como a la accesibilidad a las localidades de diferente tamaño poblacional. Finalmente los factores y subfactores político-institucionales corresponden a las categorías de manejo del PGOEDF, las categorías de uso del suelo del PDDU, la densidad de población (hab/km2), el porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía, el porcentaje de la población estudiando dentro del área de influencia, la proporción de viviendas con acabados externos de aplanado y pintura, el porcentaje de viviendas con servicio de luz eléctrica, y el porcentaje de viviendas habitadas por más de 20 años

Los resultados de la valoración, registro y descripción de daños ambientales presentes en el territorio del área de estudio para la evaluación de impacto ambiental de los AHI de Milpa Alta, han sido construidos a partir de datos geoespaciales recopilados de fuentes de información oficiales en este estudio, y con información obtenida en los avances del censo de predios y viviendas que se plantea en el marco de este proyecto, pero que debió suspenderse en vista de la contingencia derivada de la pandemia por CIVID-19 en la Ciudad de México; así como de los resultados del Inventario de los 127 asentamientos humanos irregulares en suelo de

conservación, concluido por CentroGeo, también en el marco de este proyecto. Lo que permite ilustrar la metodología propuesta y los resultados preliminares de una evaluación de impactos mediante el índice de incidencia para los AHI de los poblados de San Francisco Tecoxpa, San Jerónimo Miacatlán, San Juan Tepenáhuac, San Lorenzo Tlacoyucan y Santa Ana Tlacotenco.

El índice de incidencia obtenido, hacen referencia a la severidad y forma de la alteración de los impactos de los AHÍ a su entorno a partir de una serie de atributos de tipo cualitativo que caracterizan dicha alteración. Así el índice de incidencia varia de 0 a 1 a partir de los atributos que lo describen. Es decir, un impacto cuyos atributos se manifiestan en la forma más favorable, se le atribuirá un índice de incidencia próximo a 0; por el contrario, un impacto intenso, permanente, irreversible, irrecuperable, acumulativo, sinérgico, extenso y que produce sus efectos de forma inmediata, tendrá un índice de incidencia próximo a 1. Mientras que atributos de carácter intermedio, determinarán valoraciones intermedias.

Con ello, los daños ambientales observados en los AHI hasta ahora evaluados fueron jerarquizados y muestran índices de incidencia con valores de 0.3007 para San Jerónimo Miacatlán, 0.3105 para San Francisco Tecoxpa, 0.3366 para San Juan Tepenáhuac, 0.3824 para San Lorenzo Tlacoyucan y de 0.4248 para Santa Ana Tlacotenco. Por lo que a partir de llos resultados ilustrados, únicamente los AHI de los últimos dos poblados serian clasificados con afectaciones moderadamente relevantes, en cuyo caso las afectaciones observadas corresponden a factores de tipo ambiental y productivo (principalmente agrícola) con implicaciones en los factores de ordenamiento territorial y característica de las viviendas, principalmente relacionadas con la formalización de servicios básicos en las viviendas. Finalmente, mientras se reinician las actividades que permitan la conclusión del censo de predios y viviendas para recalcular los resultados hasta ahora obtenidos y concluir con el resto de la evaluación, se realizará en las siguientes semanas un taller con expertos académicos para validar y en todo caso completar el listado e insumos de factores y subfactores empelados para la evaluación ambiental de los asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación de la Alcaldía de Milpa Alta; además de la realización de recorridos de campo para su validación.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del impacto ambiental (EIA) es un instrumento indispensable para la toma de decisiones (Weston, 2000; Morgan, 2012; Bond *et al*., 2012). Así, la EIA contribuye a interpretar y evaluar los cambios y facilitar la comunicación sobre la situación ambiental en términos comprensibles y sistematizados para la sociedad en general y para los tomadores de decisiones (Wood, 2003; André *et al*., 2004; Nooteboom, 2007; Perevochtchikova y Negrete, 2013). Para ello, es indispensable que en el procedimiento de EIA se pueda integrar y sintetizar el alto volumen de información sobre múltiples características socioambientales para que se pueda transformar en un modelo empírico de la realidad que permita la toma de decisiones adecuada, eficaz y viable para disminuir el deterioro socio-ecológico actual.

El presente informe de avances desarrolla la caracterización socioambiental y la evaluación de impactos de los asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación de la Alcaldía de Milpa Alta, en la que se integran una aproximación metodológica que permite la valoración de impactos y múltiples fuentes de información geoespacial y censal. El informe está organizado en 5 grandes secciones. La introducción que enmarca la importancia de la caracterización socioambiental en la evaluación de impactos, así como la presentación de la estructura del documento. La sección de generalidades en donde se incluyen algunos aspectos legales que enmarcan la legislación ambiental y de planeación urbana con relación a los asentamientos humanos irregulares; así como un apartado en el que se describe el contexto general de los asentamientos humanos irregulares de Milpa alta. A continuación, la sección sobre la caracterización del contexto socioambiental introduce la definición del área de estudio y área de influencia del proyecto. A partir de ello, se presenta la caracterización socioambiental de Milpa Alta, tanto a nivel de contexto general para el área de influencia, como de contexto específico para el área de estudio. Mientras las características geográficas, ambientales y de uso de suelo y vegetación presentadas, describen el área de influencia como una zona estratégica para la sostenibilidad de la Ciudad de México por los servicios ecosistémicos que aportan a la ciudad; la caracterización del área de estudio permite

comprender el proceso de urbanización rural en el que se encuentran los AHI de Milpa Alta sujetos a la evaluación de impacto ambiental.

La sección sobre la evaluación de impactos aborda la valoración, el registro y la descripción de los daños ambientales presentes en el territorio de los AHI de milpa alta, a partir de la identificación de los factores del medio susceptibles de recibir impactos, donde dichos factores son entendidos como los elementos, cualidades y procesos del entorno afectados por la presencia de los AHI de cada uno de los poblados evaluados dentro del área de estudio. La propuesta metodológica implementada en esta sección permite la evaluación cualitativa y cuantitativa de los impactos socioambientales, la valorización de estos, la descripción de todos los impactos identificados según los factores y sus atributos identificados como relevantes. De esta manera los resultados obtenidos en esta sección a partir de la estimación de índices de incendia, son empleados para la jerarquización de los impactos de los AHI de cada uno de los poblados evaluados hasta este momento.

Finalmente, la sección de conclusiones resume el trabajo hasta ahora realizado y describe la estrategia a seguir y los siguientes pasos una vez que sea completado el censo de predios y viviendas en los sentamientos humanos irregulares de Milpa Alta, asociado al Inventario de AHI del CentroGeo (2000).

GENERALIDADES

Algunos aspectos legales

Para poder enmarcar la legislación ambiental y la planeación urbana con relación a los asentamientos humanos irregulares, es necesario tomar en consideración las disposiciones y concurrencias normativas existentes entre la Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) y la Ley de Vivienda de la CDMX, así como los criterios y disposiciones de la Suprema Corte de Justicia sobre los asentamientos humanos de conformidad con los principios que refieren al derecho

humano a un medio ambiente sano, para prevenir la consolidación de dichos asentamientos o proceder a una solución por su establecimiento.

En primer lugar la LGEEPA, reconoce al Ordenamiento Ecológico del Territorio como un instrumento para materializar los principios de la Política Ambiental, en este sentido, la fracción III del artículo 19, establece que para su formulación se deberá considerar como criterio "Los desequilibrios existentes en los ecosistemas por efecto de los asentamientos humanos, de las actividades económicas o de otras actividades humanas o fenómenos naturales", por otro lado, la fracción IV afirma que debe garantizarse "El equilibrio entre los asentamientos humanos y sus condiciones ambientales".

Por otro lado, la fracción II del Artículo 24 de la LGAH, establece que la estrategia territorial del país deberá "Plantear medidas para el desarrollo sustentable de las regiones del país, en función de sus recursos naturales, de sus actividades productivas y del equilibrio entre los Asentamientos Humanos y sus condiciones ambientales".

En este sentido, se pone de manifestó la necesidad de fortalecer los alcances del desarrollo sostenible como materialización efectiva del derecho ambiental, con el objetivo de garantizar la regulación de las actividades antropogénicas, gracias al principio *in dubio pro natura.*

Por su parte, el fundamento jurídico referente a la legislación ambiental y de planeación urbana con relación a los asentamientos humanos irregulares, lo podemos ubicar en la Sección IV de la LGEEPA referente a la "Regulación Ambiental de los Asentamientos Humanos", particularmente en las disposiciones de las fracciones I, III, V y VI del Artículo 23 en donde se reconoce que "Para contribuir al logro de los objetivos de la política ambiental, la planeación del desarrollo urbano y la vivienda, además de cumplir con lo dispuesto en el Artículo 27 constitucional en materia de asentamientos humanos, considerará los siguientes criterios: I.- Los planes o programas de desarrollo urbano deberán tomar en cuenta los lineamientos y estrategias contenidas en los programas de ordenamiento ecológico del territorio;… III.- En la

determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población, se fomentará la mezcla de los usos habitacionales con los productivos que no representen riesgos o daños a la salud de la población y se evitará que se afecten áreas con alto valor ambiental;… V.- Se establecerán y manejarán en forma prioritaria las áreas de conservación ecológica en torno a los asentamientos humanos; VI.- Las autoridades de la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, en la esfera de su competencia, promoverán la utilización de instrumentos económicos, fiscales y financieros de política urbana y ambiental, para inducir conductas compatibles con la protección y restauración del medio ambiente y con un desarrollo urbano sustentable".

Lo anterior, se fortalece gracias a las disposiciones del Artículo 45 de la LGAH, en el cual, se reconoce que "Los planes y programas de Desarrollo Urbano deberán considerar los ordenamientos ecológicos y los criterios generales de regulación ecológica de los Asentamientos Humanos establecidos en el artículo 23 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y en las normas oficiales mexicanas en materia ecológica".

Por otro lado, la LGAH, reconoce las atribuciones de las entidades federativas (Art. 10. Fr. XI) y municipios (Art.11 Fr. XVI) de "Intervenir en la prevención, control y solución de los asentamientos humanos irregulares, en los términos de la legislación aplicable y de conformidad con los programas de Desarrollo Urbano, de conurbaciones y zonas metropolitanas incluyendo el enfoque de género y el marco de los derechos humanos".

Asimismo, el TÍTULO QUINTO de la Ley General de Asentamientos Humanos referente a "LAS REGULACIONES DE LA PROPIEDAD EN LOS CENTROS DE POBLACIÓN" establece a través de las disposiciones del Artículo 50 que "La fundación de Centros de Población deberá realizarse en tierras susceptibles para el aprovechamiento urbano, evaluando su impacto ambiental y respetando primordialmente las áreas naturales protegidas, el patrón de Asentamiento Humano rural y las comunidades indígenas".

Finalmente la Fracción III del Artículo 77 de la LGAH, establece que "La Federación, las entidades federativas, los municipios y las Demarcaciones Territoriales llevarán a cabo acciones coordinadas en materia de Reservas territoriales para el Desarrollo Urbano y la vivienda, con objeto de:…Reducir y abatir los procesos de ocupación irregular de áreas y predios, mediante la oferta de suelo con infraestructura y servicios, terminados o progresivos, que atienda preferentemente, las necesidades de los grupos de bajos ingresos"

Para abordar el análisis de la legislación ambiental en México es necesario comenzar por las disposiciones contempladas en el marco constitucional, en donde podemos señalar el Artículo 2°, Apartado A, fracciones V y VII. Derecho fundamental a desarrollo sustentable; Derecho fundamental al ambiente adecuado; el Artículo 4°, Párrafo V. Derecho fundamental a la salud; Derecho fundamental al ambiente adecuado; el Artículo 25, Economía del uso de los recursos naturales y protección al medio ambiente. Derecho fundamental al desarrollo sustentable; el Artículo 27°. Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Protección y conservación de los elementos naturales. Preservación del equilibrio ambiental. Derecho Fundamental al medio ambiente adecuado; el Artículo 73. Facultad para legislar estableciendo la concurrencia entre los tres niveles de gobierno en materia ambiental. Facultades al Congreso de Salubridad en materia de salud y prevención y combate a la contaminación ambiental; el Artículo. 115. Fracción III; y el Artículo 122. Competencia de los poderes locales de CDMX en materia ambiental. Posteriormente señalar los alcances de la LGEEPA y la Ley Federal de Responsabilidad Ambientad, así como de las distintas leyes sectoriales que regulan ciertos aspectos del ambiente como la Ley General de Cambio Climático, y finalmente las leyes que han sido expedidas sin propósitos ambientales expresos, pero que se contemplan dentro de sus alcances (Código Civil, Código Penal, etc.).

Por otro lado, entre las instituciones encargadas de garantizar la protección del ambiente a nivel Federal, podemos señalar al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), cuya misión consiste en "Generar e integrar conocimiento técnico y científico e incrementar el capital humano calificado para la formulación, conducción y evaluación de políticas públicas que conlleven a la protección del medio ambiente, preservación y restauración ecológica,

crecimiento verde, así como la mitigación y adaptación al cambio climático en el país".[1] Y a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la cual, consiste en "Procurar la justicia ambiental mediante la aplicación y cumplimiento efectivo, eficiente, expedito y transparente de la legislación ambiental federal vigente a través de la atención a la denuncia popular y mediante acciones de inspección, verificación, vigilancia y uso de instrumentos voluntarios. Garantizar la protección de los recursos y el capital natural privilegiando el enfoque preventivo sobre el correctivo, así como las acciones de participación social".[2]

En materia de gobernabilidad institucional sobre los asentamientos humanos, podemos hacer referencia a La Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) cuya misión versa en contribuir al desarrollo nacional y sectorial, mediante el diseño, elaboración, instrumentación y difusión de políticas públicas y estrategias que consideren criterios de innovación, calidad de vida, sustentabilidad y certeza jurídica, a través de procesos de coordinación y concertación que garanticen y detonen el aprovechamiento de la vocación y potencial productivos del territorio, la generación de vivienda digna y decorosa, con una visión transversal y articulada con el Plan Nacional de Desarrollo y los programas sectorial, regionales, institucionales y especiales de su competencia, lo anterior encuentra una importante relevancia si tenemos en consideración que cuenta con el Programa para Regularizar Asentamientos Humanos (S213), el cual, busca que los hogares ubicados en polígonos o localidades urbanas marginadas cuenten con certeza jurídica en la tenencia de la tierra..[3]

En cuanto a las instituciones locales, en la CDMX podemos señalar a la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México y sus cinco rubros prioritarios: Calidad del aire y cambio

[1] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. En: https://www.gob.mx/inecc/que-hacemos última consulta 26/06/2020
[2] PROFEPA. En: https://www.gob.mx/profepa/que-hacemos última consulta 26/06/2020
[3] PROYECTO DE PRESUPUESTO DE EGRESOS DE LA FEDERACIÓN 2019 ESTRATEGIA PROGRAMÁTICA. En: https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF2019/docs/15/r15_ep.pdf última consulta 26/06/2020

climático, suelo de conservación y biodiversidad, infraestructura urbana verde, abastecimiento y Calidad del Agua, y Educación y comunicación ambiental.[4]

Asimismo, es necesario mencionar a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), la cual, es la dependencia encargada de diseñar, coordinar y aplicar la política urbana de la Ciudad de México que incluye orientación de su crecimiento, recuperación de espacios públicos, reactivación de zonas en desuso, protección y conservación del paisaje urbano y promoción de la construcción de vivienda social autosustentable.[5]

Por su parte, el marco legal de la planeación de los asentamientos en la ciudad de México, lo podemos encontrar en la Ley de Vivienda para la CDMX, en donde se contempla la problemática de los asentamientos humanos irregulares y pone de manifiesto la efectividad institucional para su combate y erradicación, por ejemplo la Fracción X del Artículo 12, reconoce a la SEDUVI, como la responsable de diseñar estrategias que permitan atender, integrar y desincentivar los asentamientos humanos irregulares.

Contexto general

La alcaldía de Milpa Alta representa la mayor extensión (32 %) del área de Suelo de Conservación de la Ciudad de México, fundamental para la prestación de los servicios ecosistémicos que esta área de conservación presta a la ciudad. La capacidad de infiltración, la captura de carbono y la producción de oxígeno por parte de la cubierta vegetal, la permanencia del patrimonio genético presente en la biodiversidad local, la preservación del patrimonio cultural de Milpa Alta, son algunos de los servicios que presta la región más rural de la Ciudad de México a todos sus habitantes (Bonilla, 2017; Núñez y Romero, 2016; Perevochtchikova y Colorado, 2014).

[4] Secretaría del Medio Ambiente. En: https://sedema.cdmx.gob.mx/secretaria/acerca-de última consulta 26/06/2020
[5] Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI). En https://www.seduvi.cdmx.gob.mx/secretaria/acerca-de última consulta 26/06/2020

La actual Milpa Alta forma parte de la Ciudad de México y está conformada por 12 comunidades de origen precolonial. Colinda al poniente con la alcaldía Tlalpan, al Norte con Xochimilco y Tláhuac; al oriente tiene colindancia con los municipios de Chalco, Tenango del Aire y Juchitepec del Estado de México; finalmente, al sur con los municipios de Tlanepantla y Tepoztlán del Estado de Morelos. Alcaldías y municipios de tres entidades distintas, con quienes históricamente se mantienen importantes lazos de convivencia social, geográfica y ambiental. Sin embargo, en los últimos años y a pesar de su alta identidad territorial fundada alrededor de sus pueblos originarios, sobre todo en los nueve pueblos confederados de la comunidad indígena de Milpa Alta, en las últimas décadas la alcaldía ha experimentado una fuerte transformación territorial producto de su propio crecimiento y la acción desarrollada por diferentes actores sociales en distintos ámbitos.

Entre todos ellos, se destacan diversas formas sociales de propiedad y de organización social que muestran en los últimos 30 años, formas alternativas de gestión territorial, algunas de las cuales con fuerte contradicción a las normas de ordenamiento ecológico y urbano de la Ciudad de México, que en conjunto han dado como resultado un acelerado proceso de expansión urbana irregular en zonas que se localizan en suelo de conservación ecológica, en sitios considerados de alto riesgo, fuertes pendientes, laderas de cerros y barrancas destinados a actividades de aprovechamiento agroecológico; así como en zonas altas y boscosas dedicadas a la protección y conservación forestal.

Este proceso de ocupación irregular del suelo inicio en la década del 70 cuando se estable la integración de Milpa Alta al área urbana de la Ciudad de México a partir de la construcción de la carretera federal Xochimilco-Oaxtepec, que incentiva el establecimiento de nuevos asentamientos a lo largo de esta carretera y de las vialidades primarias que conectarán con los diferentes poblados, principalmente en los alrededores de San Antonio Tecómitl. Un segundo período se establece en la década del 90 cuando ya aparece visiblemente la conformación de un potencial mercado de suelo irregular para pobres que ha ido definido la formación y consolidación de los asentamientos irregulares en la alcaldía. Recientemente, se observa un patrón de urbanización irregular, extensivo y disperso caracterizado por la

precariedad de la ocupación y las construcciones localizadas cada vez a mayor distancia de los poblados, con una marcada carencia de infraestructura y servicios básicos; así como la pérdida del suelo agrícola y de conservación.

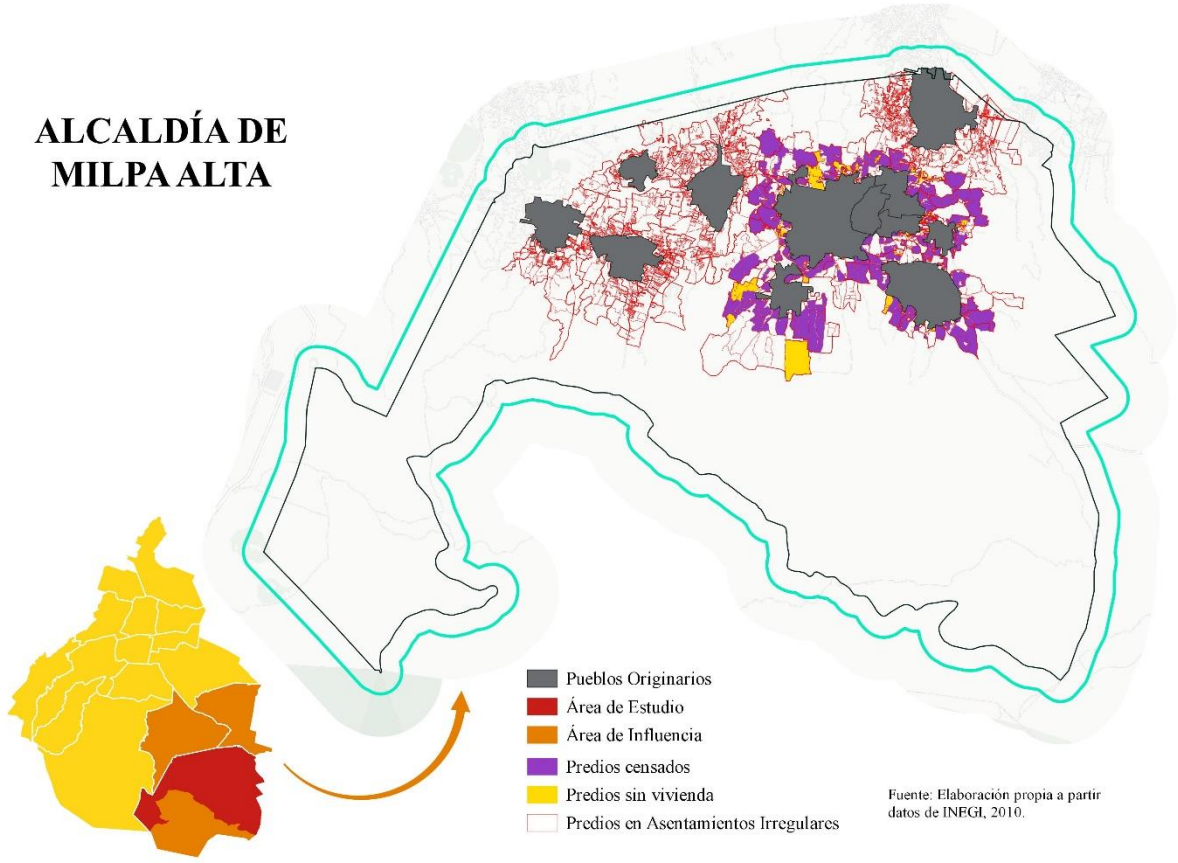
Así, la expansión del área urbana a partir de la urbanización irregular del territorio que comprende Milpa Alta ha sido evidenciada por un proceso de ocupación de asentamientos irregulares que se formaron en las décadas del 70 y 80 que ya conforman un área urbana consolidada alrededor de los cascos urbanos, esto es acceso a los servicios urbanos por red, caminos de penetración pavimentados, vialidades con banqueta y guarnición; así como la conformación de asentamientos irregulares de reciente creación a partir de la década del 90 y que ocupan de forma dispersa el área de uso agrícola y forestal, poseen las condiciones de vida más precarias sin acceso a los servicios urbanos (agua por pipa o toma clandestina, drenaje por letrinas o sumideros, electricidad por toma clandestina, y vialidades por camino de terrecería (Azuela y Cancino, 2011).

Hasta antes de 1990 se habían reportado 23 AHI (PAOT, 2009). De AHI en adelante, las siguientes décadas, han observado una disminución en el número de asentamientos, 47 para el 2000, 22 para el 2010 y 13 para el 2020 (PAOT, 2009; CentroGeo, 2020). Que sin embargo presionan cada vez los ecosistemas agrícolas y forestales de la alcaldía. Una presión impulsada desde las alcaldías adyacentes de Xochimilco y Tláhuac. En el 2005 la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) a través de representantes de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENA) y la administración delegacional reconocían 136 asentamientos irregulares en la delegación, de los cuales 114 están localizados de forma dispersa en el territorio de Milpa Alta y 22 se extendían fuera de sus límites hacia las alcaldías de Xochimilco y 1 con Tláhuac (Núñez, 2015; Higuera-Meneses, 2012).

Esta situación en la que los límites que dividen a poblados como San Salvador Cuauhtenco, San Bartolomé Xicomulco y San Antonio Tecómitl ubicados en los límites de Milpa Alta con las alcaldías de Xochimilco y Tláhuac respectivamente, ha creado una situación de mayor

flexibilidad para la ocupación del suelo de conservación y una mayor tolerancia al daño ambiental, dada la posibilidad de evadir la autoridad administrativa local de ambas demarcaciones, por lo que el entendimiento del impacto de los AHI de Milpa Alta tiene que incluir irremediablemente su entendimiento en el ámbito de la problemática urbana y ambiental de la ciudad y en el contexto de las alcaldías de Xochimilco y Tláhuac. Actualmente y de acuerdo con los resultados del Inventario de AHI del CentroGeo (2000) y de los avances del censo de predios y viviendas que se plantea en el marco de este proyecto, se reportan 127 AHI, ubicados en 11 de los 12 pueblos de Milpa Alta, así como 3,600 predios de 58 asentamientos humanos irregulares de 7 poblados con respecto del censo (Figura 1).

Figura 1. Distribución de AHI en la alcaldía de Milpa Alta.



De acuerdo con este inventario, se puede observar una extensión de 4 200 ha de AHI, lo que representa una superficie del 14 % del total de la alcaldía. Los poblados con una mayor superficie de AHI corresponden a Villa Milpa Alta, San Pablo Oztotepc y San Pedro Atocpan que representan el 49.7 % del total de la superficie y el 48.4 % del número total de AHI en Milpa Alta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución y superficie de AHI y predios por poblado para Milpa Alta

Poblado	Número de AHI	Superficie total de AHI (Ha)	Superficie promedio de AHI (Ha)	Número de predios	Superficie total de predios (Ha)	Superficie promedio de predios (Ha)
San Antonio Tecómitl	15	553.18	36.88	1,793	493.29	0.28
San Bartolomé Xicomulco	12	138.49	11.54	399	132.38	0.33
San Francisco Tecoxpa	4	108.58	27.15	199	102.32	0.51
San Jerónimo Miacatlán	3	69.22	23.07	120	64.89	0.54
San Juan Tepenahuac	5	126.55	25.31	189	120.72	0.64
San Lorenzo Tlacoyucan	3	559.52	186.51	99	542.72	5.48
San Pablo Oztotepec	24	646.18	26.92	1,467	616.68	0.42
San Pedro Atocpan	20	583.59	29.18	1,163	548.79	0.47
San Salvador Cuauhtenco	12	290.37	24.20	632	252.76	0.40
Santa Ana Tlacotenco	12	267.72	22.31	188	257.69	1.37
Villa Milpa Alta	17	856.51	50.38	647	770.36	1.19

Fuente: Inventario de AHI de Milpa Alta (CentroGeo, 2020)

De igual manera, este inventario reporta un total de 6 896 predios con una superficie promedio de 0.57 ha. De acuerdo con la superficie de los predios y el PGOEDF vigente para la Ciudad de México, los AHI se ubican en las categorías agroecológico (75.7 %), agroforestal (17.0%), forestal de conservación (2.6 %) y forestal de protección (4.7 %). Mientras que los predios de los AHI en las categorías agroforestal y forestal de protección tienen una superficie promedio de 4.42 y 4.20 ha respectivamente, las categorías agroecológico y forestal de conservación tienen una superficie promedio de 0.47 y 0.28 ha respectivamente.

CARACTERIZACIÓN DEL CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL

Definición del área de estudio y su área de influencia

Para la definición del área de estudio y su área de influencia, distinguimos diferentes definiciones territoriales que implican el uso de unidades espaciales predefinidas o áreas administrativas, que permitieran integrar datos espaciales de diversas fuentes para calcular el impacto socioambiental de los AHI de Milpa Alta, tanto en el ámbito de la problemática urbana y ambiental de la ciudad, como en el contexto de ocurrencia territorial de los mismos.

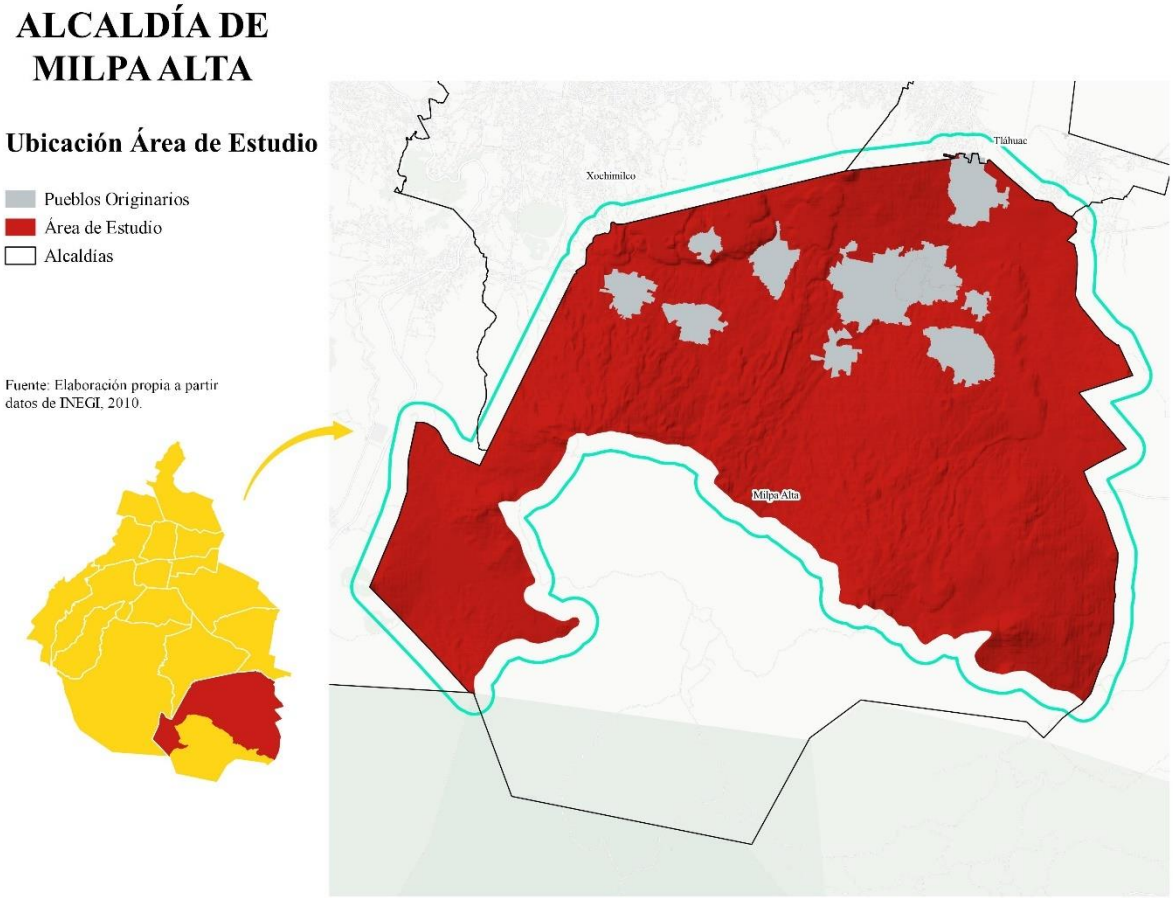
Área de estudio

El área de estudio está definida aproximadamente por el 65 % de la superficie de la alcaldía de Milpa Alta, correspondiente a la porción norte de la alcaldía que se localiza en la cuenca del Río Moctezuma, subcuenca del Lago de Texcoco Zumpango, en la cuenca del Río Grande Amacuzac. Se trata de un área de 19,432 ha que va de los 2,240 a los 3,100 msnm, donde confluye la urbanización rural de Milpa Alta caracterizada por una amplia zona agrícola alrededor de los 12 pueblos originarios, así como de grandes macizos de bosque de pino-encino y pino (Figura 2)

Se trata de una región que denota condiciones de urbanización difusa que se explica a partir de los núcleos urbanos conformados por los pueblos originarios, que en mayor o menor medida muestran condiciones de un proceso de urbanización rural, como es el caso de sede de la

alcaldía Villa Milpa Alta y sus cuatro pueblos conurbados, San Agustín Othenco, San Francisco Tecoxpa, San Jerónimo Miacatlán y San Lorenzo Tlacoyucán; así como otros que se dispersan en el espacio de la alcaldía, sobresaliendo la enorme extensión de superficie de cobertura vegetal y de actividad agrícola, agropecuaria y forestal.

Figura 2. Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta.



Este proceso de urbanización rural permite entender más allá de la dicotomía rural-urbano, cómo se relacionan y articulan condiciones exógenas del avance del proceso de urbanización en su funcionalidad económica de intercambio de mercancías, de actividades o de flujos e interacción entre la población de Milpa Alta, con las condiciones endógenas en las que las actividades rurales tienen como prioridad la sobrevivencia de esta población y que contienen

aspectos culturales, ecológicos e históricos, de relevancia (Bonilla-Rodríguez, 2014; Delgado et al., 2008)

Así, el área de estudio materializa la presencia de los asentamientos humanos irregulares como efecto más claro del avance de la urbanización rural a costa de una gran extensión de superficie de cobertura vegetal y de actividad agrícola o agropecuaria, y que se ha reproducido de poblado en poblado con mayor o menor grado de intensidad.

Área de influencia

La presente propuesta de área de influencia consiste en reemplazar el concepto de área de influencia directa e indirecta, por el de área de influencia por componente, grupos de componentes o medios potencialmente impactados por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad, en este caso, el área de influencia de los impactos de los AHI en el área de estudio definida anteriormente.

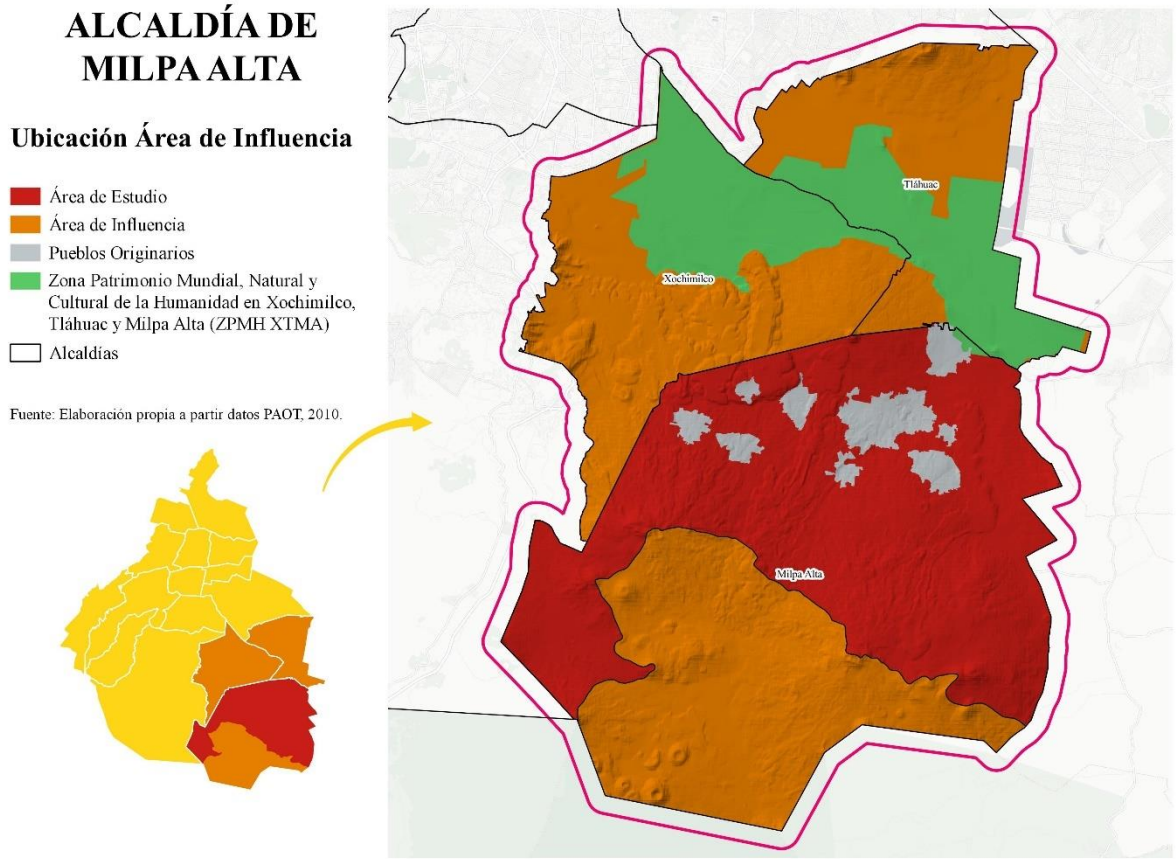
Para ello el área de influencia propuesta, abarca la totalidad de la alcaldía de Milpa Alta, así como las alcaldías de Xochimilco y Tláhuac. Lo anterior en el entendido de que varios de los AHI a evaluar comparten límites con Tláhuac y Xochimilco. El área de influencia así definida tiene una extensión de 49,782 ha, de las cuales Milpa Alta representa el 60 %, Xochimilco el 23 % y Tláhuac el restante 17 % (Figura 3).

Se trata de la región más agrícola de la ciudad, caracterizada por la Zona Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta (ZPMH XTMA), la cual ocupa una superficie de 7,590 ha y una población estimada en 250,000 habitantes. Esta zona patrimonial cuenta con condiciones de complejidad única con relación a su funcionalidad con y entre el Suelo Urbano y el Suelo de Conservación de esta región de la Ciudad de México.

Esta región es contenida en su límite al sur por un angosto cinturón de zona periurbana que la separa del resto del Suelo de Conservación más al sur, lo que ejerce una presión constante

de expansión urbana de baja consolidación y urbanización rural en condiciones de precariedad, pobreza y exclusión socioespacial que generan impactos multidimensionales y que materializan el contexto del área de estudio de la presente evaluación.

Figura 3. Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Caracterización socioambiental de Milpa Alta

Contexto general

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la caracterización del contexto regional del Medio Abiótico y el Medio Biótico. En general las características geográficas, ambientales y de uso de suelo y vegetación que se presentan, estructuran al área de influencia

en general y a la alcaldía de Milpa Alta en particular, como una zona estratégica para la sostenibilidad de la ciudad de México por la serie de bienes y servicios ecosistémicos en que se traducen para los habitantes, ya que aporta a la regulación del clima, a través del régimen de lluvias, temperatura y humedad, la captura de dióxido de carbono (CO2); el suministro de agua mediante la conservación de los ciclos hidrológicos; así como la conservación de la diversidad biológica, recreación y valor escénico, por los ecosistemas forestales, que permiten desarrollar actividades ecoturísticas como el montañismo, caminata, etc. (Núñez y Romero, 2016; Perevochtchikova y Colorado, 2014).

Relieve

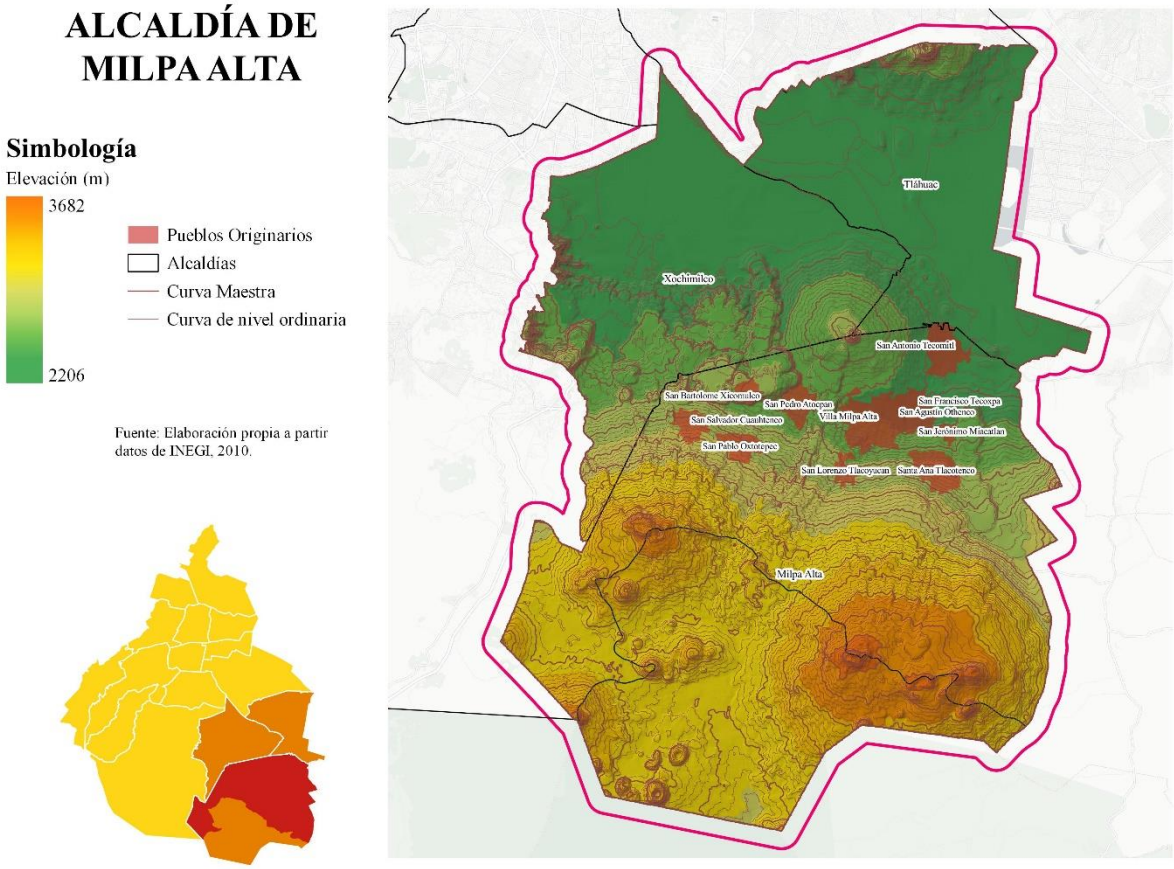
En cuanto al relieve que caracteriza el área de influencia, las mayores elevaciones del área se encuentran hacia el sur, en la zona forestal, con altitudes que oscilan entre los 2,200 y 3,700 msnm. Su elevación promedio es de 2,500 msnm y su máxima elevación se localiza en la cima del volcán Tláloc a 3,690 msnm (Figura 4).

La zona más al norte está caracterizada por el antiguo sistema lagunar de la ciudad. Este sistema se sitúa al interior de la ZPMH XTMA, la cual concentra un acervo productivo, natural y cultural, que le ha permitido ser reconocida además con dos Declaratorias Internacionales, una como Patrimonio Cultural de la Humanidad y otra como Sitio Ramsar, distinción otorgada a los lugares que contienen Humedales de Importancia Internacional. En la zona central, en donde se encuentra el área de estudio, la pendiente del terreno es del orden de 8 grados en los 12 pueblos originarios de Milpa Alta y 14 grados en las laderas de los cerros circundantes. La porción más al sur del área de influencia se enclava en la sierra del Ajusco-Chichinauhtzin con cumbres que rebasan los 3,500 mil metros sobre el nivel del mar que es la zona más alta de Milpa Alta.

Por estas características de altitud y sus suelos, esta porción del área de influencia tiene un importante papel en la recarga de los acuíferos de la planicie agrícola. Antiguamente, Milpa Alta era como Malacachtepec – Momozco; que significa "Lugar de altares rodeados de

montañas", nombrado así por la cantidad de volcanes que abundan en la región, desde el volcán Teultli cuya cubre a 2,700 msnm divide a las tres alcaldías, hasta los volcanes Tláloc, Cuauhtzin, Chichinauhtzin, Tetzcacóatl, Acopiaxco, San Bartolo y Ocusacayo, todos ellos por encima de los 3,100 msnm

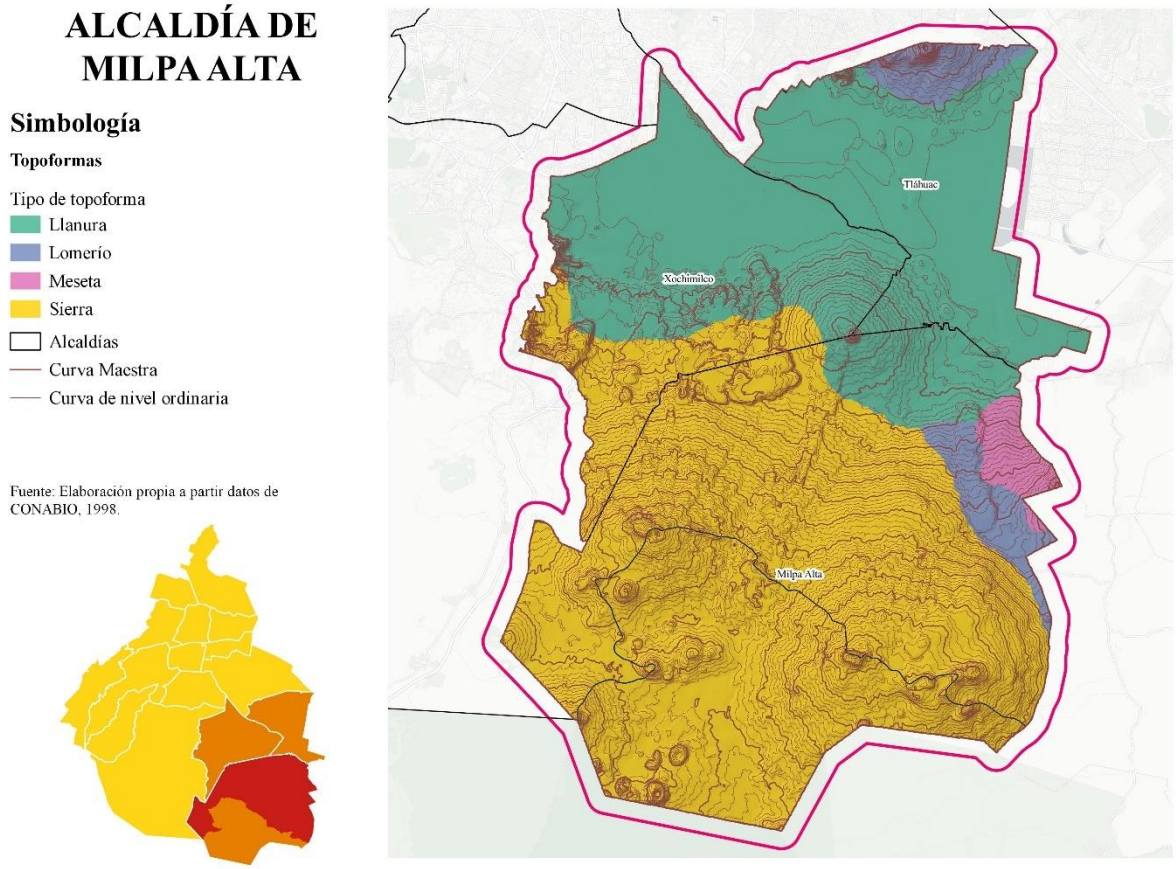
Figura 4. Mapa Hipsométrico del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



En canto a las formas del relieve, el área de influencia está dominada por dos grandes topoformas, la sierra que domina las zonas más altas y que discurre hacia el noroeste hasta alcanzar las zonas más altas de la alcaldía Xochimilco (Figura 5).

Por otro lado, la topoforma de llanura domina el paisaje desde el volcán Teultli y de AHI hacia la ZPMH XTMA. Sin embargo, la zona central del área de estudio, ocupada por los pueblos originarios, además de situarse en la zona de intersección de estas dos grandes topoformas, presentar hacia el oriente dos pequeñas porciones de lomeríos y mesetas.

Figura 5. Mapa Topoformas del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta

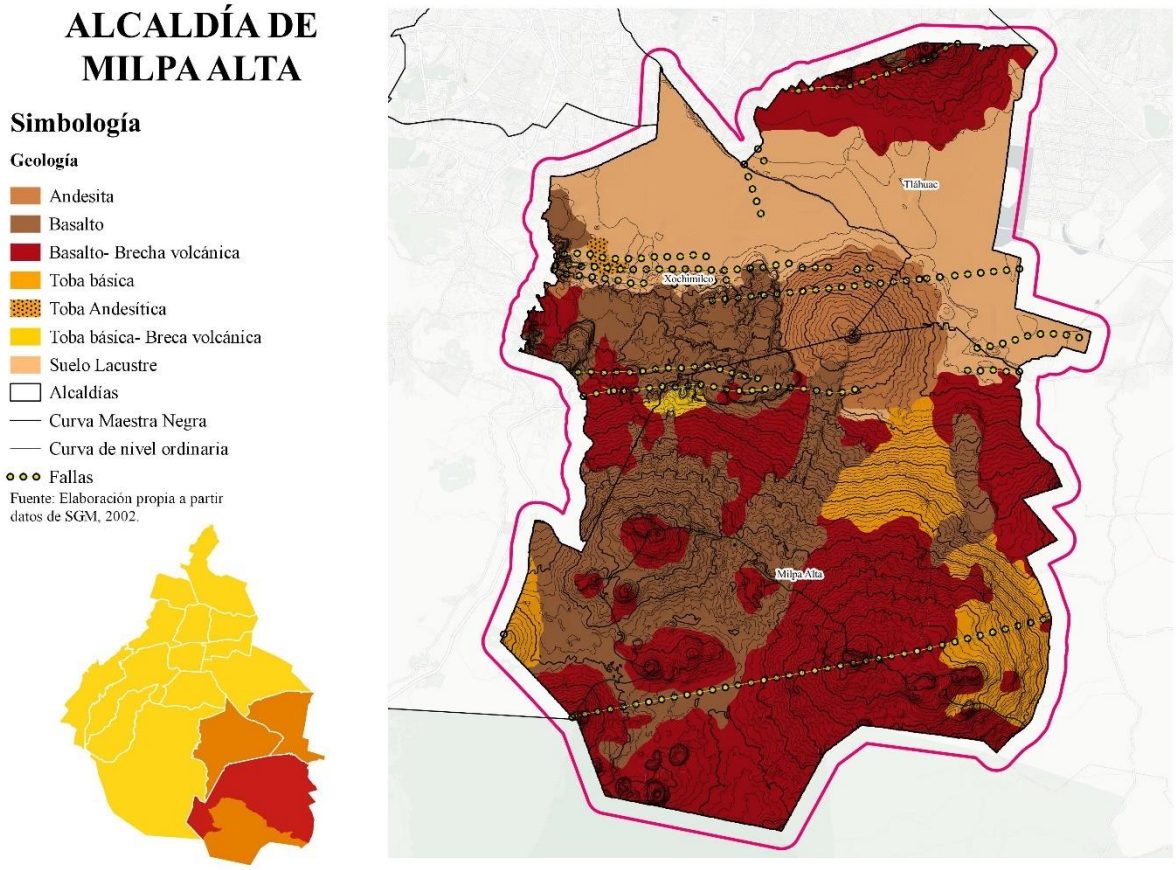


Geología

Respecto a las características de su estructura geológica, el área de influencia responde a los procesos tectónicos y volcánicos de la Sierra Ajusco Chichinauhtzin donde está enclavada. En el centro de la alcaldía de Milpa Alta predominan las formaciones de basalto y de brecha volcánica, en el sur las formaciones de roca ígnea extrusiva básica, al sureste zonas de toba

basáltica, suelos residuales y residuos aluviales, mientras que al norte las de las alcaldías Tláhuac y Xochimilco, predomina el suelo lacustre (Figura 6). El total de la superficie delegacional tiene su origen en el Cenozoico, fundamentalmente en el cuaternario. Toda esta estructura de formas, tipos de rocas y fallamientos, le otorga características fundamentales para la recarga de los mantos acuíferos de la región.

Figura 6. Mapa Geológico del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta

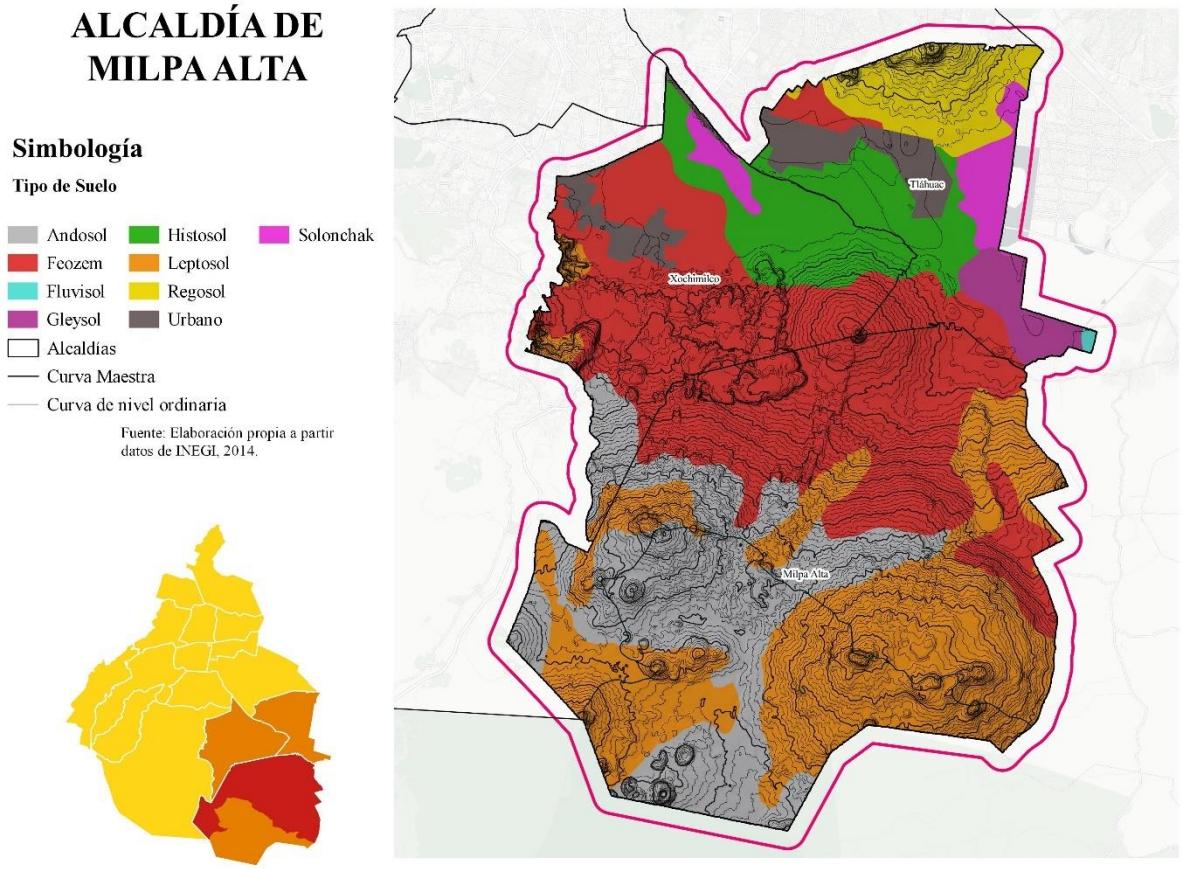


Edafología

Con respecto a la edafología del área de influencia, en el sur y poniente los suelos dominantes son el Andosol húmico (se caracteriza por ser muy esponjoso y suelto que lo hace susceptible

a la erosión) y el Litosol (es un suelo muy delgado con una profundidad menor a 10 cm hasta la roca y erosión variable); en el centro están suelos clase Feozem háplico (la profundidad y susceptibilidad a la erosión depende del lugar donde se localice); finalmente, hacia el sur suelos Histosol y Solonchak (Figura 7).

Figura 7. Mapa Edafológico del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



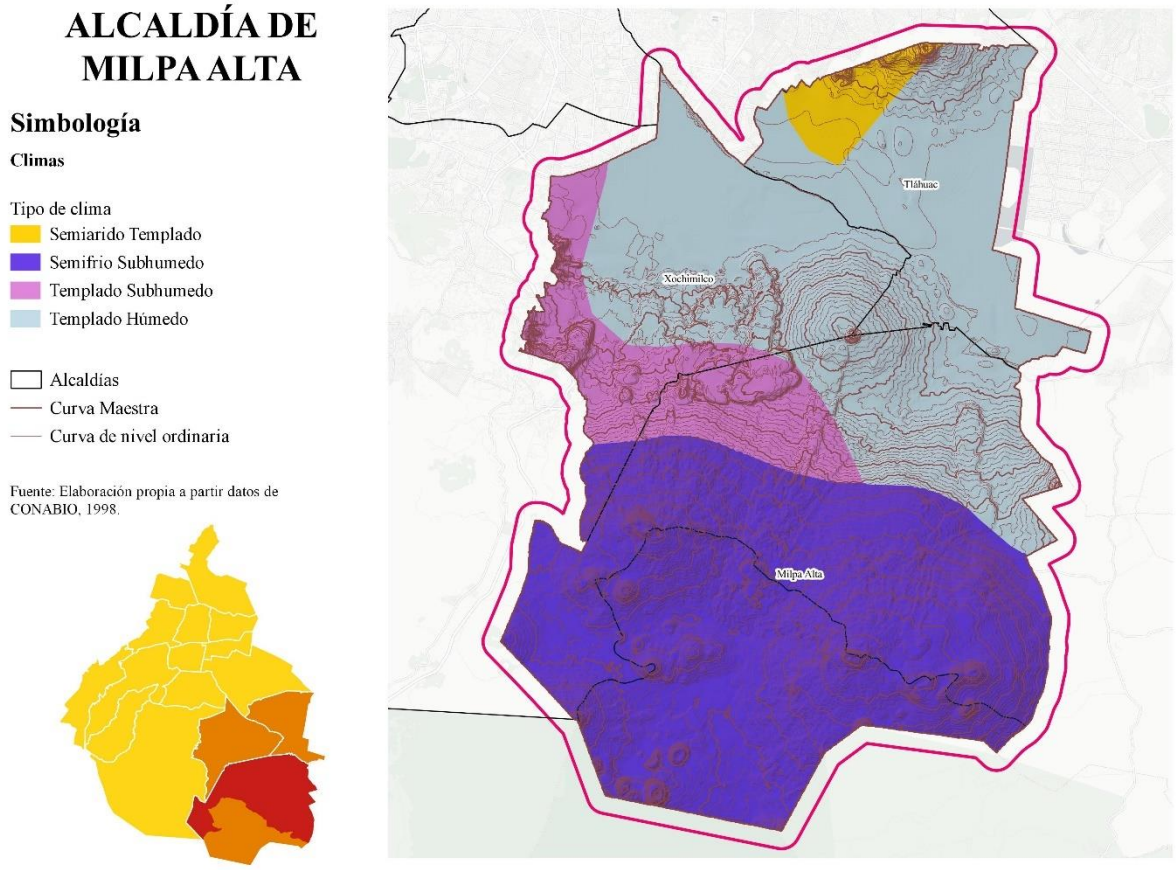
En esta área el suelo está formado por depósitos del cuaternario y en menor proporción con depósitos de lavas escoráceas, aglomerados y piroclásticos gruesos y finos que presentan alta permeabilidad, conformando una de las principales zonas de recarga del acuífero de la cuenca, además se presentan arenas y limos. Con respecto a la erosión, la porción central del área, en la que se encuentran los pueblos originarios, presenta efectos de erosión hídrica laminar que forman surcos que van de moderados a leves de poniente a oriente (INEGI, 2014 b). Esta

erosión hídrica, ocasiona la pérdida de suelo en alrededor de 10.6% de su superficie. Ya que las precipitaciones, aún dentro del rango normal, en la mayoría de los eventos ocurren de manera torrencial, perdiéndose el agua por escurrimientos, dando origen a cárcavas que se expanden progresivamente, con los consecuentes efectos erosivos (INEGI, 2014 a).

Clima

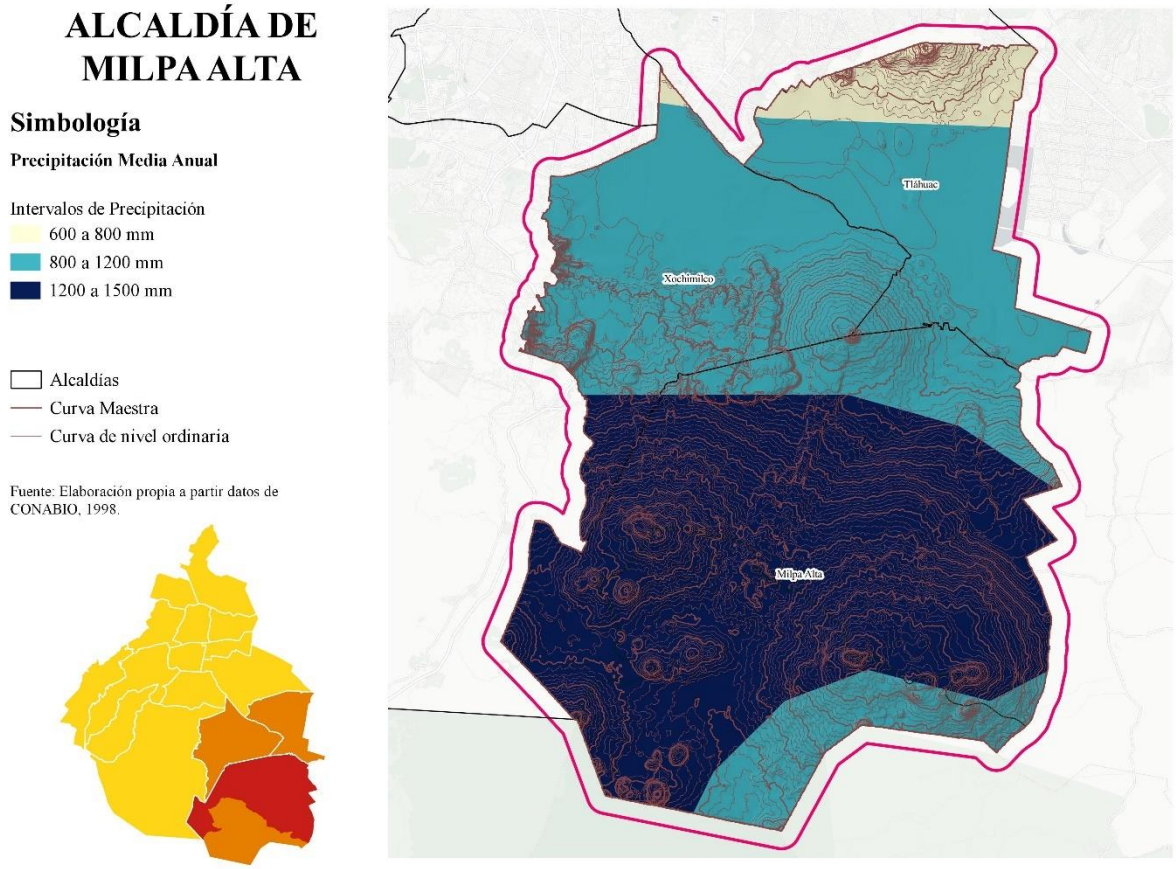
En general la zona en la que se ubica el área de influencia pertenece a la región climática de zonas templadas. Los climas son templado húmedo y subhúmedo para la parte media baja; así como subhúmedo semifrío con lluvias en verano en las partes altas (Figura 8).

Figura 8. Mapa Clima del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



En Milpa Alta el clima es semifrío subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad abarca el 70% de la delegación (zona boscosa y laderas de la zona montañosa), en el 30% restante se presentan climas templados subhúmedos con lluvias en verano de mayor humedad y de humedad media (valle de Milpa Alta y laderas bajas de la zona montañosa) que generan precipitaciones de más de 100 mm en lapsos cortos de pleno temporal y un promedio anual de 746 mm (Figura 9).

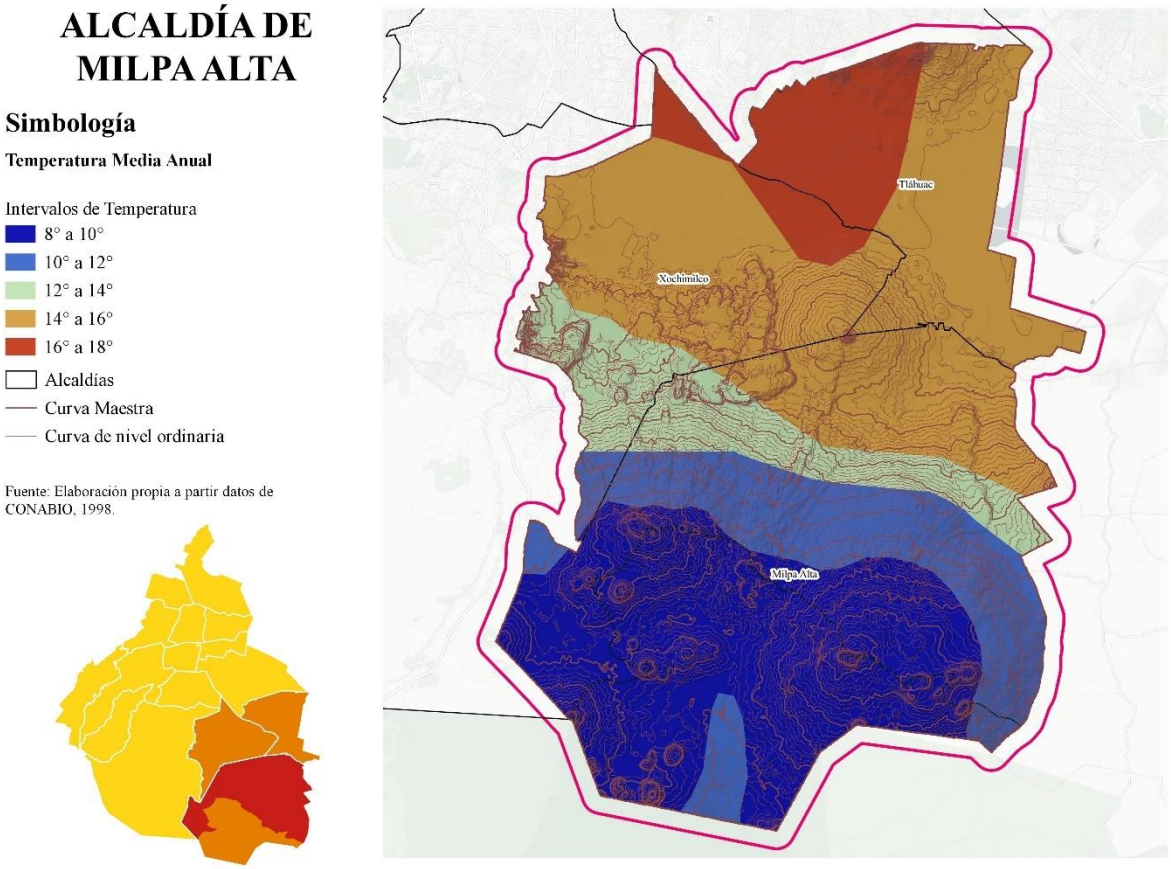
Figura 9. Mapa Precipitación del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Específicamente, Milpa Alta no cuenta con corrientes permanentes de agua por las características porosas de sus suelos, en temporada de lluvias se forman algunos arroyos que escurren de las laderas de sus cerros, los más grandes son el que escurre del cerro Cuauhtzin y el Tlalixhuatanca que escurre por la ladera norte del volcán Tláloc, lo que la hace una de las

zonas más húmedas del Valle de México. En cuanto a la temperatura el promedio en las zonas de mayor altura se presenta una temperatura de 8°C, y en las partes más bajas de 18°C (Figura 10).

Figura 10. Mapa Temperatura del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Uso de suelo y vegetación

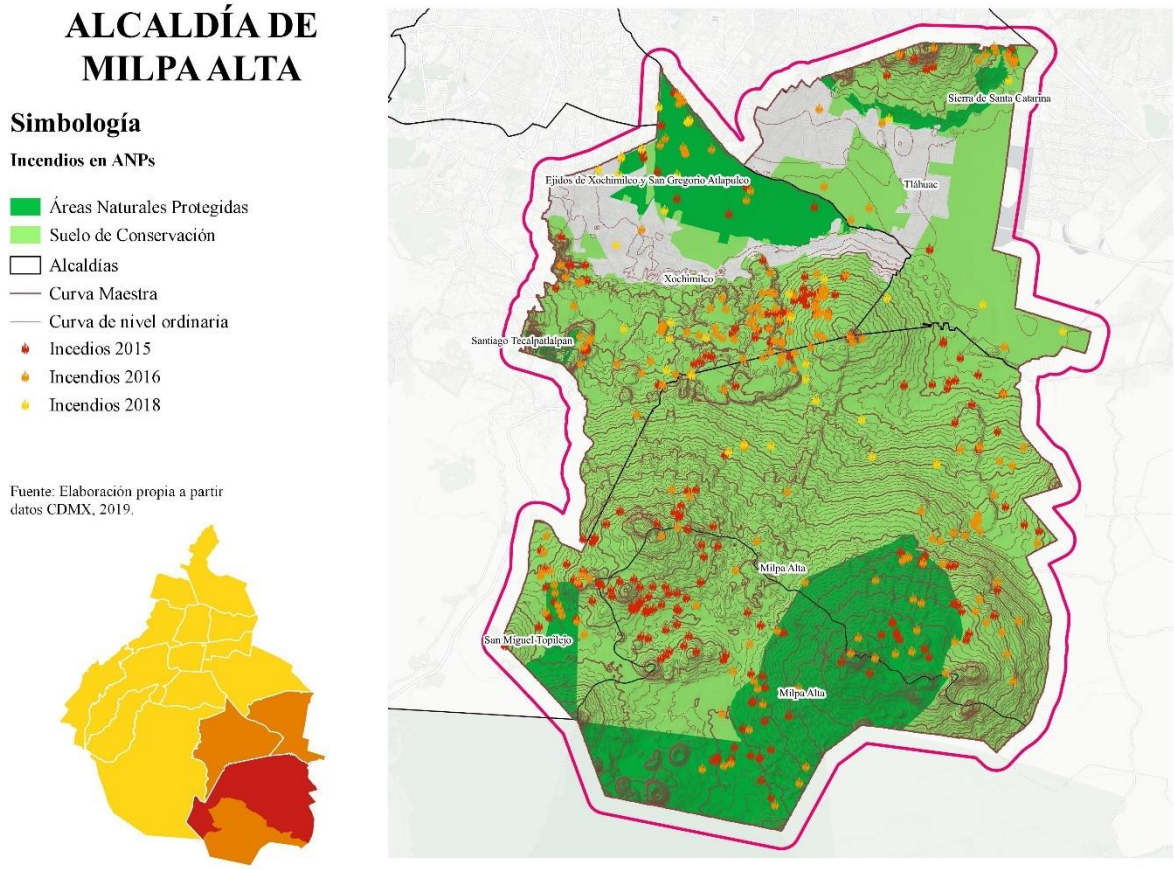
En cuanto al uso del suelo y vegetación, el área de influencia está caracterizada por un paisaje agrícola y forestal presionado por un proceso de urbanización principalmente proveniente de Xochimilco y Tláhuac. En Milpa Alta, esta configuración se materializa con un 49% de la superficie la ocupan bosques de cedros, oyamel, madroños, ocote y encino, el estrato arbustivo se conforma por hierba del golpe (*Eupatorium glabatru*), palo loco (*Senecio praecox*), yuca (*Yuca australis*); en las partes más bajas, escobilla (*Bachans conferta*), tabaquillo (*Wgandia*

urens), tepozán (*Buddieia sp*) predominando la especie cordata y magueyes de la especie (Agave ferox). En el estrato herbáceo están trompetillas (*Bouvardia temifolia*), mirtos (*Salvia mexicana*), jarritos (*Penstemon roseus*), (*Chusquea tondusii*), (*Clethra alcocerii*) y (*Eysenhardtia polystachya*). Las gramíneas son abundantes (pastos silvestres e introducidos) y cubren el 18% del total de su superficie. En cuanto a fauna silvestre, se reportan las siguientes especies: 10 tipos de anfibios, 15 de reptiles, 28 de murciélagos, 1 de marsupial, 4 de musaraña, 1 de armadillo, 6 de conejos y liebres, 34 de roedores, 1 de coyote, 1 de zorra, 3 de prociónidos, 5 de mustélidos, 1 de venado, y 2 de felinos. En cuanto a la ornitofauna, la zona se considerada crítica para la conservación de las aves de México por su alto grado de endemismo. Dentro de éstas, el gremio trófico más común es el de las especies insectívoras (23 especies), los granívoros (5), carnívoros (4), nectarívoros (3) y omnívoros (3).

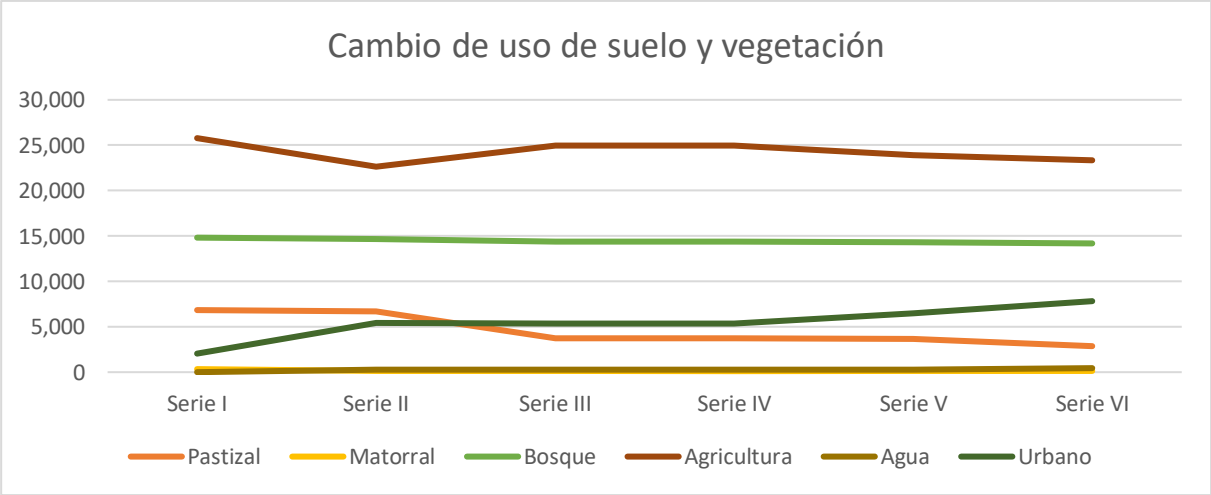
Muchos Toda esta diversidad, está sujeta a varias presiones entre las que sobresalen la tala ilegal y la ocurrencia de incendios que ocurren principalmente en la zona agrícola que colinda entre Xochimilco y Milpa Alta, la zona productiva al oriente de la alcaldía de Milpa Alta, así como las áreas forestales al sur de la alcaldía. Por otra parte, la alcaldía Milpa Alta cuenta con tres Áreas Naturales Protegidas (ANP), una el Corredor Biológico Chichinautzin, decretada por el Gobierno Federal con categoría de Protección de Flora y Fauna Silvestre y dos decretadas por el Gobierno de la Ciudad de México, el Área Comunitaria de Conservación Ecológica Milpa Alta y la Reserva Ecológica Comunitaria San Miguel Topilejo compartida con la alcaldía Tlalpan (Figura 11).

De acuerdo con las cartas de uso del suelo y vegetación (INEGI, 1976; 1993; 2002; 2007; 2011 y 2014) (Series I, II, III, IV, V y VI) los cambios más significativos ocurridos en el periodo 1976-2014 corresponden a la expansión urbana en Xochimilco, Tláhuac y San Antonio Tecomitl en Milpa Alta principalmente; así como la expansión de la frontera agrícola principalmente a costa de ecosistemas naturales. (Gráfica 1).

Figura 11. Mapa Incendios del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



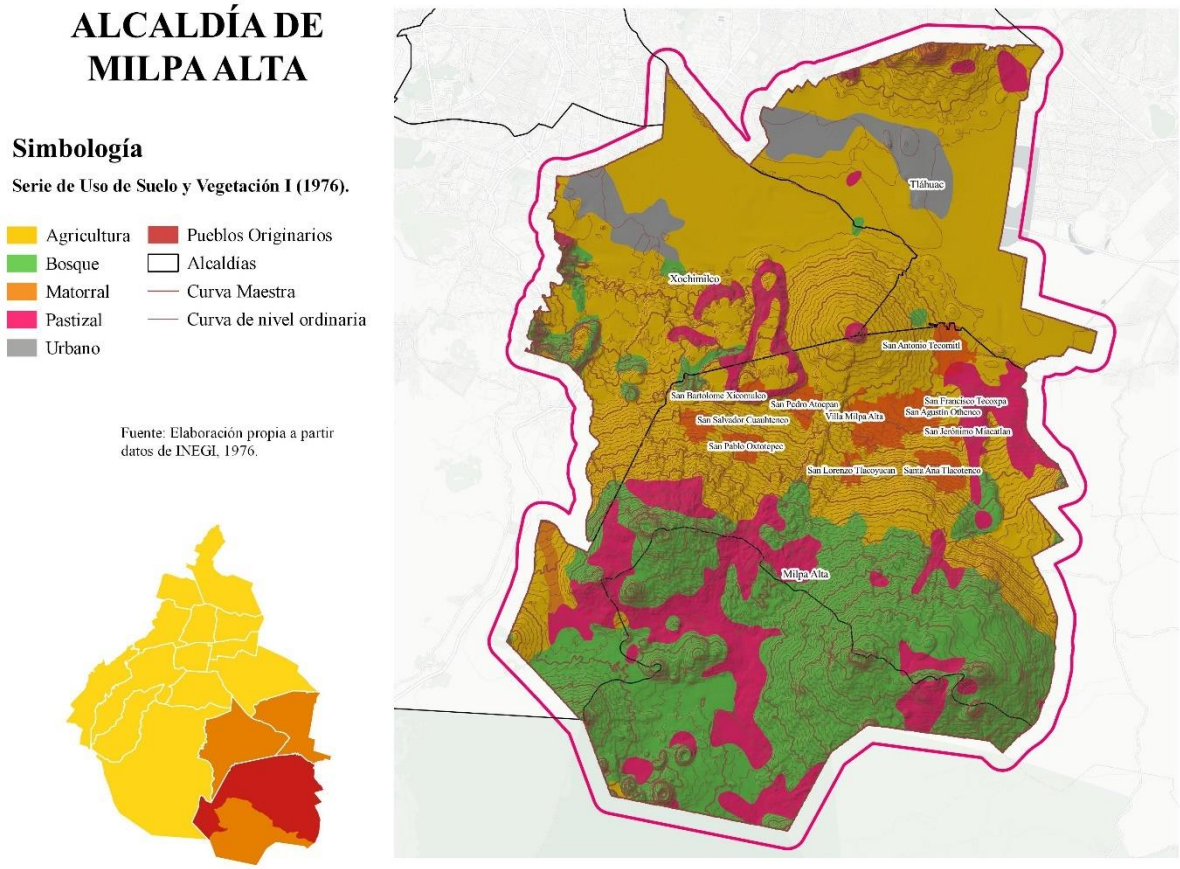
Gráfica 1. Cambios de uso de suelo para el área de influencia 1976-2014



Fuente: Elaboración propia a partir de cartas de uso del suelo y vegetación del INEGI

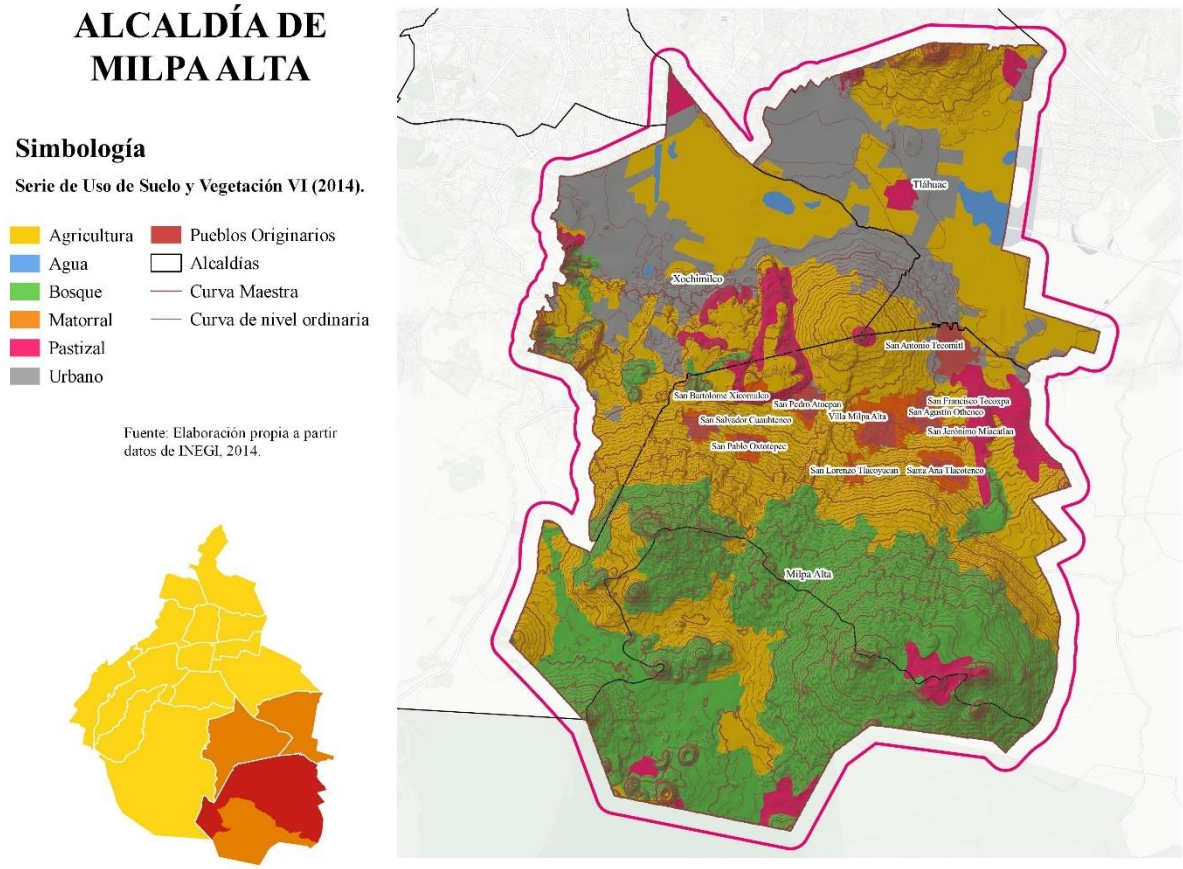
Para 1976, las superficies urbanas para el área de influencia representaban apenas el 4 % del total del área de estudio, mientras que las zonas agrícolas representaban el 52 % del total del área. Mientras que los pastizales y los ecosistemas forestales primarios correspondían al 44% (Figura 12).

Figura 12. Uso de Suelo (1976) del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Luego de 38 años, el área de influencia ha cambiado drásticamente su configuración, ya que para 2014, las zonas urbanas representan actualmente el 16 % del total del área de estudio, mientras que las áreas agrícolas disminuyeron hasta el 45 % y los ecosistemas forestales en una buena proporción degradados, alcanzan apenas el 38 % (Figura 13).

Figura 13. Uso de Suelo (2014) del Área de influencia de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Contexto del área de estudio

El área de estudio de la alcaldía Milpa Alta se compone por 12 poblados, uno de ellos, Villa Milpa, la cabecera de la alcaldía se encuentra conurbada con los pueblos de San Agustín Ohtenco, San Jerónimo Miacatlán, San Juan Tepenáhuac y San Francisco Tecoxpa (Bonilla-Rodríguez, 2014). Estos 5 poblados junto con San Lorenzo Tlacoyucan y Santa Ana Tlacotenco, conforman un grupo de 7 pueblos nopaleras que contienen casi la totalidad de superficie sembrada y de campesinos agricultores dedicados a este emblemático cultivo. Al norte de este grupo de pueblos productores de nopal, se sitúa San Antonio Tecómitl, el poblado de Milpa Alta más vinculado a la Ciudad de México a través de la delegación Tláhuac. Hacia el poniente y en el límite con la alcaldía de Xochimilco se sitúan los poblados de San Bartolomé Xicomulco y de San Salvador Cuauhtenco, este último conurbado al poblado de San Pablo Oxtotepec.

Finalmente, San Pedro Atocpan contempla este último grupo de 4 poblados que completa a los 12 pueblos de Milpa Alta, considerados originarios debido a sus fundaciones prehispánicas (Godoy, 1953).

La organización de todos estos poblados sucede a partir del espacio fundacional donde se localiza la plaza, iglesia y se concentra la vivienda, el equipamiento y los servicios están delimitados por los cascos urbanos a partir de los cuales se han establecido progresivamente los asentamientos humanos irregulares, como el conjunto de vialidades regionales e interurbanas que los articulan entre sí y los comunican con la ciudad (Higuera-Meneses, 2012). La estructura interna de los poblados se divide en barrios, parajes y asentamientos humanos irregulares. La mayoría de los barrios, por ser más antiguos, se encuentran con un alto grado de consolidación con la presencia de servicios públicos al interior y al exterior de la vivienda, así como materiales permanentes en la misma; los parajes y asentamientos humanos irregulares tienen diferentes grados de consolidación que están en función de la antigüedad de la ocupación, así como de los recursos económicos de las familias (Rivera, 2016).

Así, en las condiciones urbanas específicas de Milpa Alta se puede comenzar a destacar la escasa compactación urbana y la escasa o nula infraestructura de grandes autoservicios comerciales, instituciones financieras, centros de entretenimiento, restaurantes, y vías de intercomunicación terrestre (Bonilla-Rodríguez, 2014). Esta condición de urbanización difusa se explica porque los principales núcleos de población están conformados como pueblos enclavados sobre una enorme extensión de superficie de cobertura vegetal y de actividad agrícola o agropecuaria, en donde, además, se presentan asentamientos humanos irregulares como efecto más claro del avance de la urbanización.

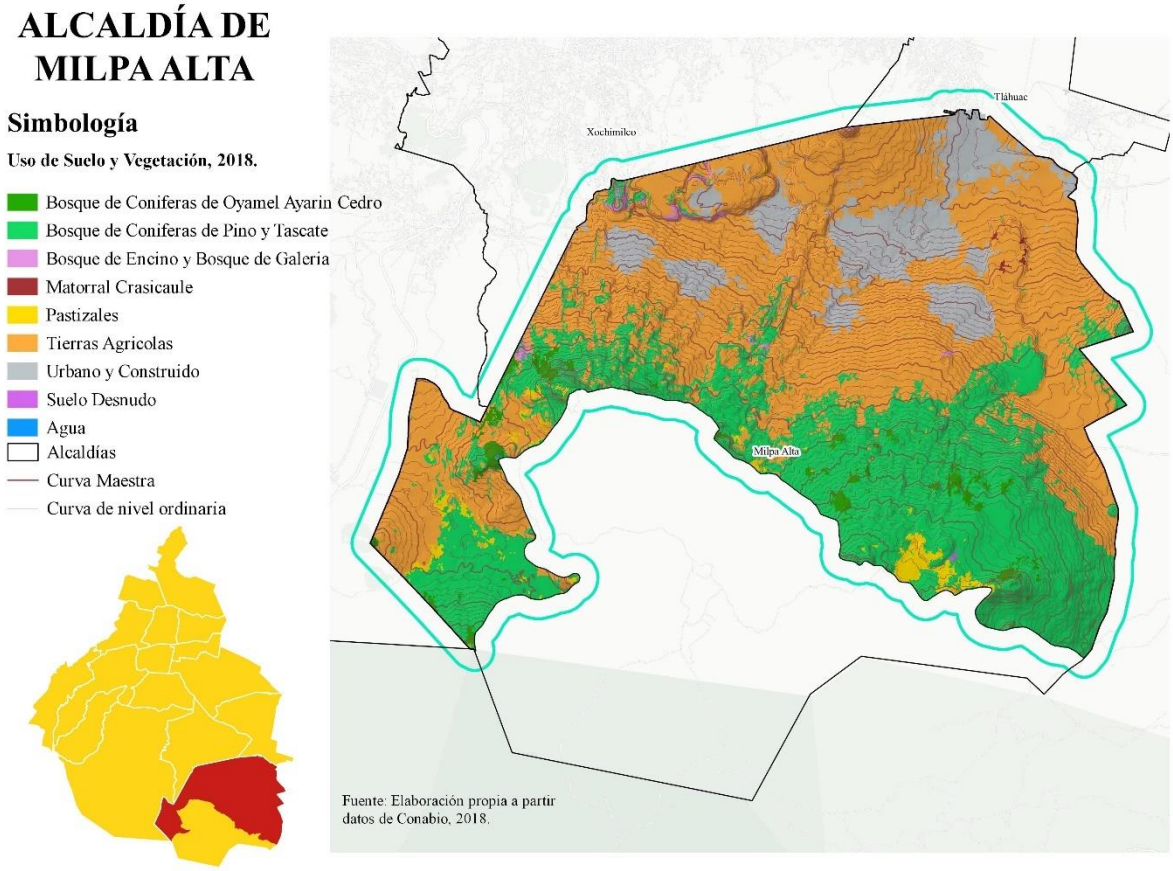
La relevancia actual de esta área se explica en las interacciones entre el suelo agrícola y urbano en relación con las áreas forestales que los contienen. De acuerdo con Bonilla-Rodríguez (2014), para el periodo 1992-2010 el tipo de suelo agrícola aumentó 3.7 % a pesar de que el suelo urbano casi duplica su extensión, mostrando con ello una compleja transición en la que

el incremento de la superficie urbana ocurre a costa de áreas agrícolas contiguas a los poblados originales, mientras que las zonas agrícolas y pecuarias se expanden a costa de la degradación y deforestación de la cubierta vegetal. No obstante, en este proceso es importante resaltar la enorme diferencia que el suelo agrícola y de bosques y vegetación representan con respecto al suelo de uso urbano, que sólo es10% del total de la superficie a pesar del gran incremento en el periodo.

Actualmente y de acuerdo con datos del sistema MAD-Mex (Monitoring Activity Data for the Mexican REDD+ program) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), sobre la cobertura de suelo obtenida a partir de imágenes Sentinel-2 para 2018 (Gebhardt et al., 2014; Gebhardt et al., 2015). Se puede observar que el 55 % del área de estudio corresponde a tierras agrícolas, mientras que únicamente el 10% corresponde a zonas urbanas; y el restante 35 % a vegetación natural en la que sobresalen bosques de Pino y Oyamel, así como pequeños relictos de bosques de Encino, Pastizales y Matorrales (Figura 14).

Con respecto de la actividad agrícola en Milpa Alta, sus antecedentes datan del periodo en el que Milpa Alta se encontraba bajo el dominio del Imperio Azteca (Chavira, 1992). Siglos después, su readecuación más relevante sucede a inicios de 1940 con la introducción del cultivo del nopal, como remplazo del cultivo del maguey (Bonilla-Rodríguez, 2014). Actualmente, la superficie sembrada de nopal representa alrededor de la mitad del total de la superficie agrícola, y junto con el maíz suman un poco más del 80%, son los principales cultivos en la región de Milpa Alta. Se trata de una agricultura de temporal que representa el 99 % de toda la superficie agrícola en la que se utiliza mayormente trabajo familiar y en el que la participación femenina es destacada; y en la que de acuerdo con datos del Programa de Desarrollo Urbano de Milpa Alta (2011), el 94 % del total de la superficie de Milpa Alta sigue siendo de tierra comunal, y se complementa con una superficie de 1,802 ha de los ejidos de Santa Ana Tlacotenco, San Jerónimo Miacatlán, San Juan Tepenáhuac, San Francisco Tecoxpa y San Antonio Tecómitl.

Figura 14. Uso de Suelo (2018) del Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



EVALUACIÓN DE IMPACTOS

En esta sección se aborda la valoración, el registro y la descripción de los daños ambientales presentes en el territorio de los AHI de Milpa Alta, a partir de la identificación de los factores del medio susceptibles de recibir impactos. En donde dichos factores, se entienden como los elementos, cualidades y procesos del entorno afectados por la presencia de los AHI en el área de estudio.

Este análisis se desarrolla de acuerdo con la metodología propuesta en la Guía Línea de Base Ambiental (SEMARNAT, 2017), a partir de una adaptación de la obra de Gómez-Orea y Gómez-Villarino (2013). Si bien esta es una metodología empleada principalmente en el sector industrial y de hidrocarburos, se vuelve pertinente en la medida en la que permite la valoración

de impactos que resultaron con una afectación significativa por alguna obra o actividad desarrollada en el pasado o al momento de realizar una línea de base ambiental. A diferencia del método de Battelle-Columbus, mayormente empleado en proyectos mineros y urbanos para la evaluación de propuestas alternativas técnicamente viables y que se acompaña con el escenario de la situación ambiental del sitio sin el desarrollo del proyecto, es de decir, la alternativa de no intervención, el cual debe predecir la evolución sin proyecto (Correa-Jahn, 2010; Luyo-Carrasco, 2019).

La metodología empleada consta de cuatro pasos e inicia con la identificación del daño ambiental, un proceso metodológico que permite identificar los componentes y factores afectados significativamente por los AHI de Milpa Alta. Para ello se disponen todos los factores relevantes identificados en la etapa de caracterización, desplegados en forma de árbol con varios niveles, el último de los cuales representa subfactores muy específicos y concretos, susceptibles de evaluación. Para ello se desagregan los siguientes cuatro niveles: (i) subsistemas, referidos al físico-natural, socioeconómico y de infraestructura; (ii) componentes, que es la división subsecuente a los subsistemas; (iii) factores, asociados a los conceptos más importantes y básicos de la evaluación; y (iv) subfactores, división de los factores en conceptos o concretos y de nítida definición.

Todos los factores identificados como relevantes deben reunir condiciones de relevancia, al ser portadores de información importante sobre el estado y el funcionamiento del medio; exclusión, al existir sin solapamientos ni redundancias que lleven a repeticiones de impactos; fácil identificación, es decir, susceptibles de una definición nítida y de una percepción fácil sobre el campo, mapas o información estadística; localización, al ser atribuibles a puntos o zonas concretas del entorno; y finalmente, medibles al ser cuantificables en la medida de lo posible (Gómez-Orea y Gómez-Villarino, 2013).

El segundo paso, consiste en la valoración del daño ambiental, empleada para medir la gravedad del impacto ambiental ocasionado cuando sea negativo, el valor se refiere a la

cantidad, calidad, grado y forma en que un factor ambiental es alterado (SEMARNAT, 2017). En este sentido, valorar implica medir primero aquello que se desea valorar y traducir luego esa medida a un valor; por lo que para medir hay que contar con una unidad de medida y niveles de referencia contrastados con un método que permita hacer comparables las medidas obtenidas por diferentes personas y en diferentes momentos (Gómez-Orea y Gómez-Villarino, 2013). La valoración se puede concretar en términos de magnitud e incidencia de la alteración:

Magnitud, representa la cantidad y calidad del factor ambiental modificado, en términos relativos al marco de referencia (espacio geográfico del Área de Estudio).

Incidencia, se refiere a la severidad, grado y forma de la alteración del factor o componente ambiental, la cual viene definida por la intensidad y por una serie de atributos de tipo cualitativo que caracterizan dicha alteración, y que son los siguientes:

I. Momento, lapso que transcurre entre la acción y la aparición del efecto;
II. Inmediatez, dependencia directa de una acción o indirecta a través de un efecto;
III. Persistencia, tiempo de permanencia del efecto;
IV. Continuidad, manifestación de forma constante en el tiempo;
V. Periodicidad, manifestación de forma cíclica o recurrente en el tiempo;
VI. Acumulación, incremento continuo de la gravedad cuando se prolonga la acción que lo genera;
VII. Sinergia, reforzamiento de efectos simples, se produce cuando la coexistencia de varios efectos simples produce un efecto superior a su suma simple;
VIII. Reversibilidad o posibilidad de ser asimilado por el medio, de tal manera que este, por sí solo, es capaz de recuperar las condiciones iniciales una vez producido el efecto; y
IX. Recuperabilidad, posibilidad de recuperación mediante intervención externa

En el tercer paso, se procede a la determinación del índice de incidencia, el cual se refiere a la severidad y forma de alteración de un factor ambiental conforme a sus atributos. El cálculo del índice de incidencia se logra como resultado de la evaluación de cada uno de los subfactores propuestos teniendo en cuenta los siguientes atributos: signo del efecto, momento, inmediatez, persistencia, continuidad, periodicidad, acumulación, sinergia, reversibilidad, y recuperación. Para cada atributo se atribuye una valoración numérica entre 1 y 3, siendo la de menor impacto la valoración de 1 y la de mayor impacto la valoración de 3 (SEMARNAT, 2017). La determinación de los códigos por atributo empleado en el análisis es la siguiente:

Cuadro 2. Determinación de los códigos por atributo de cada uno de los factores ambientales seleccionados para describir la situación ambiental relacionada con las posibles afectaciones

Atributo	Características de los atributos	Código
Signo del efecto	Benéfico	+
	Perjudicial	-
	Difícil de calificar sin estudias	X
Inmediatez	Indirecto	1
	Directo	3
Acumulación	Simple	1
	Acumulativo	3
Sinergia	Leve	1
	Media	2

	Fuerte	3
Momento	Largo plazo	1
	Medio	2
	Corto	3
Persistencia	Temporal	1
	Permanente	3
Reversivilidad	A corto plazo	1
	A medio plazo	2
	A largo plazo o no reversible	3
Recuperabilidad	Fácil	1
	Media	2
	Difícil	3
Continuidad	Discontinuo	1
	Continuo	3
Perioricidad	Irregular	1
	Periódico	3

Fuente: SEMARNAT (2017) a partir de una adaptación de Gómez-Orea y Gómez-Villarino (2013)

Una vez evaluado cada uno de los factores ambientales seleccionados para para describir la situación ambiental relacionada con las posibles afectaciones originadas por los AHI de Milpa Alta, es necesario aplicar una función, suma ponderada para obtener un valor y así normalizar entre 0 y 1 los valores obtenidos. Este valor de Incidencia se calculará por cada factor

identificado en cada uno de los AHI evaluados. Al final, el valor obtenido en cada uno de los asentamientos puede ser categorizado de acuerdo con los siguientes criterios:

Cuadro3. Categorías de relevancia de los impactos ambientales evaluados

Categoría	Interpretación	Intervalo de valores
No Relevante	Se presentan alteraciones de muy bajo impacto a componentes y factores que no comprometen la integridad de estos	Menor a 0.33
Moderadamente relevante	Se presenta afectación a componentes y factores sin poner en riesgo los procesos o estructura de los ecosistemas de los que forman parte.	0.33 a 0.66
Relevante	Se presentan alteraciones en los componentes y factores que afectaron el funcionamiento o estructura de los ecosistemas	Mayor a 0.66

Fuente: SEMARNAT (2017) a partir de una adaptación de Gómez-Orea y Gómez-Villarino (2013).

Una vez calculado el valor del daño sobre los factores ambientales presentes, en el último paso se realizará una descripción de cada uno de los daños ambientales identificados de manera tal que se manifiesten todos los daños ambientales presentes en el área de estudio sobre algún componente o factor ambiental, el índice de incidencia y categoría de relevancia, así como las posibles actividades o mecanismos que le dieron origen.

Ilustración de resultados de valoración, registro y descripción de daños ambientales presentes en el territorio del Área de estudio para la evaluación de impacto ambiental de los AHI de Milpa Alta

Para la valoración de los impactos, la presentación de los resultados se lleva a cabo teniendo en cuenta los siguientes factores y subfactores que fueron seleccionados específicamente para describir la caracterización socioambiental relacionada con las posibles afectaciones originadas por la presencia de los AHI de Milpa Alta. Adicionalmente, la selección de los subfactores se presenta como resultado de un análisis de la sensibilidad de los más significativos ante la presencia de AHI en el área de estudio (Cuadro 4).

Cuadro 4. Factores y subfactores seleccionados para describir la situación socioambiental relacionada con las posibles afectaciones originadas por la presencia de AHI en Milpa Alta.

Subsistema	Medio	Factor	Subfactor
Físico-Natural	Abiótico	Hidrología	Aptitud de infiltración
		Geología y geomorfología	Relieve y carácter topográfico (pendiente)
		Edafología	Erosión
		Procesos del medio abiótico	Riesgo por eventos de precipitación intensa
	Biótico	Vegetación	Almacenamiento de carbono
			Áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad
		Biodiversidad	Riqueza de Especies
		Procesos del medio biótico	Fragilidad ecológica

Socio-económico	Patrimonio cultural	Patrimonio cultural urbano	Número de inmuebles afectos al patrimonio cultural urbano
	Usos del suelo	Usos productivos	Aptitud agrícola
			Aptitud ganadera
			Aptitud agroforestal
			Aptitud forestal
	Infraestructura	Infraestructura	Accesibilidad
			Servicios y equipamientos
Político-institucional	Plan General de Desarrollo Urbano	Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal	Categorías de manejo del PGOEDF
		Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano	Categorías de uso del suelo del PDDU
	Asentamientos Humanos Irregulares *	Población	Densidad de población (hab/km2)
			Porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía
			Porcentaje de la población estudiando dentro del área de influencia
		Vivienda	Viviendas con acabados externos (aplanado y pintado)
			Losa de concreto sólida o con tabique tabicón o unicel

			Luz eléctrica del servicio público (Contrato con la CFE)
			Agua entubada dentro o fuera de la vivienda, pero dentro del terreno
			Viviendas habitadas por más de 20 años

Fuente: Elaboración propia. * La información obtenida sobre AHI se obtuvo a partir de los cuadros de información de los avances de la primera etapa del levantamiento del censo de predios y viviendas en los sentamientos humanos irregulares de Milpa Alta, asociado al Inventario de AHI del CentroGeo (2000).

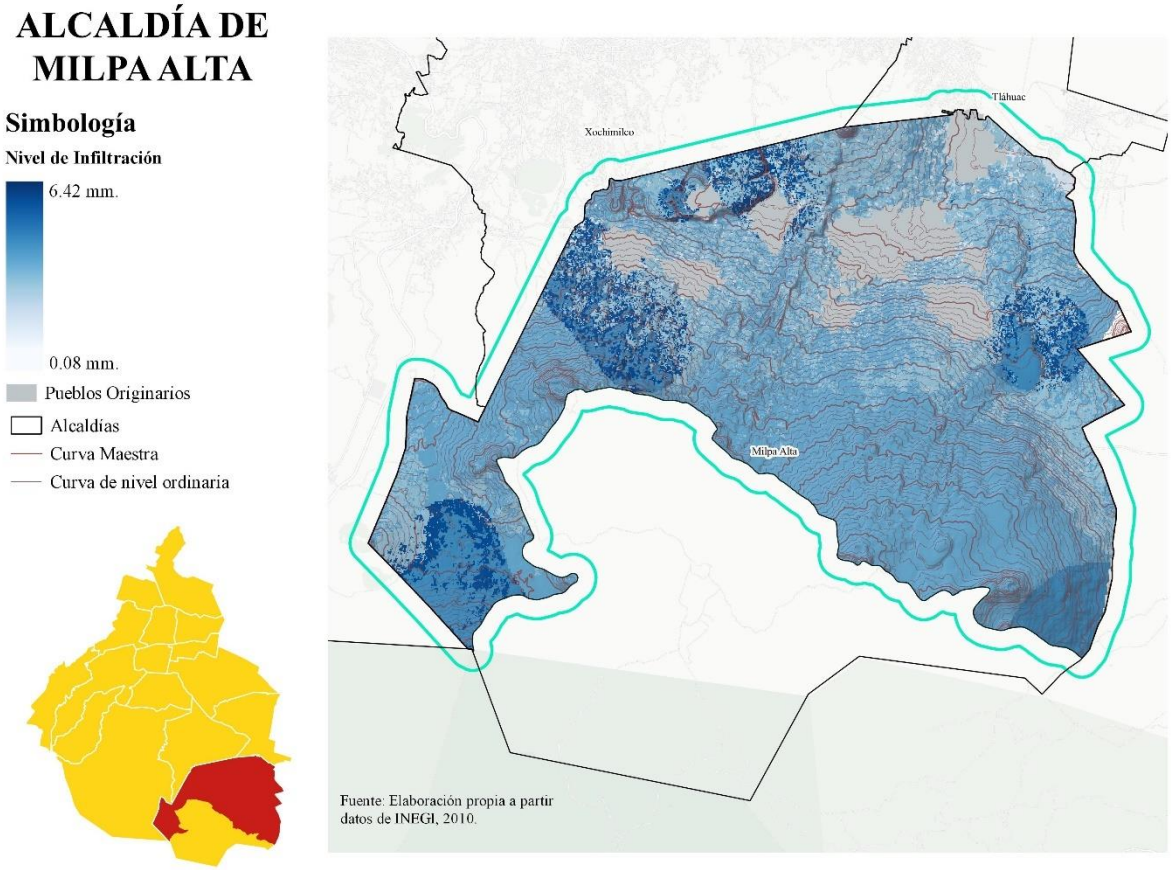
Los factores y subfactores fueron agrupados en tres grupos, cada uno a cargo de un subsistema –el físico biológico o natural; el socioeconómico y el político-institucional– obtenidos a partir de insumos cartográficos acotados al área de extensión de las interacciones que se pretenden analizar[6], así como una selección de variables del censo de predios y viviendas en los AHI de Milpa Alta, obtenidas durante la primera etapa del levantamiento realizado del 10 al 24 de marzo de 2020 (CentroGeo, 2020). La importancia de la delimitación del entorno en la evaluación deriva de su papel como ámbito de referencia, en la idea de que el significado de la alteración de un factor ambiental solo puede entenderse en términos relativos, es decir de la proporción que se afecta respecto a la totalidad existente.

Dentro de los factores y subfactores del subsistema físico natural, destacan los referentes a servicios ecosistémicos asociados a la aptitud de infiltración y captura de carbono. La infiltración se refiere al movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia dentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares (PAOT, 2012). El mapa empleado aproxima la infiltración basado en la estimación de la cantidad máxima de agua que el suelo puede absorber en un día (S) y cómo ésta es cubierta mediante precipitación

[6] La información de los subsistemas físico biológico o natural, socioeconómico y político-institucional fue obtenida a partir de insumos cartográficos publicados por la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT) en el Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal (PAOT, 2012).

y escorrentías provenientes de otras superficies en función de la conectividad hidrológica superficial (Figura 15).

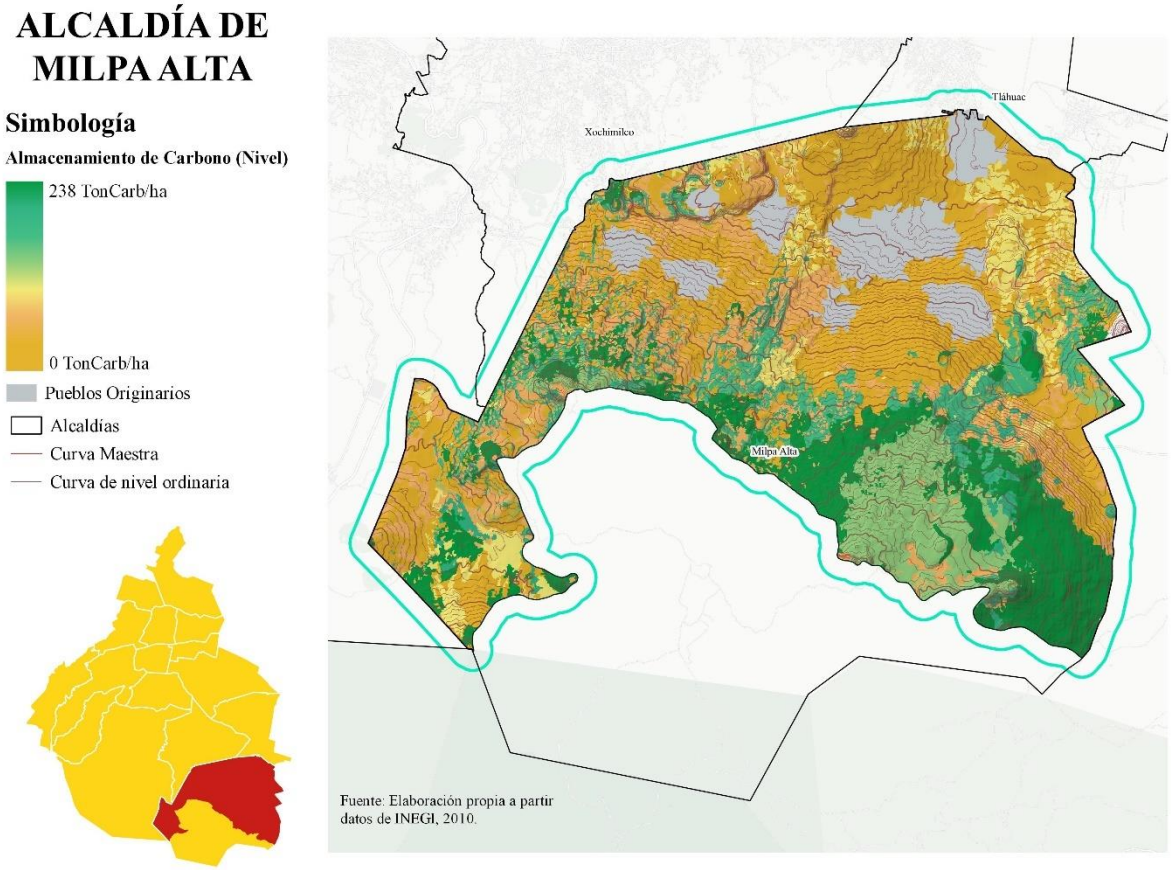
Figura 15. Aptitud de infiltración del Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Para el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de la vegetación arbórea, se integró información estimada en campo e interpolada por métodos geoestadísticos, con información reportada en la literatura y asociada al mapa de uso de suelo y vegetación 2010 (Galeana *et al*., 2016; PAOT, 2012).

El carbono almacenado para cada árbol se calculó a partir de ecuaciones ya existentes de carbono, biomasa y volumen. Una vez obtenido el carbono por árbol, se calculó el carbono para cada conglomerado y utilizando métodos geoestadísticos (interpolación de Co-Kriging) se elaboró la capa de información para representar la variabilidad espacial de las densidades de carbono de los bosques (Figura 16).

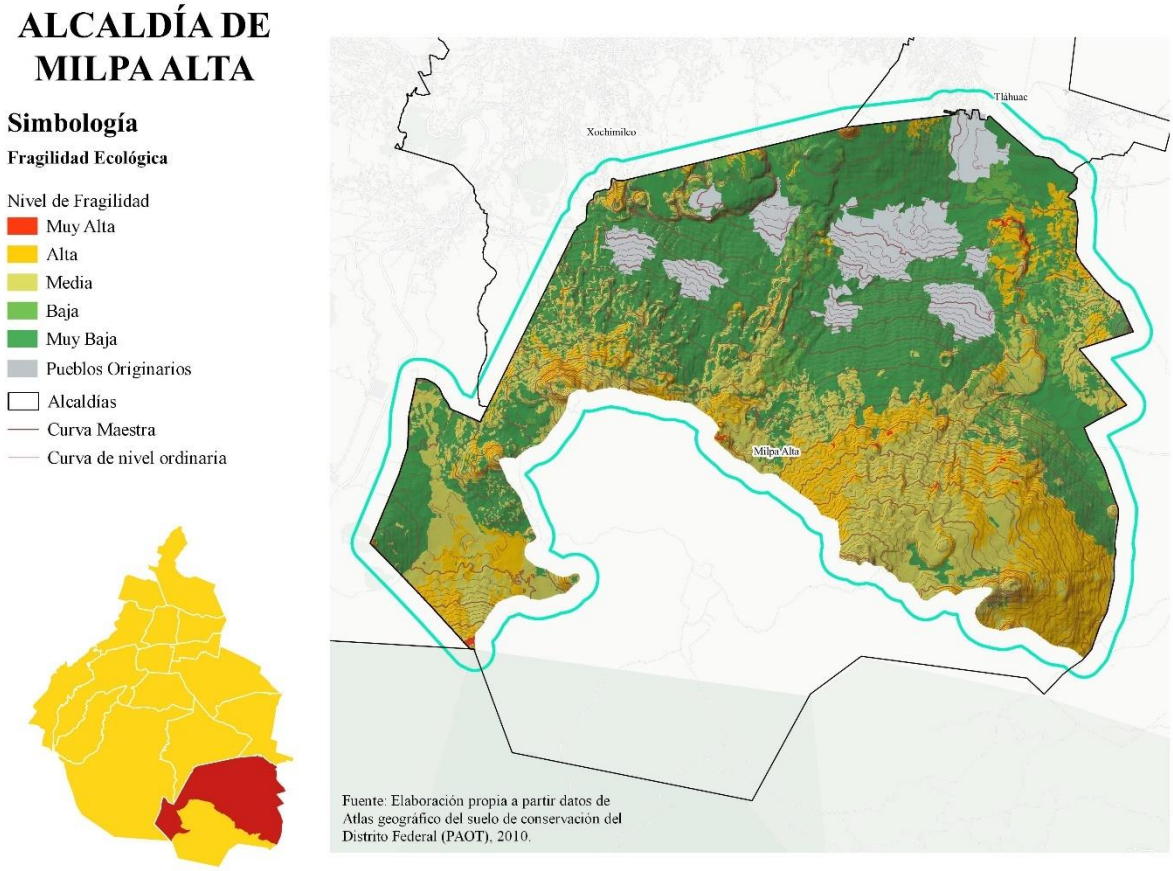
Figura 16. Almacenamiento de carbono del Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Adicionalmente, se empleó una aproximación a la fragilidad ecológica expresada como el conjunto de propiedades del sistema para resistir una actividad, es decir para experimentar la mínima alteración por la misma, obtenida a partir de los mapas generados durante el proceso de actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal

realizado en 2010 (PAOT, 2012). De esta manera, el impacto ambiental generado en un sistema dependerá en gran medida de su calidad y fragilidad ambiental, por lo que los impactos serán mayores en tanto mayor sea la fragilidad del medio en el que se emplaza alguna actividad (Figura 17).

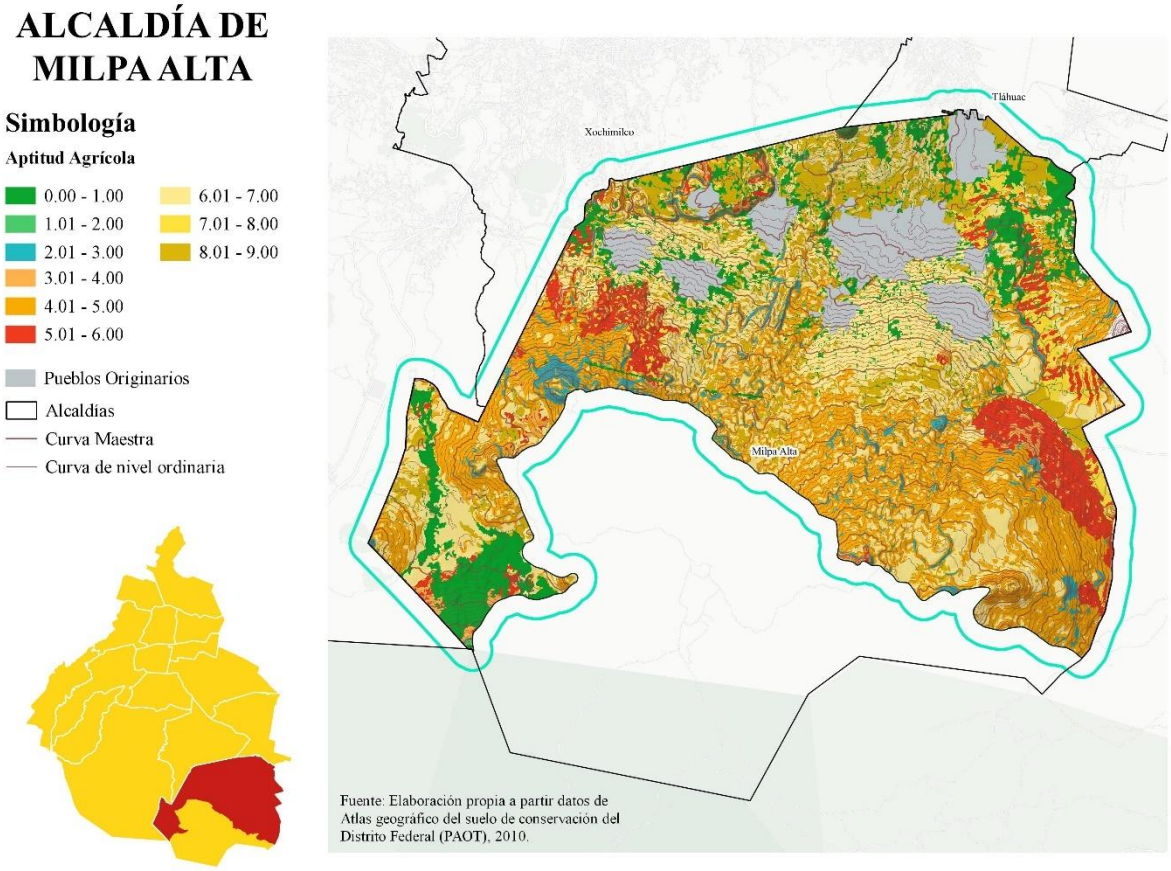
Figura 17. Fragilidad ecológica del Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Adicionalmente se empelaron en la evaluación del impacto, factores asociados con las Áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad (PAOT, 2012) y la pendiente obtenida en grados a partir del Modelo Digital de Elevación obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicano (INEGI, 2013).

Para evaluar factores dentro del subsistema socioeconómico, se emplearon aproximaciones a la aptitud agrícola y agroforestal. El objetivo del análisis de aptitud es identificar las zonas con mayor potencial para llevar a cabo ciertas actividades relacionadas con cultivo de una o varias especies agrícolas y/o junto con una o más especies arbóreas o arbustivas (PAOT, 2012). La aptitud agrícola puede ser definida como la capacidad de un área en particular para desarrollar actividades como cultivos de hortalizas, cereales y leguminosas entre otros (Figura 18).

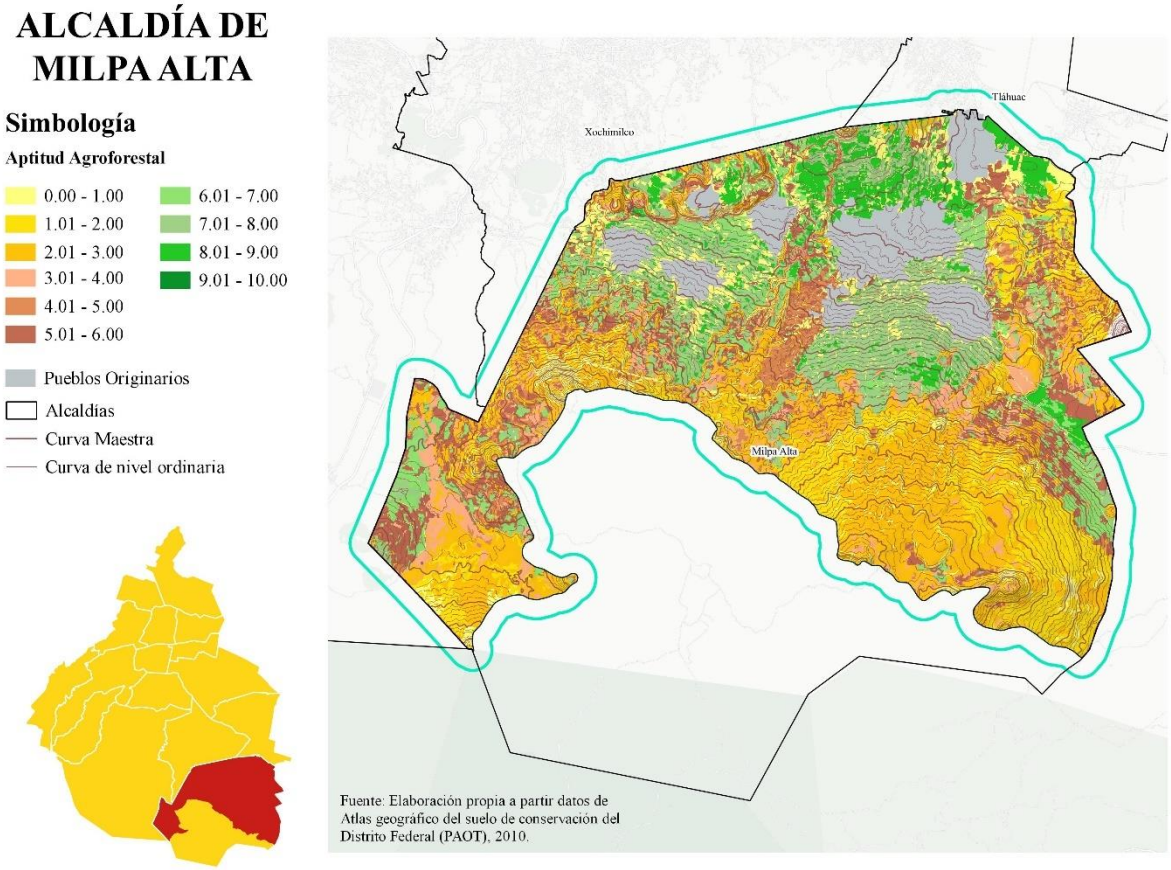
Figura 18. Aptitud agrícola del Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Para definir las áreas de aptitud agrícola se utilizaron las variables de: 1) fertilidad del suelo como el criterio más importante, representada principalmente por suelos del tipo feozem y andosol; 2) la pendiente entre el 0% y 30% como óptima; y 3) la precipitación anual. Con el

uso de sistemas de información geográfica se ponderaron las variables para posteriormente sumar los valores obtenidos y estandarizarlos en un rango de 0 a 10, donde los valores más altos corresponden a las áreas con mayor aptitud agrícola.

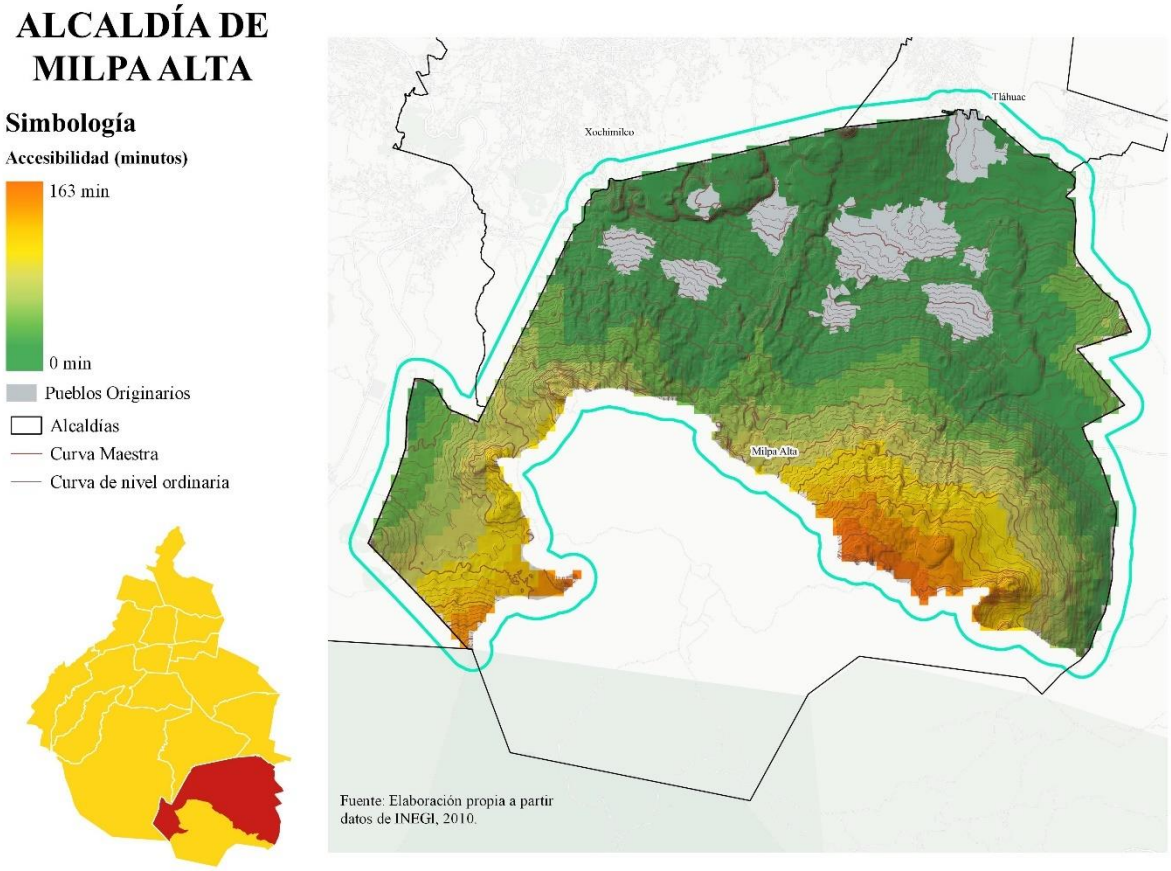
Figura 19. Aptitud agroforestal del Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



La aptitud agroforestal puede definirse como la capacidad que tiene el suelo para desarrollar actividades relacionadas con el cultivo de una o varias especies agrícolas junto con una o más especies arbóreas o arbustivas (PAOT, 2012). Para definir las áreas de aptitud agroforestal se utilizaron las variables de: 1) fertilidad del suelo como el criterio más importante, representada principalmente por suelos del tipo feozem y andosol; 2) la pendiente entre el 0% y 30% como óptima; y 3) la accesibilidad, entendida ésta como la existencia de caminos para el transporte

de los productos. Con el uso de sistemas de información geográfica se ponderaron las variables para posteriormente sumar los valores obtenidos y estandarizarlos en un rango de 0 a 10, donde los valores más altos corresponden a las áreas con mayor aptitud agroforestal (Figura 19).

Figura 20. Accesibilidad del Área de estudio de los AHI en la alcaldía de Milpa Alta



Finalmente, se empleó un mapa de accesibilidad a las localidades de diferente tamaño poblacional que se construyó mediante el Índice Compuesto de Accesibilidad a Localidades (ICAL) a partir de la aplicación del modelo Travel Time Cost Surface Model (TTCSM), el cual calcula el tiempo de viaje de un conjunto de localizaciones puntales definidas a las localizaciones de interés (Frakes *et al.*, 2015). El resultado de este modelo consiste en una superficie tipo ráster en el que cada celda contiene el valor en minutos correspondiente al

menor tiempo de traslado desde la localidad más cercana de 20 a 249 999 habitantes y de 250 00 habitantes y más (Figura 20).

La valoración del daño ambiental se realizó para los AHI presentes en cada uno de los poblados de Milpa Alta (Cuadro 1). Sin embargo, dicha valoración, únicamente ha podido ser elaborada para 27 AHI correspondientes a los poblados de San Francisco Tecoxpa, San Jerónimo Miacatlán, San Juan Tepenáhuac, San Lorenzo Tlacoyucan y Santa Ana Tlacotenco. Correspondientes a los datos disponibles del levantamiento del censo del 10 al 24 de marzo de 2020[7]

El cálculo del índice de incidencia se logra como resultado de la valoración del daño ambiental de cada uno de los subfactores propuestos teniendo en cuenta los siguientes atributos: signo del efecto, momento, inmediatez, persistencia, continuidad, periodicidad, acumulación, sinergia, reversibilidad, y recuperación. Para cada atributo se atribuyó una valoración numérica entre 1 y 3, siendo la de menor impacto la valoración de 1 y la de mayor impacto la valoración de 3 (SEMARNAT; 2017; Gómez-Orea y Gómez-Villarino, 2013). Para la normalización de los valores del índice de incidencia entre 0 y 1, se emplea la siguiente expresión

$$\text{Incidencia} = I - I_{min} / I_{max} - I_{min}$$

En donde:

I = El valor de la incidencia obtenido por un impacto

[7] Aunque los resultados del levantamiento del censo del 10 al 24 de marzo de 2020 reportan avances para los AHÍ de Villa Milpa Alta, estos únicamente reportan resultados para 16 de los 17 AHI, por lo que han sido excluidos de este reporte. No obstante, una vez que se tengan los resultados completos del Censo, serán incorporados a la valoración de impactos juntos con los AHÍ de los poblados hasta ahora no censados.

I_{max} = El valor de la expresión en el caso de que los atributos se manifestaran con el mayor valor.

I_{min} =El valor de la expresión en el caso de que los atributos se manifestaran con el menor valor

A continuación, se presentan los resultados del índice de incidencia calculados para los AHI de los poblados de San Francisco Tecoxpa, San Jerónimo Miacatlán, San Juan Tepenáhuac, San Lorenzo Tlacoyucan y Santa Ana Tlacotenco. Cada cuadro contiene la valoración de las afectaciones potenciales analizadas para cada uno de los mismos subfactores seleccionados para los AHI de cada uno de los 5 poblados analizados hasta ahora.

Cuadro 5. Valoración de las afectaciones potenciales analizadas para cada uno de los subfactores propuestos para los AHI de San Francisco Tecoxpa

Factor	Atributos del Impacto	Signo del efecto	Momento	Inmediatez	Persistencia	Continuidad	Periodicidad	Acumulación	Sinergia	Reversibilidad	Recuperación	INCIDENCIA	ÍNDICE DE INCIDENCIA
Hidrología	Aptitud de infiltración	-	2	2	2	1	1	2	1	1	1	13	0.2222
Geología y geomorfología	Pendiente	-	1	1	1	2	2	1	1	1	1	11	0.1111
Procesos del medio abiótico	Riesgo por eventos de precipitación intensa	-	1	1	1	1	2	1	1	1	1	10	0.0556
Vegetación	Almacenamiento de carbono	-	2	2	1	2	1	2	1	1	1	13	0.2222
Vegetación	Áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Procesos del medio biótico	Fragilidad ecológica	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	10	0.0556
Usos productivos	Aptitud agrícola	-	3	3	3	3	2	2	3	3	3	25	0.8889

Usos productivos	Aptitud agroforestal	-	3	3	2	2	2	2	3	3	3	23	0.7778
Infraestructura	Accesibilidad	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18	0.5000
PGOEDF	Categorías de manejo del PGOEDF	-	2	2	2	1	1	2	2	1	1	14	0.2778
PDDU	Categorías de uso del suelo del PDDU	-	2	2	2	1	1	1	2	2	1	14	0.2778
Población	Densidad de población (hab/km2)	-	3	3	2	2	2	3	3	3	3	24	0.8333
Población	Porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía	-	2	2	1	2	1	2	2	1	2	15	0.3333
Población	Porcentaje de la población estudiando dentro del área de influencia	-	2	1	1	1	1	2	1	1	1	11	0.1111
Vivienda	Viviendas con acabados externos (aplanado y pintado)	-	2	1	2	2	1	2	1	2	2	15	0.3333
Vivienda	Luz eléctrica del servicio público (Contrato con la CFE)	-	2	1	2	1	1	2	1	2	2	14	0.2778
Vivienda	Viviendas habitadas por más de 20 años	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.000
												Mag.	0.3105

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 6. Valoración de las afectaciones potenciales analizadas para cada uno de los subfactores propuestos para los AHI de San Jerónimo Miacatlán

Factor	Atributos del Impacto	Signo del efecto	Momento	Inmediatez	Persistencia	Continuidad	Periodicidad	Acumulación	Sinergia	Reversibilidad	Recuperación	INCIDENCIA	ÍNDICE DE INCIDENCIA
Hidrología	Aptitud de infiltración	-	2	2	2	1	1	2	1	2	1	14	0.2778
Geología y geomorfología	Pendiente	-	2	2	3	1	1	2	2	2	2	17	0.4444

Procesos del medio abiótico	Riesgo por eventos de precipitación intensa	-	1	1	1	1	2	1	1	1	1	10	0.0556
Vegetación	Almacenamiento de carbono	-	1	1	1	1	1	2	1	1	1	10	0.0556
Vegetación	Áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Procesos del medio biótico	Fragilidad ecológica	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	10	0.0556
Usos productivos	Aptitud agrícola	-	2	1	2	2	1	1	2	2	2	15	0.3333
Usos productivos	Aptitud agroforestal	-	3	3	2	2	2	2	3	3	3	23	0.7778
Infraestructura	Accesibilidad	-	3	3	3	3	2	2	3	2	2	23	0.7778
PGOEDF	Categorías de manejo del PGOEDF	-	2	2	2	1	1	2	2	1	1	14	0.2778
PDDU	Categorías de uso del suelo del PDDU	-	2	2	2	1	1	1	2	2	1	14	0.2778
Población	Densidad de población (hab/km2)	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18	0.5000
Población	Porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía	-	2	2	1	2	1	2	2	1	2	15	0.3333
Población	Porcentaje de la población estudiando dentro del área de influencia	-	2	1	1	1	1	2	1	1	1	11	0.1111
Vivienda	Viviendas con acabados externos (aplanado y pintado)	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Vivienda	Luz eléctrica del servicio público (Contrato con la CFE)	-	3	3	3	2	2	3	2	3	3	24	0.8333
Vivienda	Viviendas habitadas por más de 20 años	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
												Mag.	0.3007

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 7. Valoración de las afectaciones potenciales analizadas para cada uno de los subfactores propuestos para los AHI de San Juan Tepenáhuac

Factor	Atributos del Impacto	Signo del efecto	Momento	Inmediatez	Persistencia	Continuidad	Periodicidad	Acumulación	Sinergia	Reversibilidad	Recuperación	INCIDENCIA	ÍNDICE DE INCIDENCIA
Hidrología	Aptitud de infiltración	-	2	2	2	1	2	2	1	2	1	15	0.3333
Geología y geomorfología	Pendiente	-	2	2	3	1	1	2	2	2	2	17	0.4444
Procesos del medio abiótico	Riesgo por eventos de precipitación intensa	-	1	1	1	1	2	1	1	1	1	10	0.0556
Vegetación	Almacenamiento de carbono	-	3	3	3	3	3	3	2	3	2	25	0.8889
Vegetación	Áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad	-	2	2	3	3	2	2	2	2	3	21	0.6667
Procesos del medio biótico	Fragilidad ecológica	-	1	1	2	1	1	1	1	2	1	11	0.1111
Usos productivos	Aptitud agrícola	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Usos productivos	Aptitud agroforestal	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Infraestructura	Accesibilidad	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18	0.5000
PGOEDF	Categorías de manejo del PGOEDF	-	3	2	2	1	1	2	2	2	2	17	0.4444
PDDU	Categorías de uso del suelo del PDDU	-	3	3	3	2	2	2	3	3	2	23	0.7778
Población	Densidad de población (hab/km2)	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18	0.5000
Población	Porcentaje de la población	-	2	2	1	2	1	2	2	1	2	15	0.3333

	trabajando dentro de la alcaldía												
Población	Porcentaje de la población estudiando dentro del área de influencia	-	2	1	1	1	1	2	1	1	1	11	0.1111
Vivienda	Viviendas con acabados externos (aplanado y pintado)	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Vivienda	Luz eléctrica del servicio público (Contrato con la CFE)	-	2	2	2	1	1	2	1	2	2	15	0.3333
Vivienda	Viviendas habitadas por más de 20 años	-	2	2	1	1	1	1	1	2	2	13	0.2222
												Mag.	0.3366

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 8. Valoración de las afectaciones potenciales analizadas para cada uno de los subfactores propuestos para los AHI de San Lorenzo Tlacoyucan

Factor	Atributos del Impacto	Signo del efecto	Momento	Inmediatez	Persistencia	Continuidad	Periodicidad	Acumulación	Sinergia	Reversibilidad	Recuperación	INCIDENCIA	ÍNDICE DE INCIDENCIA
Hidrología	Aptitud de infiltración	-	3	3	3	2	2	3	2	3	2	23	0.7778
Geología y geomorfología	Pendiente	-	2	2	3	1	1	2	2	2	2	17	0.4444
Procesos del medio abiótico	Riesgo por eventos de precipitación intensa	-	2	2	1	2	3	2	2	2	2	18	0.5000
Vegetación	Almacenamiento de carbono	-	2	2	2	2	1	2	1	1	1	14	0.2778
Vegetación	Áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000

Procesos del medio biótico	Fragilidad ecológica	-	2	2	3	2	2	2	2	3	2	20	0.6111
Usos productivos	Aptitud agrícola	-	2	1	2	2	1	1	2	2	2	15	0.3333
Usos productivos	Aptitud agroforestal	-	2	1	2	1	1	1	2	2	2	14	0.2778
Infraestructura	Accesibilidad	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
PGOEDF	Categorías de manejo del PGOEDF	-	3	3	3	2	2	3	3	2	2	23	0.7778
PDDU	Categorías de uso del suelo del PDDU	-	3	3	3	2	2	2	3	3	2	23	0.7778
Población	Densidad de población (hab/km2)	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Población	Porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía	-	3	3	3	3	2	3	3	2	3	25	0.8889
Población	Porcentaje de la población estudiando dentro del área de influencia	-	2	1	2	1	1	2	1	1	1	12	0.1667
Vivienda	Viviendas con acabados externos (aplanado y pintado)	-	1	1	1	1	1	2	1	1	1	10	0.0556
Vivienda	Luz eléctrica del servicio público (Contrato con la CFE)	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000
Vivienda	Viviendas habitadas por más de 20 años	-	2	2	2	2	2	2	2	3	3	20	0.6111
												Mag.	0.3824

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 9. Valoración de las afectaciones potenciales analizadas para cada uno de los subfactores propuestos para los AHI de Santa Ana Tlacotenco.

Factor	Atributos del Impacto	Signo del efecto	Momento	Inmediatez	Persistencia	Continuidad	Periodicidad	Acumulación	Sinergia	Reversibilidad	Recuperación	INCIDENCIA	ÍNDICE DE INCIDENCIA
Hidrología	Aptitud de infiltración	-	3	3	3	2	2	3	2	3	2	23	0.7778
Geología y geomorfología	Pendiente	-	2	2	3	1	1	2	2	2	2	17	0.4444
Procesos del medio abiótico	Riesgo por eventos de precipitación intensa	-	1	1	1	1	2	1	1	1	1	10	0.0556
Vegetación	Almacenamiento de carbono	-	3	3	3	3	3	3	2	3	2	25	0.8889
Vegetación	Áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad	-	1	1	1	2	1	1	1	2	2	12	0.1667
Procesos del medio biótico	Fragilidad ecológica	-	2	2	3	2	2	2	2	3	2	20	0.6111
Usos productivos	Aptitud agrícola	-	2	1	2	2	1	1	2	2	2	15	0.3333
Usos productivos	Aptitud agroforestal	-	2	1	2	1	1	1	2	2	1	13	0.2222
Infraestructura	Accesibilidad	-	2	2	2	3	2	2	3	2	2	20	0.6111
PGOEDF	Categorías de manejo del PGOEDF	-	3	3	3	2	2	3	3	2	2	23	0.7778
PDDU	Categorías de uso del suelo del PDDU	-	3	3	3	2	2	2	3	3	2	23	0.7778
Población	Densidad de población (hab/km2)	-	2	2	2	1	2	2	2	2	2	17	0.4444
Población	Porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía	-	2	2	1	2	1	2	2	1	2	15	0.3333
Población	Porcentaje de la población estudiando dentro del área de influencia	-	2	1	1	1	1	2	1	1	1	11	0.1111
Vivienda	Viviendas con acabados externos	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.0000

	(aplanado y pintado)												
Vivienda	Luz eléctrica del servicio público (Contrato con la CFE)	-	2	2	2	1	1	2	1	2	2	15	0.3333
Vivienda	Viviendas habitadas por más de 20 años	-	2	2	1	1	1	1	1	3	3	15	0.3333
												Mag.	0.4248

Fuente: Elaboración Propia.

Descripción de cada uno de los daños ambientales ilustrados

La descripción de los daños ambientales identificados en los AHI de cada uno de los pueblos originarios evaluados, se presentan a continuación, para finalizar con una discusión sobre la magnitud total de los efectos en todos los poblados evaluados

Descripción de los daños ambientales identificados para los AHI de San Francisco Tecoxpa

El poblado de San Francisco Tecoxpa, es uno de los pueblos originarios conurbados a Villa Milpa Alta. Se ubica al noreste de la sede de la alcaldía y comparte límites con san Agustín Othenco y San Jerónimo Miacatlán. De acuerdo con el Inventario de AHI de Milpa Alta del CentroGeo (2020) cuenta con 4 AHI, Emiliano Zapata, Prolongación Independencia, Prolongación 20 de noviembre y Xicalhuacam, que en conjunto agrupan 240 predios.

Los factores asociados con el subsistema físico natural presentan en general valores de incidencia bajos en cuanto a los impactos, siendo alteraciones de muy bajo impacto a componentes y factores que no comprometen la integridad del entorno. No obstante, los factores relacionados con la prestación de servicios ecosistémicos relacionados con la aptitud de infiltración y la captura de carbono muestran un valor de incidencia de 0.2222, que aun siendo poco relevante en los impactos de los AHI de San Francisco Tecoxpa al entorno, resultan los más significativos dentro de este subsistema.

Con respecto del subsistema socioeconómico, se pueden observar los valores de incidencia más altos, principalmente asociado con la aptitud agrícola el cual muestra un valor de 0.8889, asociado a la cercanía de los asentamientos con la zona de mayor productividad agrícola de la alcaldía. De igual forma se observan valores altos de incidencia para la aptitud agroforestal (0.7778) y la accesibilidad (0.5000), asociada esta última a la cercanía de los asentamientos con Villa Milpa Alta y San Antonio Tecomitl.

Con respecto del subsistema político-institucional, los AHI de San Francisco tienen la densidad de población más alta de todos los AHI evaluados, lo que se traduce en un índice de incidencia de 0.8333. Otros factores con incidencia en la evaluación de los impactos evaluados, corresponde a los factores de población relacionados al porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía y a la proporción de viviendas con acabados externos de aplanado y pintura, lo que sin duda puede explicarse a partir de su cercanía de nuevo con los asentamientos de Villa Milpa Alta y San Antonio Tecomitl.

Descripción de los daños ambientales identificados para los AHI de San Jerónimo Miacatlán

San Jerónimo Miacatlán se ubica conurbado con los poblados de San Agustín Othenco, San Francisco Tecoxpa y Villa Milpa Alta. De acuerdo con el Inventario de AHI de Milpa Alta del CentroGeo (2020) se reportan 3 AHI, Prolongación Roma Sur, Tepetlapa y Pipitonco, que en conjunto reportan una superficie de apenas 69 ha distribuidas en 129 predios con AHI.

De los factores asociados con el subsistema físico natural, las principales afectaciones de los AHI al entorno, es su ocupación en zonas de pendientes mayores a 9 grados, lo que representa una incidencia de 0.4444; así como afectaciones a la aptitud de infiltración con una incidencia de 0.2778 que es considerada como no relevante, sobresale del resto de los demás factores ambientales evaluados.

Con relación a los factores del subsistema socioeconómico, estos muestran la mayor afectación principalmente los referidos a la accesibilidad y a la aptitud agroforestal del entorno. Ambos con una incidencia de 0.7778, reflejan por un lado la accesibilidad a menos de 4 minutos en promedio a San Jerónimo Miacatlán, así como el alto valor de aptitud agroforestal que aún conserva el entorno donde se sitúan los 3 AHI evaluados.

Para San jerónimo Miacatlán, el factor relacionado con viviendas que untan con servicio de luz eléctrica del servicio público, es decir bajo un contrato de la Comisión federal de Electricidad (CFE), representa el mayor la incidencia más alta (0.8333), ya que más del 66 % de las viviendas censadas en estos 3 AHI tienen un contrato de servicio de luz eléctrica, lo que refleja un avance en la formalización de servicios, pero que sin embargo no es relevante para los factores de antigüedad de la vivienda y acabados externos con aplanado y pintura. Igualmente es relevante la densidad de la población de los AHI (0.5000) materializada por una densidad de 338 habitantes por kilómetro cuadrado.

Descripción de los daños ambientales identificados para los AHI de San Juan Tepenáhuac

San Juan Tepenáhuac se ubica al sureste de San Jerónimo Miacatlán y sus asentamientos se distribuyen hacia el oriente del poblado. Se trata de un entorno que se ubica entre los poblados de San Francisco Tecoxpa y Santa Ana Tlacotenco en el que se ubican 5 AHI, Acolapa, Caino a San Diego, Palo Dulce (Bugambilias), Prolongación Morelos Sur y Tecpayo, en el que se agrupan 201 predios.

Los AHI de San Juan Tepenáhuac, principalmente los ubicados más al oriente, se localizan dentro de una de las zonas más conservadas de la zona agrícola de la alcaldía de Milpa Alta, por lo que, para este caso, la incidencia de los factores pertenecientes al subsistema físico natural presenta valores altos. Principalmente los referidos al almacenamiento de carbono (0.8889), así como las afectaciones a las áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad (0.6667). Adicionalmente, también son moderadamente

relevantes las afectaciones al entrono por la ubicación de AHI en zonas de alta pendiente (0.4444) y la aptitud de infiltración (0.3333).

Para los factores del subsistema socioeconómico, únicamente fue moderadamente relevante la afectación por accesibilidad, ya que los AHI de San Juan Tepenáhuac se encuentran accesibles a 5 minutos del resto de los poblados.

Con respecto del subsistema político-institucional, aquí se resultan importantes las afectaciones a los instrumentos de ordenamiento territorial, ya que, al ubicarse en una zona de alto valor ambiental, las categorías de manejo tanto del PDDU como del PGOEDF son incompatibles con la presencia de los asentamientos evaluados. Los valores de incidencia encontrados para estos factores fueron de 0.7778 y 0.4444 respectivamente. Finalmente, otros factores evaluados como moderadamente relevantes dentro de este subsistema fueron los relacionados a la densidad de población (0.5000); así como el porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía y la proporción de viviendas con un contrato de servicio de luz eléctrica.

Descripción de los daños ambientales identificados para los AHI de San Lorenzo Tlacoyucan

San Lorenzo Tlacoyucan se ubica al sur de Villa Milpa Alta y sus 3 AHI evaluados, Cuescomatepec (Tlacopac), San Marcos y Santa Cruz, agrupados en 102 predios, se extienden ampliamente hacia el sur oeste del poblado, lo que los ubica en la zona de transición hacia la zona forestal de la alcaldía. Estos AHI tienen una superficie total de 559 ha de las cuales Cuescomatepec (Tlacopac) ocupa el 75 %.

Dentro del subsistema físico natural, el factor con una mayor incidencia correspondió a la aptitud de infiltración con un valor de 0.7778, seguido del impacto a la fragilidad ecológica con un valor de 0.6111, ambos catalogados como relevantes, debido a que el entorno en el que se ubican los AHI corresponde a una zona de alto valor de infiltración. Adicionalmente este entorno resulto también con un valor moderadamente significativo de incidencia para el factor

asociado con el riesgo por eventos de precipitación intensa, cuyo valor de 0.5000; así como la presencia de AHI en zonas de alta pendiente (0.4444). Para los factores del subsistema socioeconómico, únicamente fueron apenas relevantes las afectaciones por aptitud agrícola y agroforestal con valores de 0.3333 y 0.2778. Para este conjunto de AHI la accesibilidad resulto ser no relevante, ya que se trata de los AHI más aislados de todo el conjunto bajo evaluación. Ya que en promedio se encuentran a más de 10 minutos de otros asentamientos.

Los factores asociados al subsistema político-institucional fueron de gran incidencia para los AHI de San Lorenzo Tlacoyucan, principalmente los que se refieren a los instrumentos de ordenamiento territorial. Para ambos casos, tanto el PDDU como del PGOEDF mostraron valores altos de incidencia (0.7778). Pero de igual manera, el Porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía y la proporción de Viviendas habitadas por más de 20 años mostraron valores muy relevantes, 0.8889 y 0.6111 respectivamente.

Descripción de los daños ambientales identificados para los AHI de Santa Ana Tlacotenco

Santa Ana Tlacotenco es el pueblo originario ubicado más al sureste de la alcaldía, ubicado al sur de San Juan Tepenahuac y Villa Milpa Alta. Agrupa un total de 201 predios distribuidos dentro de 12 AHI, Acapultitla, Ahuacazoltzintla, Ahuatlixco, Camino a San Miguel, Cuacuatlicpa, El Mecánico, Floresco, Morelos sur, Prolongación Francisco Villa, Prolongación Guadalupe Victoria, Tlahuispa y Tlicotoco.

Santa Ana Tlacotenco se encuentra ubicada a la entrada de la principal zona forestal de la alcaldía, por lo que, al realizar la valoración, registro y descripción de daños ambientales presentes en estos asentamientos, los factores relacionados con el subsistema físico natural resultaron muy relevantes, principalmente los relacionados con el almacenamiento de carbono (0.8889), la aptitud de infiltración (0.7778) y la fragilidad ecológica. Por lo que se puede decir que la mayor incidencia de estos AHI dentro de este entorno corresponde a la pérdida de servicios ecosistémicos.

Con respecto del subsistema socioeconómico, únicamente fue relevante la accesibilidad (0.6111); así como apenas moderadamente relevante la aptitud agrícola (0.3333). Por su parte el subsistema político-institucional, muestra factores relevantes relacionados con los instrumentos de ordenamiento territorial, en donde tanto el PDDU como del PGOEDF mostraron valores altos de incidencia (0.7778).Adicionalmente, la densidad de población (0.4444), junto con el porcentaje de la población trabajando dentro de la alcaldía, las viviendas con un contrato de luz y habitadas por más de 20 años, fueron apenas moderadamente relevantes al presentar todos un valor de 0.3333.

Magnitud total de los efectos

A manera de conclusión los daños ambientales observados en los AHI hasta ahora evaluados se comportan presentando un índice de incidencia con valores que van de 0.3007 para San Jerónimo Miacatlán, hasta 0.4248 para Santa Ana Tlacotenco. Por lo que basándose en el cuadro 3, los AHI de los poblados de San Jerónimo Miacatlán y San Francisco Tecoxpa (0.3105) serian clasificados con afectaciones no relevantes; mientras que San Juan Tepenáhuac (0.3366) y San Lorenzo Tlacoyucan (0.3824) serían clasificados con afectaciones apenas moderadamente relevantes. Por lo que únicamente los AHI de Santa Ana Tlacotenco, caerían en la categoría de moderadamente relevantes. Por lo que en general las afectaciones de todo el conjunto de AHI evaluados serian clasificadas como moderadamente relevantes, en las que se presentan alteraciones de moderado impacto tanto a los componentes como a los factores que comprenden dichos entornos evaluados y cuyas afectaciones observadas corresponde principalmente con factores de tipo ambiental y productivo (principalmente agrícola) con implicaciones en los factores de ordenamiento territorial y característica de las viviendas, principalmente relacionadas con la formalización de servicios básicos.

CONCLUSIONES

En este informe de avances del "Estudio de impacto ambiental de los asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación de la Alcaldía de Milpa Alta", se ha reportado la caracterización socioambiental, así como la ilustración de los resultados de la evaluación de

impactos de acuerdo con la metodología propuesta en la Guía Línea de Base Ambiental (SEMARNAT, 2017), a partir de una adaptación de la obra de Gómez-Orea y Gómez-Villarino (2013). Los resultados obtenidos han permitido ilustrar la evaluación de impactos mediante el índice de incidencia para los AHI de los poblados de San Francisco Tecoxpa, San Jerónimo Miacatlán, San Juan Tepenáhuac, San Lorenzo Tlacoyucan y Santa Ana Tlacotenco.

Como siguientes pasos se espera la reanudación del censo de predios y viviendas en los asentamientos humanos irregulares de Milpa Alta, asociado al Inventario de AHI del CentroGeo (2000), que permitan la evaluación de impacto de los AHI de los 7 poblados faltantes. Adicionalmente, se llevará a cabo la realización de un taller de expertos para fortalecer la propuesta metodológica, así como la realización de visitas de campo para la validación de los resultados de la evaluación, para con ello iniciar la etapa de generación y construcción de recomendaciones que responda a la necesidad específica de contener el crecimiento de los asentamientos humanos irregulares sobre áreas de conservación ecológica, y reducir así el impacto negativo que este fenómeno tiene sobre el medio ambiente urbano.

REFERENCIAS

Abellán, M. A., & del Cerro Barja, A. (1993). Referencia a tres de los métodos más utilizados en la valoración de impactos ambientales. Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete, (8), 199-210.

André, P., Delisle, C. E., & Revéret, J. P. (2004). *Environmental assessment for sustainable development: processes, actors and practice*. Presses inter Polytechnique.

Azuela, A., & Cancino, M. A. (2011). Los asentamientos humanos y la mirada parcial del constitucionalismo mexicano. S. López y J. Fernández (coords.), Derecho urbanístico, 143-185.

Bond, A. y J. Pope (2012), "The State of the Art of Impact Assessment in 2012", *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30 (1), pp. 1-4.

Bonilla, A. G. (2017). Los programas de pago por servicios en Milpa Alta. Un análisis desde la ecología política feminista. *Sociedad y Ambiente*, (15), 93-116.

Bonilla-Rodríguez, R. (2014). Urbanización rural y economía agrícola de sobrevivencia en la Delegación Milpa Alta. *Argumentos* (México, DF), 27(74), 195-215.

CentroGeo (Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial). (2020). Censo de predios y viviendas en los sentamientos humanos irregulares de Milpa Alta, asociado al Inventario de Asentamientos Humanos Irregulares de Milpa Alta. Ciudad de México, México. http://milpaalta.centrogeo.org.mx

Chavira, F. (1992), "Donde se relata el origen de los habitantes de Milpa Alta", en Iván Gómez César (coord.), Historia de mi pueblo. Historia y cultura de Milpa Alta, vol. 2, Memoria Histórica, México, CEHAM, pp. 20-36.

Correa Jahn, A. (2010). Beneficios ambientales de nuevas propuestas de hábitat urbano en el Valle de Aburrá–Caso: Parque Residencial Ecológico La Aldea– (Doctoral dissertation, Universidad EIA).

Delgado, J., Galindo, C., & Ricárdez, M. (2008). La difusión de la urbanización o cómo superar la dicotomía rural-urbana. J. Delgado, La urbanización difusa de la Ciudad de México. *Otras miradas sobre un espacio antiguo*, 43-74.

Frakes, B. T., Flowe, T., & Sherrill, K. R. (2015). National park service travel time cost surface model (TTCSM). Natural Resource Report NPS/NRSS/NRR—2015/933. National Park Service, Fort Collins, CO.

Gebhardt, S., Wehrmann, T., Ruiz, M. A. M., Maeda, P., Bishop, J., Schramm, M., ... & Santos, L. A. (2014). MAD-MEX: automatic wall-to-wall land cover monitoring for the Mexican REDD-MRV program using all Landsat data. *Remote Sensing*, 6(5), 3923-3943.

Gebhardt, S., Maeda, P., Wehrmann, T., Argumedo Espinoza, J., & Schmidt, M. (2015). A proper land cover and forest type classification scheme for Mexico. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences.*

Galeana, P. J. M., Núñez, H. J. M., Corona, R. N. (2016). Remote Sensing-Based Biomass Estimation. Environmental applications of remote sensing. Maged Marghany (Editor). InTech. ISBN 978-953-51-4628-5

Godoy, R. A. (1953). Fundaciones de los pueblos de Malacachtepec Momoxco. México: Vargas Rea.

Gómez-Orea, D., & Gómez-Villarino, M. (2013). Evaluación de impacto ambiental. 3era Edición. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España

Higuera-Meneses, C. (2012). El crecimiento de los asentamientos irregulares en suelo de conservación ambiental: amenazas y vulnerabilidades del territorio del distrito federal. El caso de la delegación milpa alta. Geotech.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014ª). Guía para la interpretación de la cartografía de erosión del suelo escala 1: 250 000 Serie I. INEGI, Aguascalientes, México. ISBN 978-607-739-013-8.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014b). Erosión de suelos en México, escala 1: 250 000. Boletín de prensa Núm. 295/14 2014. INEGI, Aguascalientes, México. http://www.noodls.com/view/

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2013). Continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0). INEGI, Aguascalientes, México. https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/index.jsp

Luyo Carrasco, A. F. (2019). Aplicación del modelo cuantitativo-battelle columbus para la caracterización ambiental del entorno de un proyecto minero.

Morgan, R. K. (2012), "Environmental Impact Assessment: The State of the Art", *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30 (1), pp. 5-14.

Nooteboom, S. (2007). Impact assessment procedures for sustainable development: A complexity theory perspective. *Environmental Impact Assessment Review*, 27(7), 645-665.

Núñez, J. M. (2015). El mapeo de la composición urbana. Un contraste entre la dispersión y las formas urbanas compactas en el sur de la Ciudad de México. En: H. Quiroz (comp.). *Ciudad compacta: del concepto a la práctica*. Universidad Nacional Autónoma de México, 211-225.

Núñez, H. J. M., Romero, M. M. (2016). Imperativos para una trayectoria de sustentabilidad: áreas arboladas y planeación territorial. En Tendencias territoriales determinaste del futuro de la Ciudad de México. Mohar-Ponce, A. (Coordinador). Consejo Económico y Social de la Ciudad de México. 2016. Pp. 311-339.

PAOT (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la CDMX). (2012). Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal. Secretaría de Medio Ambiente. Ciudad de México, México.

Perevochtchikova, M., & Colorado, V. M. T. (2014). Análisis comparativo de dos instrumentos de conservación ambiental aplicados en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. Sociedad y Ambiente, 1(3), 3-25.

Perevochtchikova, M., & Negrete, I. A. R. (2013). Development of an indicator scheme for the environment impact assessment in the Federal District, Mexico.

Rivera, T. M. G. (2016). *El poblamiento en el suelo de conservación el caso de San Antonio Tecómitl en la Delegación Milpa Alta* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México).

Weston, J. (2000), "EIA, Decision-making Theory and Screening and Scoping in UK Practice", Journal of Environmental Planning and Management, 43 (2), pp.185-203.

Wood, C. (2003). Environmental impact assessment in developing countries. *International Development Planning Review*, 25(3), 301-321.

Proyecto "Análisis Físico Territorial para el Control y Tratamiento de los Asentamientos Humanos Irregulares en Suelo de Conservación Ecológica de la Alcaldía de Milpa Alta"

(Quinta entrega)

Agosto 24 2020

Resumen ejecutivo del Propuesta para abastecimiento de agua potable y tratamiento de residuos sólidos y líquidos mediante tecnologías alternativas en los asentamientos humanos irregulares de Milpa Alta. Estado del arte internacional

Este entregable contiene el estado del arte internacional sobre técnicas alternativas para el abastecimiento de agua potable y tratamiento de residuos sólidos y líquidos.

Este estudio hace una revisión alrededor de las diferentes regiones y países del mundo que utilizan técnicas alternativas de abastecimiento y saneamiento del agua. En referencia a las técnicas alternativas de abastecimiento de agua se documentan casos en Kenia y Botsuana, en el continente africano; Estados Unidos de América, Guatemala, El Salvador, República Dominicana, Brasil y Chile en el americano, Bangladesh e India en Asía; Reino Unido e Irlanda en Europa y Australia en Oceanía (Tabla 1.0 Resumen de técnicas alternativas de abastecimiento de agua potable implementadas en el mundo y Mapa 1.0 Casos en el mundo donde se aplican técnicas alternativas de abastecimiento y de saneamiento de agua).

Con respecto a las técnicas alternativas de saneamiento se registran casos en Níger y Malawi, en África, Estados unidos de América, Honduras, Ecuador y Brasil en América;, India y Armenia en Asia; Suecia en Europa y los Estados Federados de Micronesia en Oceanía (Tabla 1.1 Técnicas representativas de saneamiento en el mundo y Mapa 1.0 Casos en el mundo donde se aplican técnicas alternativas de abastecimiento y de saneamiento de agua).

Tabla 1.0 Resumen de técnicas alternativas de abastecimiento de agua potable implementadas en el mundo.

TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA						
Continente o región	**Lugar**		**Población**		**Técnica**	**Características**
	País	**Localización**	**Urbana**	**Rural**		
ÁFRICA	Kenia	Alrededor del país	*	*	Sistema de lluvia segura y almacenamiento por "Jarras de agua"	Sistema de separación de primeras aguas y almacenamiento con materiales de bambú cuyas capacidades son de 3 a 6 m^3.
	Botsuana	Alrededor del país		*	Sistema de captación de agua de lluvia ALDEP	Sistema compuesto por un área de recolección de aguas de a nivel de terreno, filtro de elementos pétreos que interconecta a una cisterna con la finalidad de almacenar agua.
AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE	Guatemala	Guatemala (ciudad)	*		Sistema de captación de agua de lluvia	Se abastece de agua potable a escuelas y viviendas cercanas a éstas. Los beneficiarios son capacitados en el uso y mantenimiento del sistema.
	El Salvador	Región Tepetitán		*	Sistema de captación de agua de lluvia	El agua es almacenada en una cisterna flexible de polietileno. A partir de un sistema, 15 familias se abastecen.
	República Dominicana	Región Elías Piña		*	Sistema de captación de agua de lluvia	La dotación considera el consumo de cuatro personas y el riego de un huerto familiar por vivienda.
AMÉRICA DEL NORTE	Estados Unidos de América	Texas	*		Sistema de captación de agua de lluvia	Existen dos variantes del sistema en función del área de captación: uno que capta el agua de los techos; otro, de jardines, calles y estacionamientos.
AMÉRICA DEL SUR	Brasil	Alagoas, Bahía, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Río Grande do Norte, Sergipe y Minas Gerais	*	*	Sistema de captación de agua de lluvia	Sistema de captación de lluvia en techo de vivienda con dos tipos de cisternas: la de semisuperficie (hecha con segmentos prefabricados) y la de concreto con malla de alambre.
	Brasil	Pará	*		Sistema condominial para abastecimiento de agua	El sistema condominial consiste en la instalación del suministro; características de mayor eficiencia técnica de instalación y mayor regulación en los recursos por parte de la institución reguladora.

TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA						
Continente o región	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Localización	Urbana	Rural		
	Chile	Región del Huasco		*	Atrapanieblas	Los atrapanieblas son estructuras que se instalan a determinadas alturas en la costa o las montañas con el objetivo de captar las partículas de agua que posee la niebla, y poder aprovechar este recurso hídrico.
ASIA	Bangladesh	Khulna		*	Sistema de captación de agua de lluvia	Es común el uso de estos sistemas en las zonas rurales, aunque algunos son rudimentarios y no cuentan con sistema de desinfección.
	India	Nueva Delhi	*		Máquina expendedora de agua	Las máquinas surten agua al presentar una tarjeta de prepago. Funcionan las 24 horas del día y se pueden adquirir 20 l de agua por menos de un centavo de dólar.
EUROPA	Reino Unido	Exeter	*		Sistema de captación de lluvia	Compuesto por tres partes principales: captación, filtración y almacenamiento. Existen diferentes combinaciones en los componentes de acuerdo a las condiciones de la vivienda.
	Irlanda	Dublín	*		Sistema de captación de lluvia	Captación en techo de la vivienda, conducción por canaletas y tubos a un tanque de almacenamiento. El recurso sólo es usado para consumo humano con procesos de desinfección previos.
OCEANÍA	Australia	Sydney	*		Canaletas de almacenamiento	Sistema de canaletas de almacenamiento de techo; tienen tiene la ventaja de ser alimentadas por gravedad y, por lo tanto, no requieren bombas para suministrar agua para uso doméstico.

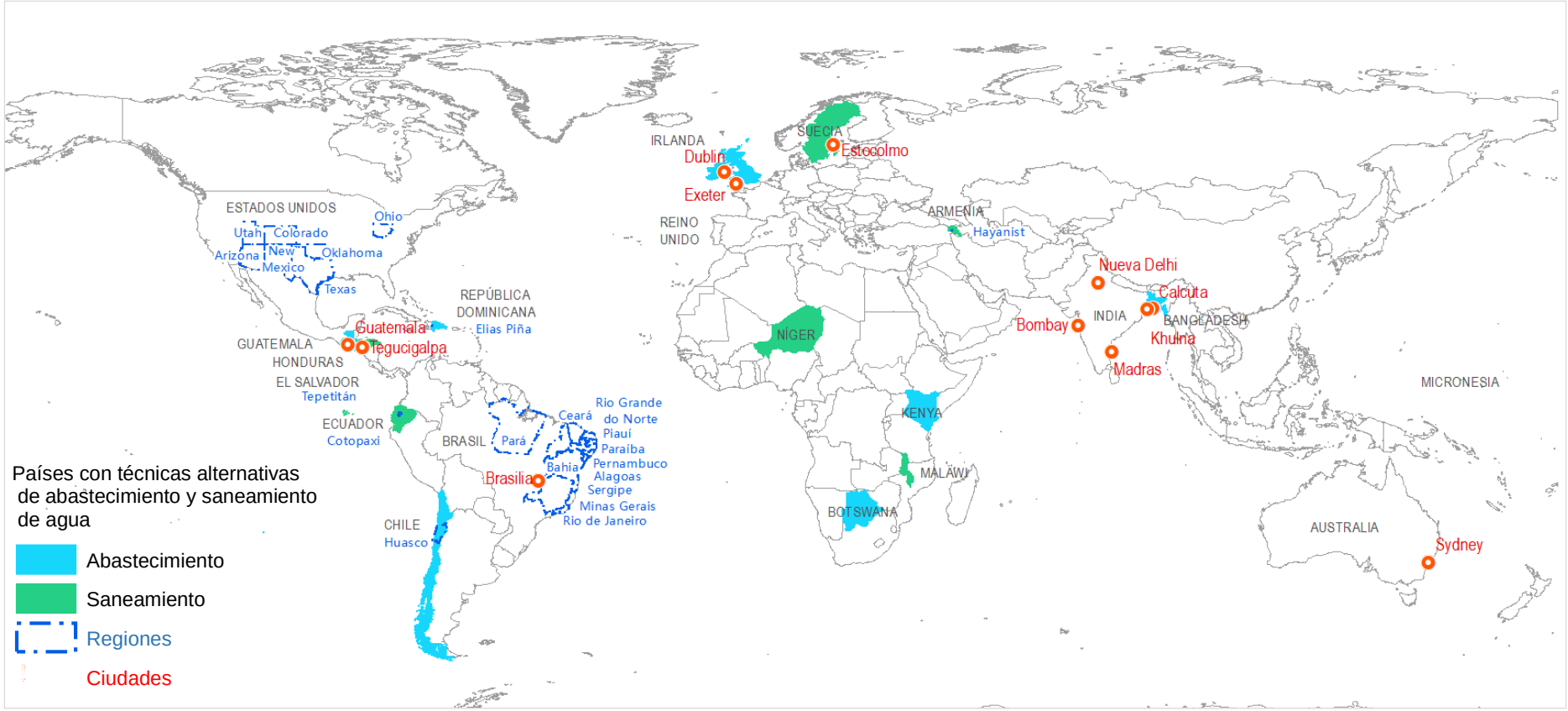
Tabla 1.1 Técnicas representativas de saneamiento en el mundo

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO						
Continente	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Región	Urbana	Rural		
ÁFRICA	Níger	En la zona sur del país	*	*	Fosa letrina-infiltración	Sistema de doble pozo, con el propósito de tener un pozo de infiltración y otro de recolección de excretas de menor costo.
	Malawi	Alrededor del país	*	*	Sistema Arborloo	Sistema cíclico, constituido principalmente por un pozo de recolección de excretas y una letrina móvil; al cabo de un año es retirado y, posteriormente, sobre el pozo lleno se planta un árbol.
AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE	Honduras	Tegucigalpa	*		Sistema de alcantarillado libre de sólidos	El sistema es una red de diámetro pequeño que conduce únicamente los líquidos provenientes de fosas sépticas conectadas entre sí. Por su parte, los sólidos son descargados a un colector por separado, ya que el sistema sólo conduce líquidos.
AMÉRICA DEL NORTE	Estados Unidos de América	Nuevo México, Colorado, Arizona y Utah		*	Fosa séptica	La fosa está compuesta por dos cámaras: en la primera sedimenta la mayoría de los sólidos, para pasar, a través de una trampa de grasas y espuma, a la segunda cámara, de la cual sale el efluente.
AMÉRICA DEL SUR	Ecuador	Provincia Cotopaxi	*	*	Sanitario seco de deshidratación	La cámara de deshidratación se utiliza por seis meses antes de cambiar a la siguiente; cada una tiene una tapa hecha con un bastidor de madera pintado de color negro, lo que contribuye a la absorción de calor para el proceso de deshidratación.
	Brasil	Brasilia, Río Grande do Norte, Río de Janeiro y Pará	*		Sistema condominial de alcantarillado	Consiste en atender como unidad de servicio a una manzana o grupo de viviendas que se denomina condominio. La red está conformada por cañerías internas dentro de la misma manzana, vinculando los distintos lotes y trasladando aguas residuales hasta otra red de mayor capacidad denominada "red pública".

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO						
Continente	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Región	Urbana	Rural		
ASIA	Armenia	Región Hayanist		*	Retrete seco con desviación de orina	El sistema funciona sin necesidad de agua para descarga. El retrete desvía la orina y los sólidos a diferentes depósitos donde son almacenados. Después de un periodo, los desechos son aprovechados como fertilizante.
	India	Nueva Delhi, Bombay, Calcuta y Madras	*		Letrina de sifón con dos pozos	Esta letrina consta de dos pozos; es capaz de derivar los desechos hacia uno de ellos cuando el segundo está lleno y emplea dos litros de agua en cada descarga. Posteriormente, los desechos pasan a un pozo de lixiviación. Los desechos pueden ser aprovechados para producir biogás o abono.
EUROPA	Suecia	Estocolmo	*		Sanitario seco de deshidratación	El sistema se basa en un proceso de deshidratación, tiene un diseño donde las heces y el papel higiénico caen a un depósito grande y la orina se canaliza a un tanque.
	Suecia	Alrededor del país	*	*	Sanitario seco de composta	Se trata de un sanitario de composta con una cámara donde se procesan orina, heces y los residuos orgánicos que produce la familia. Consta de una cámara de composta con piso inclinado, conductos de aire y, en el extremo más bajo, un área de almacenado, generalmente, cuenta con un conducto especial para los desperdicios de la cocina.
OCEANÍA	Micronesia	Pequeñas islas del Pacífico	*	*	Sanitario CCD (*Centre for Clean Development*)	Consiste de dos cámaras herméticas construidas sobre el nivel del piso (ambas se alternan). La excreta se deposita en un petate de hoja de palma que a su vez descansa en una red para pescar y queda suspendida dentro de la cámara (esto permite la aireación del material.

Ambas técnicas alternativas de abastecimiento y de saneamiento son presentadas en el siguiente mapamundi (Mapa 1.0 Países con técnicas alternativas de abastecimiento y saneamiento).

Mapa 1.0 Casos en el mundo donde se aplican técnicas alternativas de abastecimiento y de saneamiento de agua



CentroGeo

Centro de Investigación en
Ciencias de Información Geoespacial

Propuesta para abastecimiento de agua potable y tratamiento de residuos sólidos y líquidos mediante tecnologías alternativas en los asentamientos humanos irregulares de Milpa Alta

INFORME PARCIAL

19 de junio de 2020

Ingesproc s.a. de c.v.

ÍNDICE

1. GENERALIDADES 2
1.1. INTRODUCCIÓN 2
1.2. OBJETIVOS 3
1.3. ALCANCES 3
2. ESTADO DEL ARTE INTERNACIONAL 5
2.1. TÉCNICAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE 9
2.1.1. África 9
2.1.2. América Central y el Caribe 13
2.1.3. América del Norte 18
2.1.4. América del Sur 21
2.1.5. Asia 28
2.1.6. Europa 31
2.1.7. Oceanía 36
2.2. TÉCNICAS DE DRENAJE 38
2.2.1. África 38
2.2.2. América Central y el Caribe 42
2.2.3. América del Norte 44
2.2.4. América del Sur 46
2.2.5. Asia 49
2.2.6. Europa 52
2.2.7. Oceanía 55
3. ESTADO DEL ARTE NACIONAL 58
3.1. TÉCNICAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE 60
3.1.1. Aplicadas por instituciones gubernamentales 60
3.1.2. Desarrolladas por instituciones académicas y de investigación 64
3.2. TÉCNICAS DE DRENAJE Y SANEAMIENTO 68
3.2.1. Aplicadas por instituciones gubernamentales 68
3.2.2. Desarrolladas por instituciones académicas y de investigación 69
4. REFERENCIAS 72

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Los asuntos hídricos en la cuenca del Valle de México se suelen constituir en dos vertientes principales: por un lado, los asuntos relacionados con la mitigación de las inundaciones y, por el otro, aquellos vinculados con el abastecimiento de agua. Con el fin de abatir estas problemáticas, a partir del siglo XX, en la zona lacustre se presentaron estrategias de mayor eficiencia técnica, tales como el entubamiento de los ríos para el desalojo de aguas y la mejora en las líneas de conducción de agua potable.

Actualmente la Ciudad de México, la más poblada del país, con más de 8.9 millones de habitantes (INEGI, 2015), enfrenta problemas entre los que destacan: sobreexplotación de los acuíferos y disminución de las áreas de recarga (consecuencia del crecimiento demográfico en las últimas décadas); vulnerabilidad de la infraestructura hidráulica ante movimientos telúricos; lejanía de las fuentes de abastecimiento, incremento de fugas en la red , subsidencia del suelo en la zona lacustre, bombeo frecuente de las aguas residuales y, finalmente, inundaciones. Debido a esto, la ciudad se enfrenta al reto de asegurar un panorama sostenible de agua potable y saneamiento de forma permanente; sin prescindir de la capacidad física de la cuenca, así como de la relación técnica e institucional en la administración de los recursos hídricos y económicos.

Milpa Alta es la segunda alcaldía con mayor superficie y la de menor población. De acuerdo al último informe sobre la situación de pobreza y rezago por parte del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo social (CONEVAL, 2015), aproximadamente el 50% de la población se encuentra en situación de pobreza. Al contar con uso de suelo de conservación y tierras de propiedad comunal, la alcaldía representa un sitio estratégico para el bienestar ambiental de la ciudad; sin embargo, debido al crecimiento poblacional que ha tenido la alcaldía y a la expansión de las áreas cubiertas por asentamientos humanos, se ha presentado un incremento en la demanda de los servicios relacionados con el agua; lo que implica no sólo tener que cubrir el déficit correspondiente, sino proporcionar los servicios básicos a los pobladores que habitan áreas de conservación, de una forma sustentable.

Por lo anterior, el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial A.C. (Centro GEO), adscrito al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), solicitó la elaboración del estudio "Propuesta para abastecimiento de agua potable y tratamiento de residuos sólidos y líquidos mediante tecnologías alternativas en los asentamientos humanos irregulares de Milpa Alta", el cual se llevará a cabo en dos etapas.

En la primera etapa, se presenta el estado del arte de las tecnologías alternativas que se han desarrollado para el abastecimiento de agua potable y drenaje de aguas residuales en zonas rurales o suburbanas, tanto en el ámbito internacional, como nacional. Mientras que en la segunda etapa se describe el entorno físico y socioeconómico del área de estudio, así como la infraestructura existente; con el fin de contar con los elementos necesarios para seleccionar, adaptar y proponer tecnologías alternativas para el abastecimiento de agua y drenaje a los asentamientos irregulares establecidos en la alcaldía de Milpa Alta.

1.2. OBJETIVOS

Realizar un análisis de inteligencia para identificar propuestas de abastecimiento de agua potable y tratamiento de residuos mediante tecnologías alternativas en asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación de la alcaldía de Milpa Alta.

Del objetivo general del estudio, parten los siguientes objetivos particulares:

- Investigar qué tecnologías se han desarrollado alrededor del mundo para satisfacer la demanda de agua potable en zonas de carácter no urbano o en aquellas que presentan limitaciones para la implementación de los sistemas tradicionales.
- Investigar cómo se lleva a cabo el desalojo o disposición de aguas residuales en zonas de carácter no urbano o en aquellas que presentan limitaciones para la implementación de los sistemas tradicionales.
- Identificar las técnicas alternativas implementadas en el ámbito nacional por las instituciones gubernamentales a cuyo cargo están los servicios de abastecimiento de agua potable y drenaje; o bien, aquellas que hayan sido desarrolladas y estudiadas por instituciones académicas.
- Determinar qué infraestructura existe en la alcaldía de Milpa Alta para el abastecimiento de agua potable y drenaje, particularmente, en los asentamientos irregulares.
- Analizar los datos recopilados en el Censo de viviendas de asentamientos humanos irregulares en Milpa Alta, CDMX, relacionados con los servicios de agua potable y drenaje.
- Describir el contexto geográfico y socioeconómico en el que se encuentran los asentamientos irregulares de la alcaldía de Milpa Alta.
- Identificar las tecnologías alternativas que podrían implementarse en los asentamientos irregulares ubicados en la demarcación de Milpa alta.
- Seleccionar la alternativa que sea más factible de acuerdo con el contexto propio de la zona en estudio.

1.3. ALCANCES

Se contempla la elaboración del estudio "Propuesta para abastecimiento de agua potable y tratamiento de residuos sólidos y líquidos mediante tecnologías alternativas en los asentamientos humanos irregulares de Milpa Alta" en dos etapas:

1. Estado del arte sobre tecnologías alternativas para el abasto de agua potable en asentamientos humanos ubicados en las periferias de las grandes ciudades y megalópolis de países en desarrollo.
2. Análisis de las condiciones de la infraestructura de agua potable y tratamiento de residuos en los asentamientos humanos irregulares en suelo de conservación de Milpa Alta; selección de las tecnologías alternativas que se puedan adaptar en términos sustentables y costeables a este contexto; y, sustento de esta selección con base en las condiciones hidrológicas, económicas y de capacidades de provisión de estos servicios.

La primera etapa, por lo tanto, consiste en la recopilación, análisis y presentación de información referente a los métodos y tecnologías que se emplean para el abastecimiento de agua potable en zonas conurbadas, semirrurales y rurales, tanto en el contexto nacional, como el mundial. De forma complementaria, y con el fin de cumplir con el objetivo del estudio, se incluye también una investigación similar referente a la disposición de aguas residuales.

La segunda etapa, a su vez, comienza con un trabajo de recopilación de información; aunque en esta etapa el trabajo se enfoca en el contexto geográfico y socioeconómico de la alcaldía Milpa Alta; así como en la búsqueda de información referente a la infraestructura hidráulica existente, tanto para el abastecimiento de agua potable, como para el desalojo o disposición de aguas residuales.

Lo anterior permitirá proponer y seleccionar alternativas que sean factibles de aplicar en el entorno de los asentamientos irregulares de la alcaldía en estudio.

Cabe mencionar que el presente documento corresponde al desarrollo de la primera etapa del estudio.

2. ESTADO DEL ARTE INTERNACIONAL

En el informe mundial sobre el desarrollo hídrico presentado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), en 2019, se estima que actualmente el 29% de la población mundial no tiene acceso a agua potable segura. Además, señala que cada año se incrementa 1% el uso del agua a nivel global; entre los factores que influyen en ello están el crecimiento poblacional, el desarrollo socioeconómico y el cambio en los modelos de consumo. Se estima que la demanda mundial, de acuerdo a los datos, continúe aumentado a un ritmo similar hasta el 2050, lo que representa un incremento de entre el 20 y el 30%.

En el ámbito de servicios de saneamiento en el mundo, alrededor del 39 % de la población utiliza servicios gestionados de forma segura, donde 2 de cada 5 de estas personas viven en zonas rurales. Las regiones que actualmente sufren mayores limitaciones en el acceso al agua potable y saneamiento son el África Subsahariana y el sur de Asia, donde el crecimiento de la población, la pobreza y la urbanización siguen incrementando, mientras que los servicios básicos continúan estáticos.

Los servicios de acceso al agua, saneamiento e higiene, son conocidos comúnmente con el acrónimo de servicios WASH por sus siglas en inglés (*Water, Sanitation and Hygiene*). De acuerdo con la Unesco (2019), el grupo de individuos más desfavorecidos en términos de los servicios WASH está conformado por: habitantes de barrios marginados o viviendas remotas o aisladas, pueblos indígenas y grupos étnicos, personas que enfrentan emergencias y refugiados.

Dentro de los términos usados para evaluar la cantidad de agua disponible está el de estrés hídrico; indicativo empleado para definir la proporción total de agua dulce extraída anualmente por todos los sectores principales, respecto a la cantidad total de recursos renovables de agua dulce. En el informe de la UNESCO, se indica que más de 2 mil millones de personas viven en países que experimentan un alto grado de estrés hídrico.

Como parte del análisis de los avances en la gestión técnica del acceso al agua potable y al saneamiento en el mundo, se expone a continuación una serie de técnicas y tecnologías alternativas que se han implementado en diferentes regiones y países. Estas técnicas tienen en común el brindar el acceso a los servicios WASH a los grupos que carecen de éstos, ya sean asentamientos de las periferias de las ciudades o comunidades rurales marginadas.

En la Tabla 2.1 se presenta un resumen de las técnicas recopiladas en materia de abastecimiento de agua potable. En lo que se refiere al saneamiento, las técnicas investigadas se resumen de la Tabla 2.2.

Tabla 2.1 Resumen de alternativas de abastecimiento de agua potable implementadas en el mundo.

TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA						
Continente o región	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Localización	Urbana	Rural		
ÁFRICA	Kenia	Alrededor del país	*	*	Sistema de lluvia segura y almacenamiento por "Jarras de agua"	Sistema de separación de primeras aguas y almacenamiento con materiales de bambú cuyas capacidades son de 3 a 6 m^3.
	Botsuana	Alrededor del país		*	Sistema de captación de agua de lluvia ALDEP	Sistema compuesto por un área de recolección de aguas de a nivel de terreno, filtro de elementos pétreos que interconecta a una cisterna con la finalidad de almacenar agua.
AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE	Guatemala	Guatemala (ciudad)	*		Sistema de captación de agua de lluvia	Se abastece de agua potable a escuelas y viviendas cercanas a éstas. Los beneficiarios son capacitados en el uso y mantenimiento del sistema.
	El Salvador	Tepetitlán		*	Sistema de captación de agua de lluvia	El agua es almacenada en una cisterna flexible de polietileno. A partir de un sistema, 15 familias se abastecen.
	República Dominicana	Elías Piña		*	Sistema de captación de agua de lluvia	La dotación considera el consumo de cuatro personas y el riego de un huerto familiar por vivienda.
AMÉRICA DEL NORTE	Estados Unidos de América	Texas	*		Sistema de captación de agua de lluvia	Existen dos variantes del sistema en función del área de captación: uno que capta el agua de los techos; otro, de jardines, calles y estacionamientos.
AMÉRICA DEL SUR	Brasil	Zona semiárida de Brasil	*	*	Sistema de captación de agua de lluvia	Sistema de captación de lluvia en techo de vivienda con dos tipos de cisternas: la de semisuperficie (hecha con segmentos prefabricados) y la de concreto con malla de alambre.
	Brasil	Pará	*		Sistema condominial para abastecimiento de agua	El sistema condominial consiste en la instalación del suministro; características de mayor eficiencia técnica de instalación y mayor regulación en los recursos por parte de la institución reguladora.
	Chile	Región del Huasco		*	Atrapanieblas	Los atrapanieblas son estructuras que se instalan a determinadas alturas en la costa o las montañas con el objetivo de captar las partículas de agua que posee la niebla, y poder aprovechar este recurso hídrico.

TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA						
Continente o región	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Localización	Urbana	Rural		
ASIA	Bangladesh	Khulna y Satkhira		*	Sistema de captación de agua de lluvia	Es común el uso de estos sistemas en las zonas rurales, aunque algunos son rudimentarios y no cuentan con sistema de desinfección.
	India	Nueva Delhi	*		Máquina expendedora de agua	Las máquinas surten agua al presentar una tarjeta de prepago. Funcionan las 24 horas del día y se pueden adquirir 20 l de agua por menos de un centavo de dólar.
EUROPA	Reino Unido	Exeter	*		Sistema de captación de lluvia	Compuesto por tres partes principales: captación, filtración y almacenamiento. Existen diferentes combinaciones en los componentes de acuerdo a las condiciones de la vivienda.
	Irlanda	Dublín	*		Sistema de captación de lluvia	Captación en techo de la vivienda, conducción por canaletas y tubos a un tanque de almacenamiento. El recurso sólo es usado para consumo humano con procesos de desinfección previos.
OCEANÍA	Australia	Sydney	*		Canaletas de almacenamiento	Sistema de canaletas de almacenamiento de techo; tienen tiene la ventaja de ser alimentadas por gravedad y, por lo tanto, no requieren bombas para suministrar agua para uso doméstico.

Tabla 2.2 Técnicas representativas de saneamiento en el continente africano.

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO						
Continente	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Región	Urbana	Rural		
ÁFRICA	Níger	En la zona sur del país	*	*	Fosa letrina-infiltración	Sistema de doble pozo, con el propósito de tener un pozo de infiltración y otro de recolección de excretas de menor costo.
	Malawi	Alrededor del país	*	*	Sistema Arborloo	Sistema cíclico, constituido principalmente por un pozo de recolección de excretas y una letrina móvil; al cabo de un año es retirado y, posteriormente, sobre el pozo lleno se planta un árbol.

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO						
Continente	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Región	Urbana	Rural		
AMÉRICA CENTRAL Y EL CARIBE	Honduras	Tegucigalpa	*		Sistema de alcantarillado libre de sólidos	El sistema es una red de diámetro pequeño que conduce únicamente los líquidos provenientes de fosas sépticas conectadas entre sí. Por su parte, los sólidos son descargados a un colector por separado, ya que el sistema sólo conduce líquidos.
AMÉRICA DEL NORTE	Estados Unidos de América	Nuevo México, Arizona y Utah		*	Fosa séptica	La fosa está compuesta por dos cámaras: en la primera sedimenta la mayoría de los sólidos, para pasar, a través de una trampa de grasas y espuma, a la segunda cámara, de la cual sale el efluente.
AMÉRICA DEL SUR	Ecuador	Provincia Cotopaxi	*	*	Sanitario seco de deshidratación	La cámara de deshidratación se utiliza por seis meses antes de cambiar a la siguiente; cada una tiene una tapa hecha con un bastidor de madera pintado de color negro, lo que contribuye a la absorción de calor para el proceso de deshidratación.
	Brasil	Brasilia	*		Sistema condominial de alcantarillado	Consiste en atender como unidad de servicio a una manzana o grupo de viviendas que se denomina condominio. La red está conformada por cañerías internas dentro de la misma manzana, vinculando los distintos lotes y trasladando aguas residuales hasta otra red de mayor capacidad denominada "red pública".
ASIA	Armenia	Hayanist		*	Retrete seco con desviación de orina	El sistema funciona sin necesidad de agua para descarga. El retrete desvía la orina y los sólidos a diferentes depósitos donde son almacenados. Después de un periodo, los desechos son aprovechados como fertilizante.
	India	Nueva Delhi, Bombay, Calcuta y Madras	*		Letrina de sifón con dos pozos	Esta letrina consta de dos pozos; es capaz de derivar los desechos hacia uno de ellos cuando el segundo está lleno y emplea dos litros de agua en cada descarga. Posteriormente, los desechos pasan a un pozo de lixiviación. Los desechos pueden ser aprovechados para producir biogás o abono.

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO						
Continente	Lugar		Población		Técnica	Características
	País	Región	Urbana	Rural		
EUROPA	Suecia	Estocolmo	*		Sanitario seco de deshidratación	El sistema se basa en un proceso de deshidratación, tiene un diseño donde las heces y el papel higiénico caen a un depósito grande y la orina se canaliza a un tanque.
	Suecia	Alrededor del país	*	*	Sanitario seco de composta	Se trata de un sanitario de composta con una cámara donde se procesan orina, heces y los residuos orgánicos que produce la familia. Consta de una cámara de composta con piso inclinado, conductos de aire y, en el extremo más bajo, un área de almacenado, generalmente, cuenta con un conducto especial para los desperdicios de la cocina.
OCEANÍA	Micronesia	Pequeñas islas del Pacífico	*	*	Sanitario CCD (*Centre for Clean Development*)	Consiste de dos cámaras herméticas construidas sobre el nivel del piso (ambas se alternan). La excreta se deposita en un petate de hoja de palma que a su vez descansa en una red para pescar y queda suspendida dentro de la cámara (esto permite la aireación del material.

2.1. TÉCNICAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

2.1.1. África

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el continente africano puede dividirse en dos regiones de desarrollo económico: por un lado, los países del norte de África que limitan con el mar Mediterráneo; por el otro, los países del África Subsahariana, que son los que se encuentran al sur del desierto del Sahara. La región de África Subsahariana se subdivide en: África Central, África Oriental, África Austral y África Occidental.

Los países de la región norte de África tienen características económicas más estables y de mayor índice de bienestar, en comparación con los países de África Subsahariana; así como mejores servicios de saneamiento y acceso al agua potable.

Según el informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos de la Unesco (2019), la población de África representa el 17% de la población mundial, a pesar de su gran extensión territorial; lo anterior equivale a 1.3 mil millones de habitantes. Los países de menor acceso al agua potable se

encuentran, en su mayor parte, en el África Subsahariana, que cuenta con una población de alrededor de 319 millones de habitantes (OMS, 2015).

Por otro lado, la OMS indica que la falta de acceso al agua se debe a diversos motivos; entre los cuales los principales son: la distribución dispar de los grandes embalses (que en su mayoría se encuentran en Sudáfrica), variación climática, falta de infraestructura en los servicios e incapacidad institucional.

Los estudios y programas que se describen a continuación se enfocan en acciones que permitan proporcionar acceso al agua a la población, aprovechando las aguas pluviales y mejorando los medios de irrigación.

2.1.1.1. Sistema de lluvia segura y almacenamiento por "jarras de agua"

Kenia es un país ubicado en la región oriental del África Subsahariana (Figura 2.1.1). El aprovechamiento pluvial es posible principalmente en las zonas de clima tropical y templado, ubicadas en la costa y zona montañosa, respectivamente; donde las precipitaciones oscilan entre 200 y 1300 mm por año, con valores máximos en los meses de julio y agosto. El país sufre de problemas de acceso al agua potable, de acuerdo con datos de 2018 del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), el 44% de la población no cuenta con acceso al servicio.

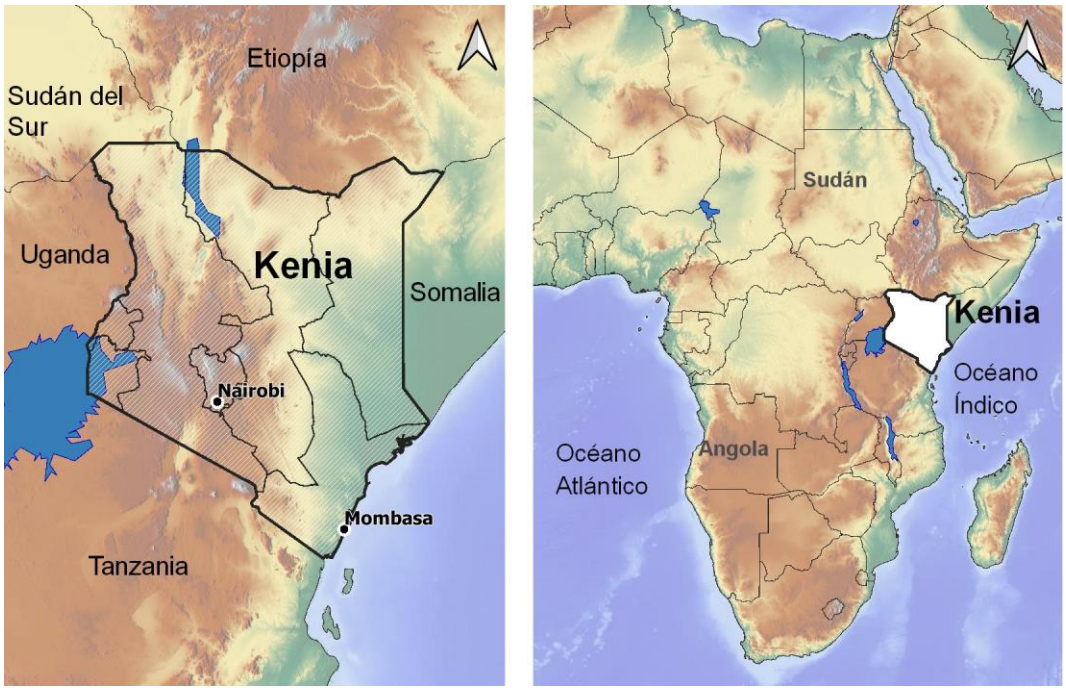


Figura 2.1.1 Ubicación de Kenia en el continente africano.

Alrededor del país se implementó una técnica de captación de agua de lluvia de bajo costo y gran aceptación (Worm y Hottum, 2006), conocida como "Jarras de agua" (*Water jar*); las cuales se elaboran con bambú, materia prima disponible en la zona, lo que permite que el proyecto sea factible.

La elección del tamaño de los tanques de almacenamiento depende de variables que se consideran para el diseño apropiado; entre ellas: determinación del sitio adecuado y cantidad total de agua de lluvia requerida y disponible, características del área de captación, diseño del sistema de recolección de agua y diseño del depósito de almacenamiento.

Comúnmente, las techumbres de los hogares juegan el papel de la superficie de recolección de agua de lluvia, desde donde son canalizadas y trasportadas a un dispositivo de separación de las primeras aguas llamado: "Sistema de lluvia segura" (*Saferain system*). En la Figura 2.1.2 se muestra el dispositivo, que consiste en usar una bola hueca que flota sobre el agua de lluvia recolectada inicialmente en un recipiente fijo; cuando el nivel del agua sube, la bola bloquea la abertura y permite que el agua fluya hacia el tanque, por gravedad. Las aguas de lluvia son dirigidas al almacenamiento denominado de "jarras de agua", también conocido como "tanques calabaza" (*pumpkin tank*), por su diseño; comúnmente, su capacidad es de 3 m^3, con un costo aproximado de 150 dólares (datos de 1998, año de implementación). Usualmente se construye en terrenos planos, a un costado de la casa y con una altura de 2.2 m.

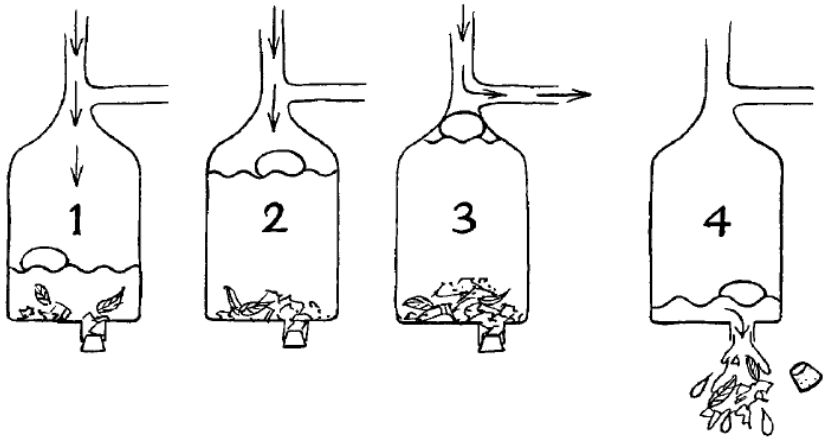


Figura 2.1.2 Sistema de lluvia segura (Saferain system), Fuente: Worm y Hattum, 2006.

El sistema de separación de las primeras aguas de lluvia tiene la ventaja de ser auto limpiante y permite eliminar el agua de la primera descarga con un dren en la parte inferior. Otra ventaja es la facilidad constructiva, dado que no requiere de materiales especiales o elementos de acero estructural, sino de una estructura cubierta por mortero, bambú y malla de gallinero o mosquitero. Asimismo, cuando un tanque presenta grietas, basta con poner malla de gallinero o mosquitero con mortero (arena–cementante-agua) sobre la superficie dañada.

La desventaja que tiene este sistema para su aplicación en otro lugar es que requiere de bambú, el cual podría no estar disponible en cualquier sitio; sin embargo, se tiene la opción de sustituir el bambú por malla electrosoldada, considerando que el costo será mayor. Por otro lado, si se requiere de mayor capacidad de almacenamiento, se tendrían que integrar tres o más tanques; para lo cual se necesitaría de una mayor superficie para la instalación de las jarras.

2.1.1.2. Sistema de captación de lluvia ALDEP

La República de Botsuana es un país ubicado al sur de África, el cual no tiene costa (Figura 2.1.3). El relieve es predominantemente llano con algunas colinas altas y cuenta con climas los siguientes climas: árido, semiárido y sabana. El sur del país se caracteriza por tener climas secos en comparación de los del norte; las precipitaciones oscilan entre 300 a 700 mm por año.

Actualmente, el país cuenta con altos porcentajes de cobertura en fuentes agua potable, en relación a la región a la que pertenece (Librería de la CIA, 2020). Dentro de los casos de mayor aceptación, está la técnica de Captación de lluvia ALDEP, que describe el documento Aprovechamiento pluvial en cinco países de África (Lee y J.T. Visscher, 1990). El éxito de esta técnica se debe a los bajos costos que representa, en comparación con los de la extracción y bombeo de aguas subterráneas; prácticas comunes en el país.

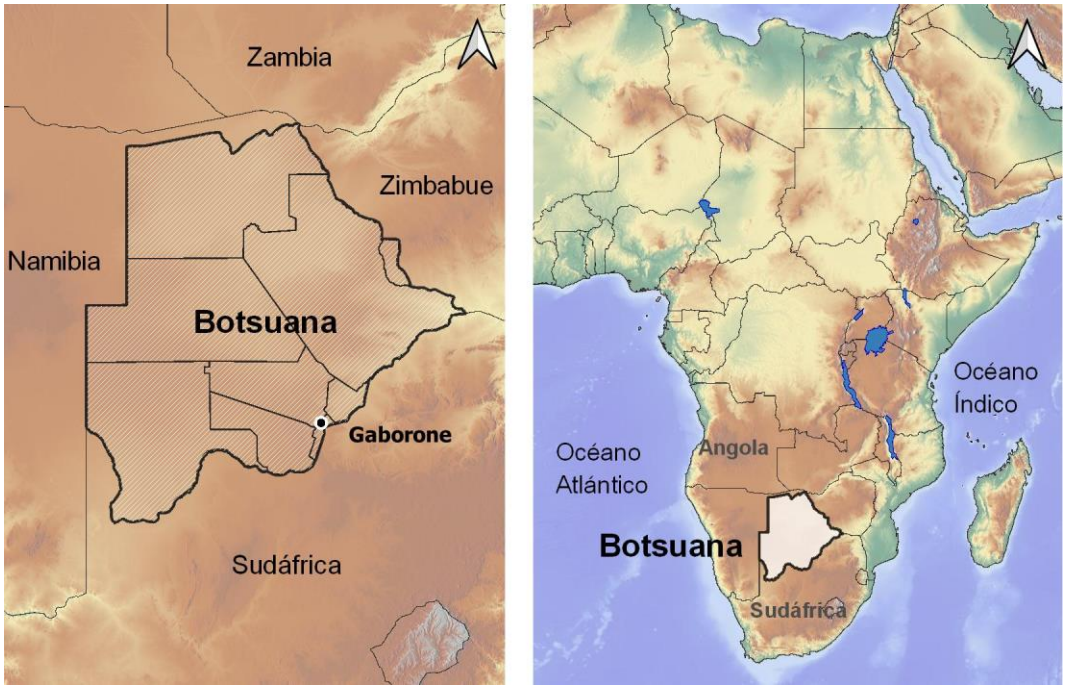


Figura 2.1.3 Ubicación de Botsuana en el continente africano.

El Ministerio de Agricultura de Botsuana, a través del "Programa de Desarrollo de Tierras Arables" (ALDEP, por sus siglas en inglés), desarrolló una técnica de captación y almacenamiento en tanques tipo cisterna, para uso agrícola (Figura 2.1.4). El sistema consiste en construir , a nivel del suelo una pequeña área de captación de aproximadamente 150 m^2, con materiales como barro o concreto, la cual se interconecta con un tanque de almacenamiento de fibrocemento (también se usa concreto reforzado o mampostería para su fabricación). Las capacidades del tanque oscilan entre 8 y 29 m^3 de agua por debajo del terreno (cisterna). Usualmente, la forma tradicional de extraer el agua es por medio de una cubeta con una cuerda.

El funcionamiento consiste en captar el agua de lluvia en la superficie acondicionada y, por gravedad, el flujo es conducido a un dispositivo de filtración de materiales pétreos, en el punto más bajo, desde donde se direcciona al tanque de almacenamiento.

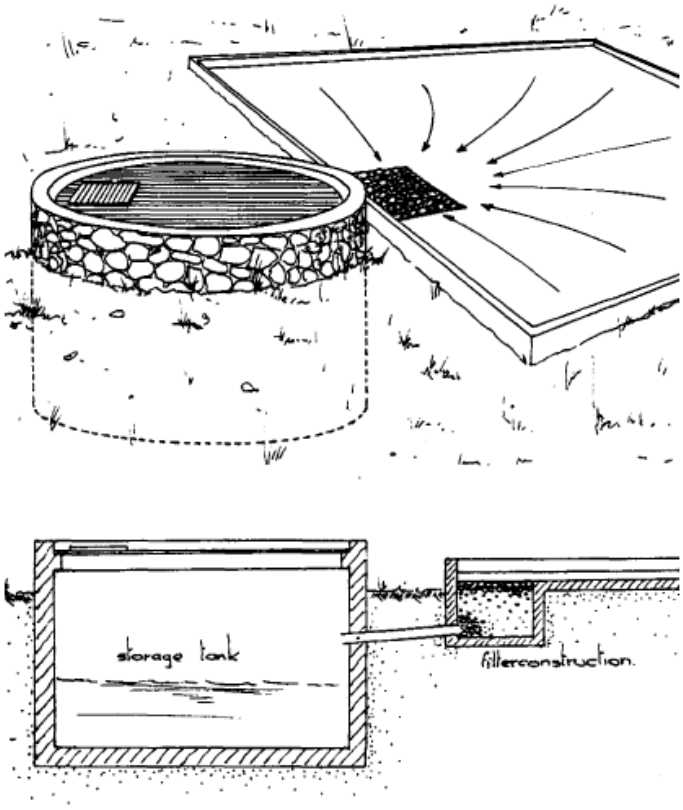


Figura 2.1.4 Sistema de captación y tanque de almacenamiento. Fuente: M.D. Lee y J.T. Visscher (1990).

La condición de altiplano de Botsuana permite implementar este tipo de técnica con una mayor capacidad volumétrica al método anterior. No obstante, los métodos de extracción comúnmente son rudimentarios; susceptibles a la contaminación del agua almacenada, debido a los residuos que se depositan en la superficie.

El mantenimiento de los tanques, por la condición en la que se encuentran, suele ser antes de la temporada de lluvias, aunque en algunas ocasiones presenta grietas en los primeros dos años, por lo que se debe tener cuidado con el proceso constructivo. El agua recolectada de esta manera puede emplearse para uso doméstico si se cumplen las medidas de higiene necesarias; sin embargo, esto implica la instalación de un sistema de bombeo, filtración y desinfección, lo que eleva de forma considerable el costo.

2.1.2. América Central y el Caribe

Los países que conforman la región de América Central y el Caribe experimentan un crecimiento constante en sus ciudades, pocas veces asociado a planes de desarrollo integrales, por lo que la migración desde zonas rurales a los centros urbanos ha generado el incremento de los asentamientos irregulares en las periferias (IANAS y UNESCO, 2015).

A pesar de que el subcontinente centroamericano, en conjunto con el sudamericano, es privilegiado por contar con una disponibilidad hídrica del 26 % para una población que constituye

el 6 % del total mundial, sus habitantes aún carecen de cobertura de agua potable o distan de tener un servicio de buena calidad (IANAS y Foro Consultivo, Científico y Tecnológico, A.C., 2012). En 2015, sólo el 65 % de la población de América Latina y el Caribe tenía acceso a servicios seguros de agua potable (UN-Water,2019).

Algunas ciudades centroamericanas experimentan estrés hídrico debido a la sobreexplotación de sus acuíferos; esto provocado por factores geográficos y por la contaminación de sus cuerpos de agua superficiales, debido a una gestión deficiente de los recursos hídricos y a la falta de tratamiento de las aguas residuales.

A continuación, se presentan los casos de tres países en los que se han implementado técnicas alternativas de abastecimiento de agua en asentamientos que carecen del servicio: dos localizados en América Central y uno en el Caribe;

2.1.2.1. Sistema de captación de agua de lluvia

En el país centroamericano de Guatemala se ha implementado la técnica de captación de agua de lluvia para el abastecimiento de agua de las zonas periurbanas de su capital, el Área Metropolitana de Guatemala (AMG). De acuerdo con el IANAS y la UNESCO (2015), el AMG se compone de la ciudad de Guatemala (Figura 2.1.5) y once municipios conurbados, debido a un acelerado crecimiento desde la década de 1940.

Figura 2.1.5. Localización de la Ciudad de Guatemala.

En materia de abastecimiento de agua potable, el AMG se enfrenta a la sobreexplotación de los acuíferos de los cuales se abastece y a conflictos con otros municipios por la importación del agua de otras fuentes; así como a la contaminación de los cuerpos superficiales por la deficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

La cobertura de agua potable en los hogares, en 2011, era del 75.3 %. (IANAS y UNESCO, 2015). En la zona periurbana, donde no se tiene esta cobertura, las personas acceden al agua potable a través de pozos mecánicos sin regulación o camiones cisterna que proveen agua de dudosa calidad; lo que implica un déficit, dado que representa costos más altos de lo que cobra la Empresa Municipal de Agua de Guatemala (EMPAGUA) por proporcionar el servicio.

Con base en un informe de la Fundación Guatemala (2016), el municipio de Guatemala, con apoyo de la organización no gubernamental Global Water Partnership Centroamérica y las Fundaciones Guatemala y Solar, comenzó a implementar en 2013 sistemas de captación de agua de lluvia en escuelas y viviendas de las zonas periurbanas.

De acuerdo con Global Water Partnership Centroamérica (2013), además de abastecer de agua potable a la comunidad escolar, se provee a las colonias vecinas a través de un sistema de distribución donde las personas llenan cántaros. Los beneficiarios de esta tecnología son capacitados en el uso y el mantenimiento del sistema.

El sistema está compuesto de una superficie recolectora en la azotea de la edificación; tubos que conducen el agua captada hacia los demás componentes, que incluyen tres filtros: el primero, hecho a base de piedra bola de 3'', el segundo, a base de grava de tres medidas y, el tercero y último, a base de minerales como arena y carbón activado recubiertos de geotextil; un tanque de almacenamiento o cisterna y un sistema de llaves de paso que están localizadas a lo largo de todos los elementos. Cabe mencionar que el efluente del sistema se emplea únicamente en los sanitarios, en el lavado de manos y en labores de limpieza.

El sistema de captación de agua de lluvia implementado en las zonas periurbanas del AMG presenta múltiples ventajas: la calidad del agua que provee, mientras reciba mantenimiento constante el sistema, es suficiente para los usos que se le da; al ser independiente de cualquier sistema de distribución, es ideal para asentamientos aislados; es fácil de mantener, no emplea energía en su funcionamiento y en su construcción pueden emplearse materiales locales.

Las únicas desventajas son la alta inversión inicial y la dependencia a las condiciones de precipitación del lugar y al área de captación.

En el Caribe también se ha implementado este sistema y la República Dominicana da fe de esto. De acuerdo con el IANAS y la UNESCO (2015), este país sufre una crisis de agua potable debido a la contaminación de sus fuentes de agua superficiales y subterráneas, así como a la sobreexplotación de los acuíferos. Esta situación es grave tanto en las grandes urbes, como en las áreas rurales, ya que se suma a la deficiencia en la cobertura del servicio de agua potable.

Una de las provincias menos pobladas de República Dominicana es Elías Piña. Perteneciente a la región del Valle y localizada en el límite con Haití, presenta un alto índice de pobreza: según la Oficina Nacional de Estadística (2008), el 82. 4 % de las viviendas son pobres. La provincia consta de seis municipios y, en su mayoría, su población es rural.

En la Figura 2.1.6 se muestra la República Dominicana y la localización de Elías Piña dentro de la misma

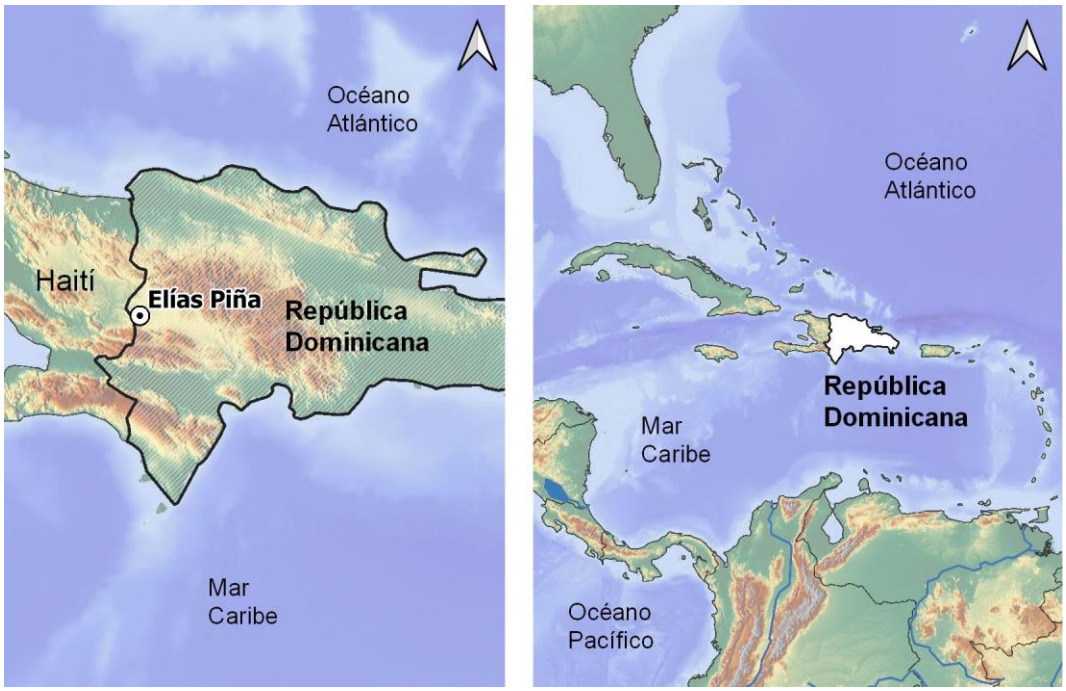


Figura 2.1.6. Localización de Elías Piña, República Dominicana.

Elías Piña tiene un serio problema en materia de agua potable; de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2013), sólo el 18 % de los hogares cuenta con el servicio, frente a un 46 % a nivel nacional. La mayoría de las personas se abastecen a partir de una red pública externa (acueducto), quienes no tienen acceso a ésta obtienen el agua de manantiales, ríos y arroyos.

En 2012, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de República Dominicana (INDRHI), en conjunto con los gobiernos locales, implementó en La Sierrecita, una comunidad de Elías Piña, un proyecto de captación de agua de lluvia. Este sistema está compuesto por los siguientes elementos: una superficie de captación en el techo de cada vivienda, un sistema de conducción constituido por canales o tubos de PVC; un interceptor de primeras aguas, el cual recibe las primeras lluvias que contienen impurezas provenientes de la superficie de captación; un tanque de almacenamiento; accesorios tales como válvulas, codos, rejillas, etc.; un filtro que retiene los sólidos en suspensión y, finalmente, un sistema de desinfección a base de cloro (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012).

El diseño del sistema en cada vivienda considera el abastecimiento de agua para cuatro personas; se asigna una dotación para cada una de ellas que cubre las siguientes necesidades: consumo humano, preparación de alimentos, limpieza y riego de un pequeño huerto familiar. Los habitantes fueron capacitados en el mantenimiento y uso del sistema. Al final del proyecto, se benefició a 524 personas de 131 viviendas en la Sierrecita.

Los sistemas de captación de agua de lluvia son adecuados para abastecer a comunidades marginadas, el mantenimiento es muy sencillo y la construcción puede llevarse a cabo con materiales locales, lo que la convierte en una opción asequible. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que en su implementación es importante contar con el financiamiento adecuado; en el caso anterior el gobierno aportó todo el capital para el proyecto. El considerar al Estado como único

benefactor puede resultar en el rechazo de la propuesta; de igual forma, la participación de los miembros de la comunidad es un factor determinante en el éxito del sistema.

Otro país en el que se han implementado con éxito los sistemas de captación de agua de lluvia es El Salvador. Este país se enfrenta a la reducción de los caudales de sus fuentes de abastecimiento superficial, debido a la deforestación y a la falta de medidas para la conservación de suelos, lo que causa la reducción de su capacidad de infiltración; así como al alto nivel de extracción de agua de sus acuíferos(IANAS y UNESCO, 2015).

Tepetitlán es uno de los ocho pueblos beneficiados con sistemas de captación de agua de lluvia del departamento de San Vicente, al oriente de la capital, San Salvador (Figura 2.1.7). Antes de su implementación, los habitantes de este pueblo se veían en la necesidad de caminar largas distancias hasta el río para poder abastecerse, o bien, tenían que pagar por camiones cisterna a un alto precio.

Figura 2.1.7. Localización de Tepetitlán, El Salvador.

De acuerdo con la agencia de noticias *Inter Press Service* (2017), la Fundación Global Water Partnership Centroamérica, la Fundación Ford y la Cooperación Australiana implementaron en 2017 un sistema de captación de agua de lluvia en Tepetitlán. Éste, a diferencia de otros sistemas, almacena el agua en una membrana de polietileno con capacidad de 25 000 litros (Figura 2.1.8). Cabe mencionar que estas membranas también tienen aplicación en rellenos sanitarios y lagunas artificiales para acuicultura.

Figura 2.1.8. Cisterna flexible instalada en Tepetitlán, El Salvador. Fuente: Ayala (2017).

La superficie de captación es el techo de una vivienda del pueblo; a partir de la cual se abastecen trece familias. Posterior a su almacenamiento, el agua se bombea manualmente hacia un tanque con un grifo, el cual funciona como toma colectiva. Cada familia cuenta además con un filtro que hace potable el agua que se recolecta. Respecto a este último punto, la Universidad de El Salvador se comprometió a realizar un monitoreo constante de la calidad del agua.

Cada sistema está diseñado para abastecer a quince familias y equivale a cinco camiones cisterna; el costo de éste ronda los 1400 dólares. Durante la estación lluviosa, que en la región abarca de mayo a octubre, la bolsa se mantiene llena; mientras que, en la época seca, la municipalidad es quien provee de camiones cisterna para llenar la membrana.

Gutiérrez (2014) señala que el sistema con almacenamiento en membrana de polietileno presenta las siguientes ventajas: el costo es menor respecto a un depósito subterráneo o hecho de mampostería; es fácil de reparar, de manejar y de transportar; es ideal para almacenar volúmenes grandes y es adecuado para zonas sísmicas. Adicionalmente, la membrana evita la evaporación y salvaguarda la calidad del agua al no permitir el crecimiento de algas y la proliferación de insectos; además, es resistente a la radiación ultravioleta (Sotrafa, 2018).

El único inconveniente al implementarse un sistema de captación con este tipo de cisterna, es la necesidad de espacio suficiente para su colocación.

2.1.3. América del Norte

Canadá y los Estados Unidos de América, al ser países desarrollados, cuentan con la infraestructura adecuada para brindar agua potable de calidad a sus poblaciones urbanas; sin embargo, en el caso de las poblaciones rurales y las comunidades de nativos americanos, la situación no es la misma. En Canadá, estas poblaciones experimentan tanto la contaminación de sus reservas de agua subterránea, como la falta de mantenimiento de sus redes de agua y saneamiento.

A pesar de ser un país privilegiado en cuando a la disponibilidad de agua, el 98% de la población de Canadá se asienta al sur del territorio, donde la disponibilidad de agua dulce es del 38% (IANAS y UNESCO, 2015).

En el caso de Estados Unidos, algunas zonas rurales y comunidades marginadas por su condición socioeconómica o racial, no cuentan con servicios adecuados de agua potable (Winkler y Kamuf, 2019); incluso en las zonas urbanas, se tiene una deficiencia en el mantenimiento de la infraestructura, a pesar de su antigüedad.

En los estados áridos y semiáridos del occidente y sur de este país, donde la disponibilidad de agua es menor y, paradójicamente, el crecimiento de la población es significativo, se han implementado técnicas alternativas para disponer de agua para riego y, en algunos casos, para uso doméstico. A continuación, se describe la técnica implementada en un estado del sur.

2.1.3.1. Sistema de captación de agua de lluvia

De acuerdo con Abarza et al. (2015), debido a los múltiples registros históricos de sequías, tanto de origen natural, como antropogénico, que se han presentado en Estados Unidos, se ha incrementado en este país el interés en implementar sistemas de captación de agua de lluvia para garantizar el suministro. Son doce los estados que han desarrollado leyes en favor de los sistemas de captación de agua de lluvia; entre ellos están: Texas, Arizona, Ohio y Oklahoma, los cuales fomentan esta práctica a través de incentivos fiscales o del retorno de un porcentaje de la inversión en la instalación del sistema. En el caso de Texas y Ohio, se permite capturar agua de lluvia con fines potables, mientras que, en los otros estados, sólo para fines de riego.

En las zonas urbanas del estado de Texas (Figura 2.1.9), existen dos tipos de sistemas en función del área de captación: los que recolectan el agua de los techos y aquellos que lo hacen de los jardines, estacionamientos y calles. Los primeros están compuestos de: un área de captación, una red de transporte que consta de canaletas con pantallas que atrapan elementos indeseables y conducen el agua a tuberías de PVC; un conductor de primer lavado cuya función es almacenar el agua del primer escurrimiento (de calidad deficiente); filtros y una cisterna que puede ser galvanizada o de PVC.

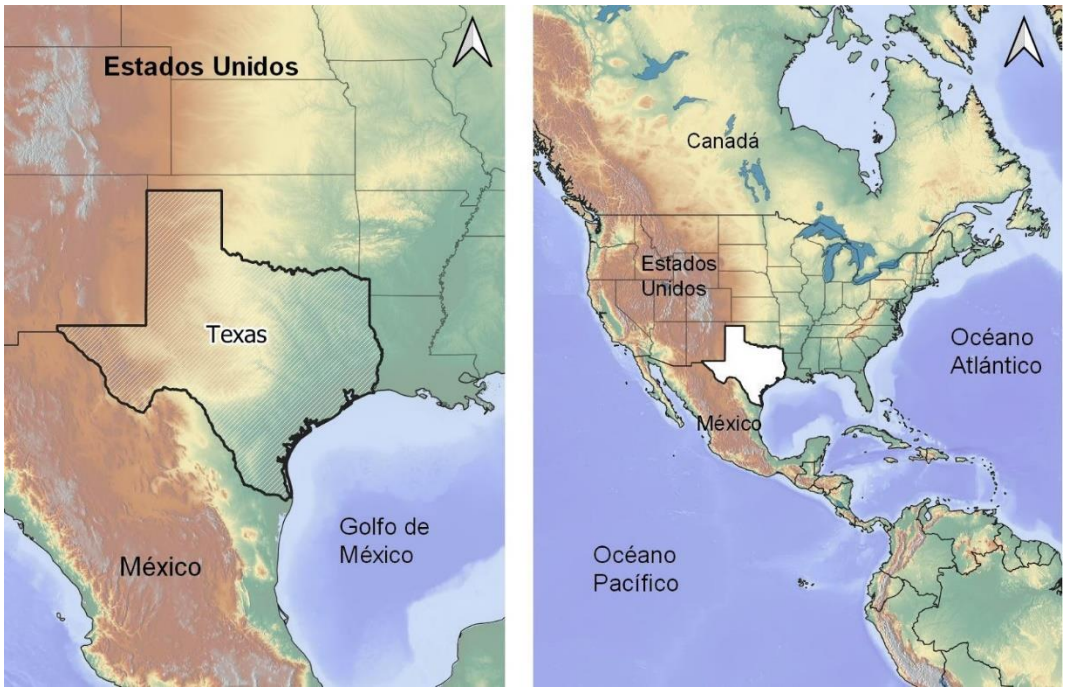


Figura 2.1.9. Localización del estado de Texas, en los Estados Unidos de América.

Abarza et al. (2015) señala que, en los sistemas que recolectan agua de los techos, debe considerarse que la localización de la cisterna sea lo más cerca posible a los puntos de oferta y demanda, con el fin de reducir el transporte de agua a distancia. Así mismo, los tanques deben estar protegidos de la luz directa del sol, ya que la calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de algas.

Por su parte, en el caso de los sistemas que aprovechan los escurrimientos producidos en los jardines comerciales y residenciales, en estacionamientos y calles, el almacenamiento es opcional, ya que el agua se utiliza inmediatamente para regar áreas verdes. El sistema se compone de áreas de retención, tales como zonas cóncavas o terrazas; así como de pendientes, zanjas o cunetas en el terreno que conducen por gravedad el agua a las zonas donde se desea regar. En la Figura 2.1.10 se muestra un sistema para riego de jardines.

Figura 2.1.10. Sistema para el riego de jardines. Fuente: Lancaster, Brad.

2.1.4. América del Sur

América del Sur forma parte del extenso continente americano, sus límites territoriales empiezan en el norte con el mar Caribe; en sus costas del lado poniente y oriente se encuentran el océano Pacífico y Atlántico, respectivamente. La división política permite diferenciar 12 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guyana, Paraguay, Perú, Surinam, Uruguay y Venezuela. En total tiene una superficie de 18 millones de kilómetros cuadrados.

América del Sur es considerada una de las regiones más ricas del mundo en agua (Gonzáles, 2018); una tercera parte del agua dulce del planeta se encuentra en esta región. No obstante, a pesar de la riqueza hídrica de la zona, existen partes del territorio que sufren escasez y falta de acceso al agua.

Algunos datos sobresalientes en materia de agua en la región son que dos terceras partes del territorio se clasifican como áridas y semiáridas; 37 millones de personas carecen de acceso a agua potable; uno de cada cuatro latinoamericanos no tiene acceso a servicios de agua y saneamiento; los países de América del sur con menor acceso al agua potable son Ecuador, Perú y Bolivia, los cuales tienen como factor en común un accidentado relieve en la zona andina.

2.1.4.1. Captación de agua en cisternas familiares

Ubicado en la zona sureste del continente americano y con 180 millones de habitantes (1999), Brasil tiene el 15% del agua dulce disponible a nivel mundial; sin embargo, este recurso no se encuentra distribuido uniformemente en su territorio. En la Figura 2.1.11 se muestra un esquema de la zona semiárida de Brasil (ZSAB). Como se puede observar, la región se ubica al este del país; constituye un polígono de casi un millón de kilómetros cuadrados que abarca 1136 municipios de nueve estados: Alagoas, Bahía, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe y Minas Gerais.

Figura 2.1.11. Región Semiárida de Brasil.

La precipitación media anual de la ZSAB está por debajo de los 800 mm; la lluvia se caracteriza por ser irregular, es decir, se presentan lluvias acumuladas en pocas semanas desde 185 hasta 974 mm.

La Asociación Brasileña para la Captación y el Manejo de Agua de Lluvia (2013) menciona que a pesar de las características climáticas adversas de la región fue posible la adaptación de sistemas de captación de agua de lluvia en época de estiaje en las zonas rurales, mediante el Programa de 1 Millón de Cisternas (P1MC). Este programa fue desarrollado por la Articulación para las necesidades de la ZSAB (ASA) en 2003.

La solución consiste en las llamadas cisternas familiares. La estructura de estas cisternas es a base de concreto y se ubica a un costado del hogar, su volumen es lo suficientemente grande para almacenar el agua de lluvia captada en el techo; después, la extracción del recurso se lleva a cabo con una bomba de agua manual; por último, en ocasiones, el agua es filtrada antes de ser consumida.

Existen dos modelos de tanque que se utilizan en la región: el primero que se muestra en la Figura 2.1.12 fue desarrollado por ASA y tiene una capacidad estándar de 16 m^3 y es suficiente para una familia de cinco personas, por un periodo de seis a ocho meses. La tecnología de construcción para este tanque es muy simple: los habitantes del hogar fabrican las placas y la construcción se lleva a cabo con albañiles de la localidad. El segundo tanque se muestra en la Figura 2.1.13, éste fue desarrollado por el Instituto Regional para la pequeña Agricultura y Ganadería (IRPAA) quien propuso la construcción del almacenamiento a base de una malla de alambre con tecnología de ferrocemento. El diseño permite combinar 3 características principales: simplicidad de construcción, resistencia y bajo costo.

Figura 2.1.12 Modelo de tanque con placas de cemento prefabricadas propuesto por ASA.

Figura 2.1.13 Modelo de tanque de ferrocemento propuesto por IRPAA.

A partir de las evaluaciones hechas al programa P1MC se observaron aspectos positivos como la mejora de la salud en la población. En cuanto al tipo de cisterna ocupada, se observó que la mayor ventaja de usar el modelo propuesto por IRPAA, fue que no se necesita un molde durante el proceso de construcción y que las dimensiones pueden ajustarse solamente variando el diámetro de la malla de alambre. La calidad del tanque IRPAA supera a la del modelo de tanque con placas prefabricadas propuesto por la organización ASA. También es importante mencionar que la mayoría de las casas tienen un techo lo suficientemente grande para llenar los tanques en el periodo de lluvia. En el aspecto negativo, se detectaron problemas sociales en el uso de las cisternas; en algunos casos el uso final del recurso almacenado era distinto para el cual había sido diseñado y la calidad del agua no era lo suficientemente buena para su consumo.

2.1.4.2. Sistema de abastecimiento de agua condominial

La ciudad de Parauapebas se encuentra en el estado de Pará en el norte de Brasil (Figura 2.1.14). Desde un principio, el lugar fue una zona de prosperidad económica debido a la explotación de los recursos naturales por parte de la compañía minera *Companhia Vale do Rio Doce* en los yacimientos de hierro. Fue así como su población fue creciendo de manera acelerada llegando casi a los 100 mil habitantes; sin embargo, a pesar de este acelerado aumento en la población, la ciudad se distingue de otras por tener un avance ordenado en la mancha urbana, situación muy conveniente para el diseño de infraestructura.

Figura 2.1.14 Ciudad de Parauapebas en Pará, Brasil.

A través de los años, la ciudad se fue consolidando y se propició el crecimiento de poblaciones aledañas que no tenían acceso al servicio de agua y saneamiento, por lo que las autoridades municipales (Prefectura Municipal de Parauapebas) y la compañía minera realizaron esfuerzos conjuntos en el año de 1993 para proporcionar el servicio de agua potable a estos asentamientos. Fue en 1996 cuando los avances del proyecto hacían evidente que el presupuesto era insuficiente para cubrir el 100% de la demanda; entonces, a partir de estudios de factibilidad y del planteamiento de un diseño alternativo de red de agua potable, se decidió optar por la implementación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable Condominial que, entre otras cosas, mejoraba la situación financiera del proyecto que se había iniciado.

El sistema condominial fue desarrollado por Brasil como alternativa para drenaje, pero, además de ello, la implementación y adaptación de este sistema en las zonas conurbadas de Parauapebas para agua potable fue un caso de éxito. El sistema tiene como unidad de servicio a un conjunto de hogares que se le denomina "Condominio" (normalmente una manzana), a diferencia del sistema convencional donde la unidad de servicio se hace a cada habitación. Bajo la premisa anterior, el

sistema plantea dos partes principales (Figura 2.1.15). La primera se denomina "Red Pública" y es jurisdicción solamente de las autoridades municipales el conducir el agua a través de la tubería a un lugar estratégico donde inicia la segunda parte del sistema; el "Ramal Condominial" que corresponde a los condominios, con asesoría técnica, el realizar la red de distribución al conjunto de hogares.

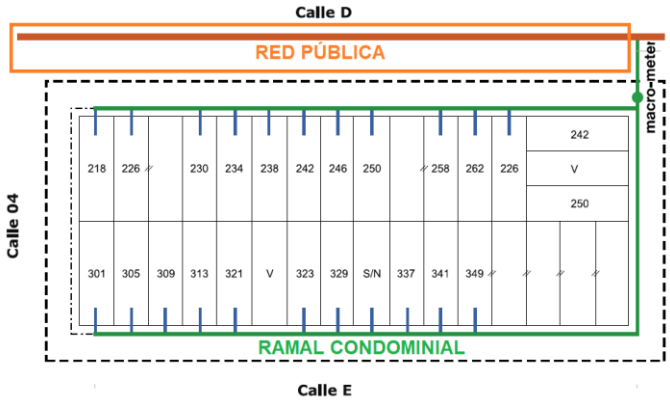


Figura 2.1.15 Esquema de la adaptación del sistema condominial en una red de agua potable.

Como resultado de la aplicación del sistema condominial, en lo que concierne a la red pública, se disminuyeron los costos de excavación, rotura, reparación de aceras, y hubo menos interrupción de la vida urbana. Para los ramales condominiales el trazo tuvo que realizarse sobre las aceras para garantizar la conexión y medición en cada uno de los lotes, estos fueron colocados a una distancia promedio de 1.0 m frente a cada lote y a una profundidad de 0.4 metros. José Melo (2005) indica que los ramales fueron divididos con uniones de doble T a lo largo de la red y en puntos coincidentes con las intersecciones de las calles, de manera que fuera posible suministrar agua a dos manzanas.

Uno de los principales problemas que surgieron en los ramales condominiales fue la gran cantidad de lotes vacíos que incrementaron el costo unitario por conexión en los condominios. Dichos lotes también significaron el riesgo de tener conexiones clandestinas.

2.1.4.3. Atrapaniebla

La República de Chile se encuentra ubicada en la parte suroccidental de América del Sur, limita con Perú y Bolivia al norte, al este con Argentina y al oeste con las aguas del océano Pacífico (Figura 2.1.16). De acuerdo a Hudson los geógrafos normalmente dividen el territorio chileno en cinco regiones: *The Far North* (Norte Grande), región en extremo árida; *The Near North* (Norte Chico), zona semiárida propensa a fuertes sequías y con escasos registros de precipitación; *Central Chile* (Chile central), *The South* (Sur de Chile); y por último *The Far South* (Chile Austral).

De acuerdo con lo expuesto por la Universidad de Chile (2014), las temperaturas de la zona semiárida de Chile se caracterizan por tener una marcada influencia oceánica. El factor responsable de la condición desértica de esta región se debe principalmente a la presencia del Anticiclón del Pacífico suroriental que no permite la entrada de los frentes provenientes de sur.

Por otro lado, el brusco enfriamiento que reciben las masas de aire provenientes del oeste, por parte de las aguas en la corriente de Humboldt, provocan numerosas y densas neblinas en la región.

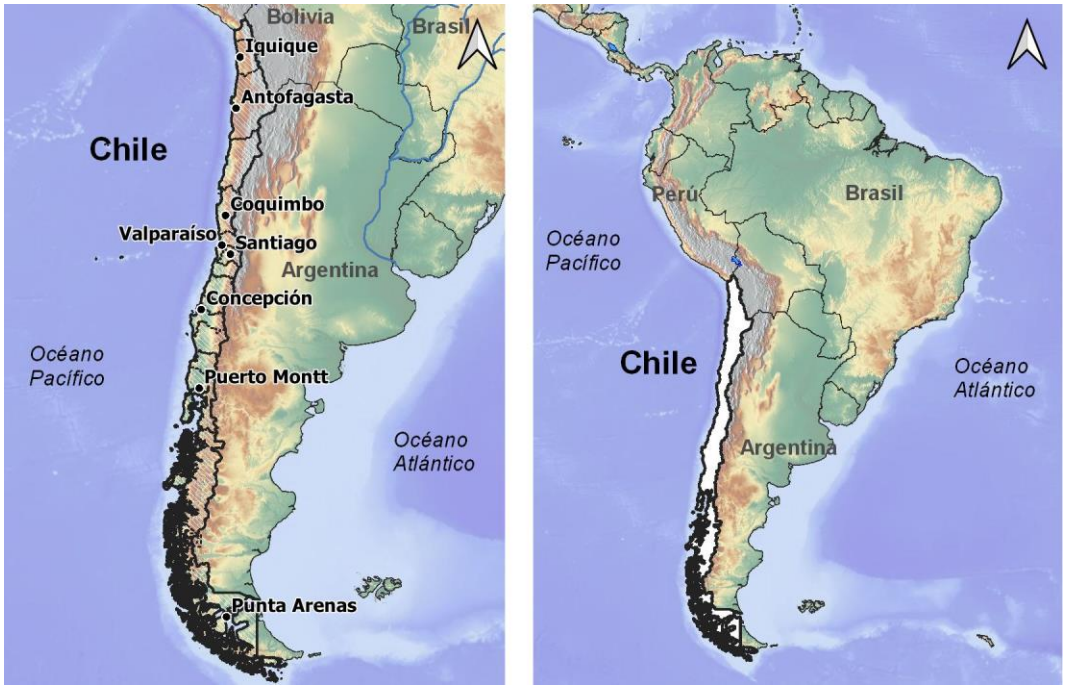


Figura 2.1.16. Ubicación de la República de Chile.

En 2017, el Instituto Nacional de Estadística (INE) de Chile realizó el Censo de Población y Vivienda que determinó que la población total del país es de más de 17.5 millones de personas; el 62% de las cuales se encuentran concentradas en las regiones metropolitanas.

De acuerdo con Cereceda (1999), los ecosistemas áridos y semiáridos del norte de Chile están dotados de abundantes recursos naturales que son atractivos para producción (pesca, industria, minería, etc.) y también para el asentamiento de comunidades humanas; sin embargo, esta riqueza viene acompañada de gran estrés hídrico en la zona. Desde hace varios años, la escasez de agua en las comunidades costeras del norte de Chile, han propiciado un fenómeno de migración hacia las zonas metropolitanas, generando zonas de alta marginación y pobreza en los alrededores de éstas.

Para frenar este fenómeno fue necesario atender a las necesidades primarias de la población, esto es, darles una fuente de agua potable para mejorar su calidad de vida. Esto se logró aprovechando la gran cantidad de neblina que hay en la zona y usando una tecnología no tradicional y de bajo costo, llamada atrapanieblas.

Pascual Juan (2011) cita a Schemenauer (1992) quien encontró que los captadores de agua de niebla o atrapanieblas pueden ser definidos como: "estructuras que se instalan a determinadas alturas en la costa o las montañas con el objetivo de captar las partículas de agua que posee la niebla, y poder aprovechar este recurso hídrico".

El sistema de captación de agua de niebla que se muestra en la Figura 2.1.17 consiste de los siguientes elementos: una malla colectora con una luz que permite el paso de la niebla y que condensa el contenido de agua de la misma; soportes que sirven de estructura para la malla colectora; una canaleta recolectora que recoge el agua condensada y un depósito de almacenamiento que conduce el agua hasta el punto de consumo.

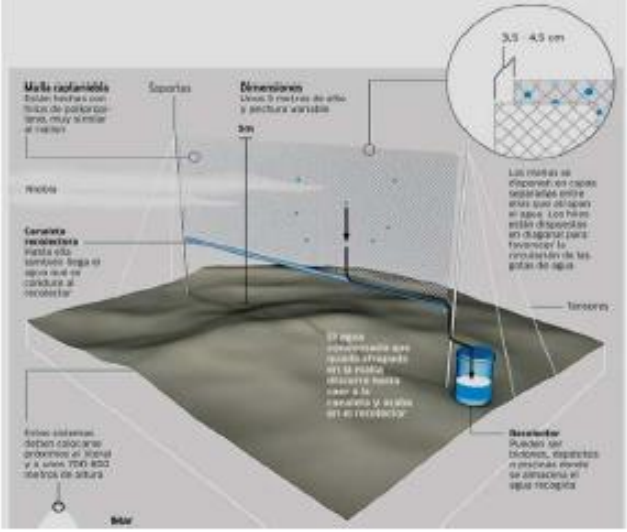


Figura 2.1.17 Sistema de captación de agua de niebla. Fuente: Juan Pascual.

Para poder abastecer de agua a una población con esta técnica es necesario analizar factores topográficos, meteorológicos y estacionales que condicionan el potencial y aplicabilidad de esta tecnología. En la instalación se consideran dos aspectos importantes: el primero son los estudios previos que se requieren para hacer una prospección de la cantidad de niebla disponible en el lugar y, segundo, la construcción, operación y mantenimiento del sistema.

La prospección de niebla se determina a partir de una metodología basada en el monitoreo de uno o más neblinómetros o también llamados colectores de niebla estándar, cada uno de 1 m^2 de malla Raschel y ubicados a dos metros del suelo. En lo que concierne a la construcción de la malla captadora se pueden usar diferentes materiales, el más usado en Chile es la malla Raschel, hecha a base de polipropileno o nylon; sin embargo, también existen mallas que proporcionan una mejor eficiencia de captación como la malla Aluminet desarrollada por la empresa americana Kimre, que puede captar hasta 50 % más que la malla Raschel.

La ventaja principal de este sistema radica en que la captación de agua se hace en zonas de mayor altitud, permitiendo ser conducida simplemente por gravedad a un sistema cercano que pueda abastecer a diferentes viviendas. Por otro lado, se considera como una fuente nueva de agua, ya que su origen no viene condicionado de ninguna otra región donde se haya usado, es decir, no viene contaminada de otras cuencas o regiones hidrográficas.

Las desventajas de este sistema fueron que, después de haber implementado la tecnología, los habitantes perdieron interés porque no sabían cómo manejar los atrapanieblas; también surgieron complicaciones operativas debido a que el sistema no soportaba tormentas fuertes de viento y arena.

2.1.5. Asia

De acuerdo con el Banco Asiático de Desarrollo (2007), el Asia concentra al 60% de la población mundial y representa dos terceras partes de su incremento total. Estas cifras, sin embargo, no se corresponden con la disponibilidad de agua en el continente, la cual es del 30 % (IANAS y Foro Consultivo, Científico y Tecnológico A.C., 2012).

La infraestructura de agua potable en Asia se ha visto afectada tanto por los conflictos bélicos en la región oeste, como por la frecuencia de los desastres naturales en la región este y sureste. Aunado a esto, las políticas del agua han dado prioridad a las megaciudades y han desatendido a las poblaciones menores a 500 000 habitantes, que son mayoría y cuya tasa de crecimiento poblacional es mayor.

La región centro-sur de Asia tiene una de las mayores densidades de población y el mayor índice de pobreza del continente. La mayoría de las ciudades localizadas en esta región tienen menos de 500 000 habitantes por lo que, como se explicó en el párrafo anterior, son poco tomadas en cuenta en las políticas públicas. Debido a esto, la cobertura de agua potable en la región es tan sólo del 60 % (UN Water, 2017).

A continuación, se describen los casos de dos países pertenecientes a esta región de Asia en los cuales se han implementado técnicas alternativas de abastecimiento de agua.

2.1.5.1. Máquina expendedora de agua

De acuerdo con Ghosh y Arun (2014), la población urbana de la India es la segunda más grande del planeta; la mitad de esta población se concentra en apenas cinco estados, entre ellos la capital, Nueva Delhi (Figura 2.1.18). El mayor crecimiento de las ciudades tiene lugar en los cinturones de miseria localizados en sus periferias. Como resultado de esta acelerada urbanización, los servicios públicos, entre ellos el agua potable, no logran cubrir la demanda de toda la población.

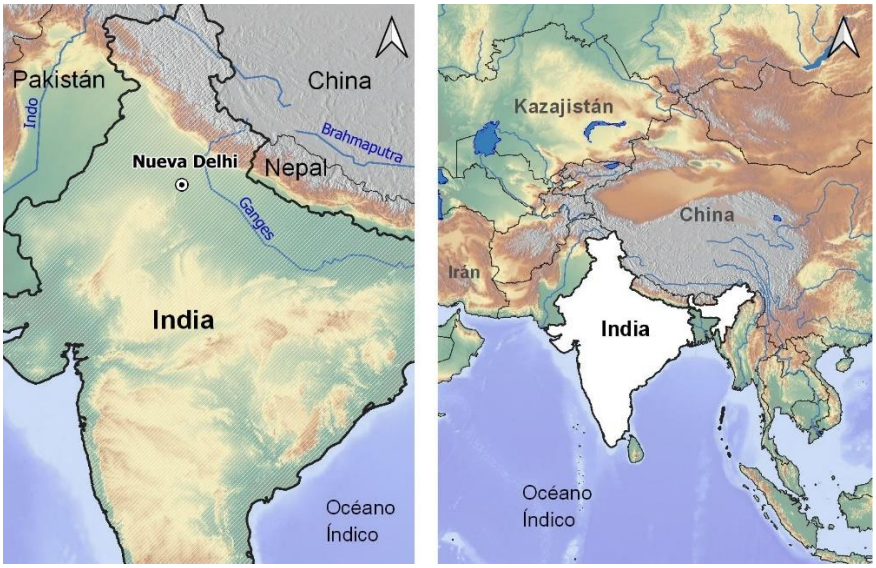


Figura 2.1.18. Localización de Nueva Delhi, capital de la India.

La disponibilidad de agua per cápita se ha visto reducida en Nueva Delhi debido al incremento de la demanda, lo cual se traduce en la sobreexplotación de los acuíferos, así como en la contaminación del agua por escurrimientos agrícolas y fuentes de contaminación difusas, que hacen más complicado el tratamiento de la misma.

En el caso de los asentamientos irregulares localizados en las periferias de Nueva Delhi, se accede al agua a través de camiones cisterna, por la cual los pobladores, además de mantener peleas con los vecinos por alcanzar un poco del vital líquido, pagan de tres a cinco veces más que los habitantes que se encuentran conectados a la red de agua municipal

Reglero (2014) señala que, con el fin de mejorar la calidad de vida de los pobladores de las periferias de la ciudad, diversas empresas han implementado máquinas expendedoras de agua, también conocidas como "ATM del agua". Este es el caso de la empresa *Delhi Jal Board* que, en conjunto con su homónima *Sarvajal* y la Fundación *Piramal*, instaló una planta potabilizadora y quince dispensadores de agua en el asentamiento de *Savda Gevhra*, a las afueras de Nueva Delhi. Este sistema obtiene el agua del subsuelo y la canaliza a una planta potabilizadora que utiliza ósmosis inversa y filtración ultravioleta, la cual funciona con energía solar; posteriormente, es repartida en las máquinas, donde las personas pueden llenar hasta veinte litros de agua por menos de una rupia el litro (menos de un centavo de dólar). Cabe mencionar que el servicio está disponible las 24 horas del día.

De acuerdo con Jewell (2013), la adquisición del agua se lleva a cabo a través de tarjetas inteligentes de prepago, las cuales se recargan en las franquicias de la empresa, o bien, desde un teléfono móvil. La tarjeta se pasa frente a un sensor, se selecciona la cantidad de agua deseada y se llenan los recipientes. En la Figura 2.1.19 se muestra una máquina expendedora de agua instalada en Nueva Delhi.

Figura 2.1.19. Máquina expendedora de agua en Nueva Delhi, India. Fuente: Verchot (2019).

Esta idea ha sido exitosa en Nueva Delhi, por lo cual el gobierno municipal decidió extender la red de máquinas dispensadoras de agua a otras diez colonias que carecen de cobertura en la red de la ciudad.

Esta tecnología presenta las ventajas siguientes: al ser un sistema descentralizado, es independiente de la red de agua municipal; sus procesos son automatizados y emplea energía solar en la potabilización del líquido; finalmente, es muy sencillo adquirir el agua a través de las tarjetas inteligentes. Por su parte, la desventaja está en los conflictos que puede causar que sean empresas quienes abastezcan de agua a la población, además de la posible falta de aceptación de los futuros usuarios y la falta de mercado empresarial que se especialice en esta tecnología.

2.1.5.2. Sistema de captación de agua de lluvia

Los distritos de Khulna y Satkhira están localizados al suroeste de Bangladesh, dentro de la franja costera que limita al oeste con la India (Figura 2.1.20). Esta zona es diferente del resto del país debido al alto nivel de salinidad de sus recursos hídricos, tanto subterráneos como superficiales. Además, está expuesta a riesgos tales como fluctuaciones del nivel del mar y ciclones. Se ha demostrado que éstos últimos tiene impactos peores que la intrusión salina en los acuíferos costeros de esta zona (Banco Mundial, citado por *Water Aid Bangladesh* 2010).

La única fuente de agua dulce en la región suroeste es el río Gorai, un tributario del Ganges; sin embargo, éste disminuye considerablemente su caudal en la época de estiaje.

De acuerdo con *Water Aid Bangladesh* (2010), la zona suroeste es la región más pobre del país; en el caso del distrito de Khulna, entre el 16 % y el 35 % de la población está en pobreza extrema.

En los distritos costeros más afectados por la intrusión salina, entre los cuales figuran Khulna y Satkhira, es común el uso de sistemas de captación de agua de lluvia. Diversas organizaciones no gubernamentales y el Departamento de Salud Pública de Bangladesh, han financiado estos sistemas en las comunidades marginadas de esta región.

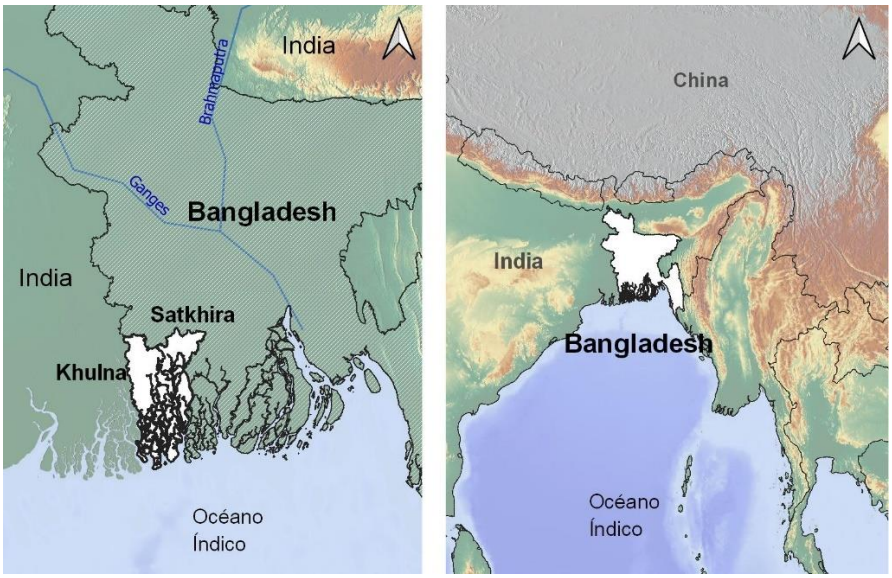


Figura 2.1.20. Localización de Khulna y Satkhira, Bangladesh.

En estos sistemas, el área de captación es el techo de la edificación donde se localice el sistema y se emplean tanques de plástico, concreto armado o ferrocemento; con capacidades desde 1000 hasta 10 000 litro; quienes no pueden costear un tanque o aún no tienen acceso a un financiamiento, optan por llenar jarrones con capacidad de 100 litros, conocidos como "Motkas"(Figura 2.1.21).

Figura 2.1.21. Recolección de lluvia en un "Motka" en Satkhira, Bangladesh. Fuente: EADA.

Cabe mencionar que en algunas zonas costeras también se emplean estanques excavados, los cuales son alimentados por agua de lluvia; sin embargo, de acuerdo con los resultados de entrevistas por *Water Aid Bangladesh* (2010), las personas que se abastecen, usan el agua para beber o cocinar sin haber realizado algún proceso previo de desinfección.

Muchos de los sistemas antes mencionados, trabajan adecuadamente gracias a la participación de las comunidades a través del mantenimiento, la operación o el aporte de las cuotas que, en algunos casos, deben cubrir; sin embargo, se observa que la falta de capacitación de las comunidades que poseen un sistema rudimentario de captación, puede derivar en problemas sanitarios y enfermedades, debido a la falta de equipo, mantenimiento y procesos de desinfección adecuados.

2.1.6. Europa

Europa es una península de aproximadamente 10.3 millones de kilómetros cuadrados y pertenece a la vasta masa continental llamada Eurasia. Los montes Urales forman una frontera natural que por convención se ha utilizado para separar la zona europea del continente asiático; el mar Mediterráneo lo separa del continente africano ubicado al sur de Europa; al norte colinda con el océano Ártico y al oeste con el océano Atlántico. Se puede dividir en siete regiones: Escandinavia, Islas británicas, Europa del oeste, Europa del sur, Europa central, sureste de Europa y Europa del este.

El clima en el continente europeo varía desde subtropical hasta polar. Al sur de Europa, en el Mediterráneo se puede encontrar un clima seco y cálido; en la parte oeste y noroeste,

generalmente tiene un carácter húmedo y lluvioso; en la zona central y oriente existen veranos húmedos y frescos, y, por último, en la parte norte se encuentran climas subárticos y tundra.

De acuerdo con la Agencia Europea del Medio Ambiente (2018), los europeos destinan todos los años miles de millones de metros cúbicos de agua dulce para satisfacer sus diversas necesidades: consumo humano, agricultura, industria, turismo, etc. La institución indica que los recursos pueden parecer inagotables; sin embargo, el crecimiento poblacional de los últimos años, en conjunto con diversos fenómenos ambientales como el cambio climático y contaminación han ejercido una gran presión para el suministro de agua en Europa y su calidad.

Es importante destacar que, en el reporte de 2019 hecho por la OMS se menciona que en el periodo de 2000 a 2017, el 95% de la población contenida en la región europea contaba con un servicio de agua segura. Con estas cifras reportadas se hace más evidente que la calidad de vida, con respecto a las demás regiones del planeta, es considerablemente mayor. Lo anterior se ve reflejado en la tecnificación de los sistemas implementados en la región y las diversas políticas que impulsan el ahorro y cultura del agua orientado a un manejo sustentable.

2.1.6.1. Sistemas típicos de captación de agua en Reino Unido

En la Figura 2.1.22 se puede observar que el Reino Unido se encuentra en la parte noroeste de Europa, su territorio lo constituye: la isla de Gran Bretaña, el noreste de la isla de Irlanda y algunas islas adyacentes. Se compone por cuatro naciones: Escocia, Gales, Inglaterra e Irlanda del Norte. La distribución de la precipitación hace notar que la parte sureste del territorio sufre un estrés hídrico. El promedio de precipitación anual reportado por la Agencia del Medioambiente de Reino Unido puede variar entre 500 y 600 mm de lluvia.

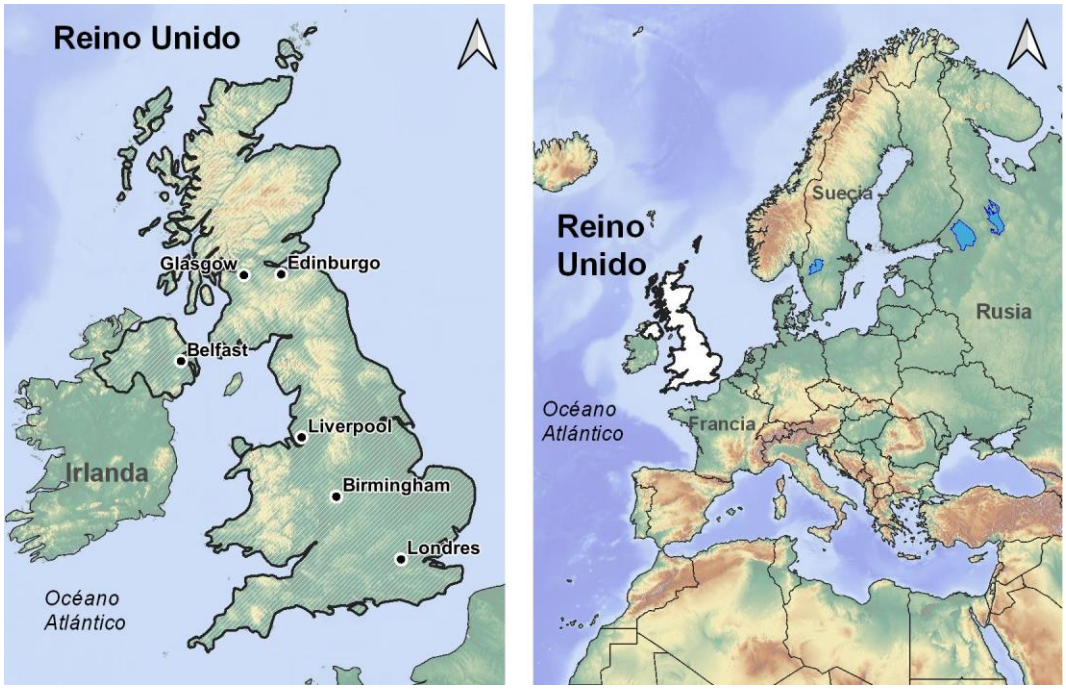


Figura 2.1.22 Ubicación de Reino Unido en Europa.

En el artículo *Rainwater Harvesting in the UK -Current Practice and Future Trends,* Sara Ward menciona que: "la investigación, tecnología, desarrollo y utilización de los sistemas de captación de agua de lluvia en Reino Unido no ha llegado a su madurez". A pesar de lo anterior, algunas iniciativas, como la Asociación para la Captación de Agua de Reino Unido (UKRHA, por sus siglas en inglés), promueven el uso de este tipo de sistemas para abastecer de agua a los domicilios para usos no potables como las descargas de sanitarios, regadío de áreas verdes, lavado de ropa y automóvil.

La Agencia del Medioambiente proporciona una guía de información acerca de los sistemas de captación que existen en Reino Unido, estos se pueden dividir en tres tipos básicos:

1. Agua captada en tanque de almacenamiento y bombeada directamente a los puntos de uso.
2. Agua captada en tanque de almacenamiento y conducida por gravedad a los puntos de uso.
3. Agua captada en tanque de almacenamiento y bombeada a una cisterna que alimenta por gravedad a los puntos de uso.

Cualquiera de los tres tipos anteriores tiene componentes para captar, filtrar y almacenar agua; también posee mecanismos para distribuir el agua a los puntos de uso; un sistema de control principal para monitorear los niveles de cada parte y un mecanismo de suministro de agua de la red para surtir la cantidad mínima de agua requerida en caso de un largo periodo sin precipitación.

Con relación a las características del tanque de almacenamiento, existen diferentes tamaños ajustables al tipo de vivienda, la mayoría de los tanques utilizados en Reino Unido son construidos con fibra de vidrio, polietileno o concreto. El tamaño y posición del tanque proporcionan diversas ventajas y desventajas dependiendo de cada situación donde se quiera aplicar el sistema; así los tanques elevados tienen un acceso a reparación e inspección más sencillos que los que se encuentran bajo el suelo, y su instalación es menos costosa; por otro lado, los tanques subterráneos reducen la entrada de luz que propicia la formación de algas en el depósito, también están mejor protegidos de las condiciones meteorológicas y ahorran espacio en el sitio.

El sistema de bombeo utiliza bombas de succión o sumergibles para atender la distribución dentro de la vivienda bajo uno de los dos siguientes casos: el primero consiste en surtir el agua directamente en el punto de la casa donde sea utilizado; y el segundo es llevar el agua hasta un tanque elevado donde éste pueda alimentar toda la habitación.

A pesar de las ventajas que sugieren estos sistemas, la captación de agua de lluvia no es muy común en Inglaterra debido a dos razones principales: la primera tiene que ver con el alto costo de instalación y mantenimiento de los componentes; mientras que la segunda está relacionada con una preocupación sobre la calidad del agua, asociada a un posible riesgo a la salud. Estas circunstancias incluyen también que el abastecimiento de agua potable de la red municipal es más barato y que existe una falta de interés por parte de los proveedores del servicio de agua.

2.1.6.2. Sistema doméstico de captación de agua en Irlanda

La República de Irlanda se encuentra en el archipiélago británico y, como se observa en la Figura 2.1.23, constituye el 83 % del territorio de la isla (70 273 km^2); el territorio restante corresponde a

Irlanda del Norte, la única colindancia territorial del país. La temperatura de la zona rara vez excede los 30 grados Celsius y existe muy poca variación al respecto, debido a esto se considera una zona estable térmicamente.

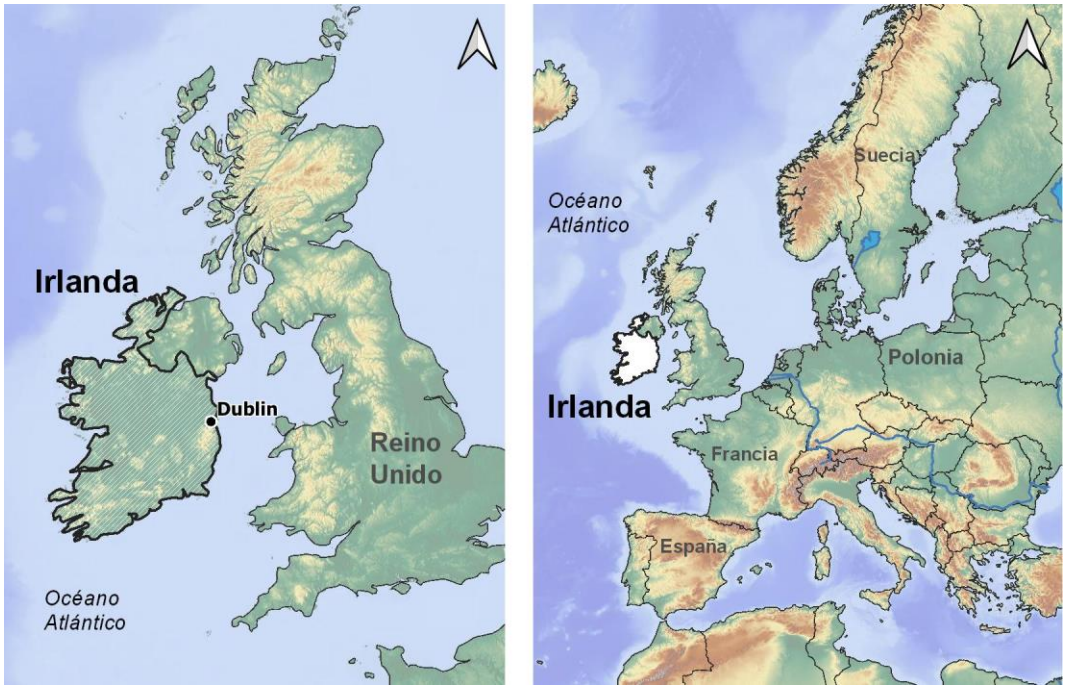


Figura 2.1.23 Ubicación de Irlanda en Europa.

La gran disponibilidad de agua que presenta este país se debe a los altos niveles de precipitación que presenta la región; sin embargo, la falta de agua será uno de los problemas más importantes en un futuro próximo, debido al incremento poblacional que se observa, sobre todo en la región en la que se ubica Dublín, capital de Irlanda. El clima único de la región provee en la zona sureste alrededor de 150 días al año con lluvias mayores a 1 mm y, en la parte oeste, hasta 250 días. El promedio de precipitación anual se encuentra entre los 1000 y 1250 milímetros, aunque en las zonas montañosas se llegan a registrar hasta los 2000 mm anuales.

Zhe Li (2010) menciona que la utilización de sistemas domésticos de captación de agua puede asegurar el servicio de abastecimiento de agua potable en Irlanda en un largo plazo, puesto que minimizan el consumo del agua suministrado por la red pública y además permitirán alcanzar la sostenibilidad hídrica. En Irlanda, una práctica común es aprovechar el agua de lluvia que es captada en el techo de las viviendas y es utilizada para usos no potables, tales como descargas de sanitario, lavandería, lavado de automóvil y riego de áreas verdes. Se considera que los techos de las viviendas proporcionan una superficie limpia que permite que la calidad del agua almacenada sea de buena calidad, a diferencia de las calles.

El sistema doméstico de captación de agua típico en Irlanda se muestra en la Figura 2.1.24. Consta de tres componentes principales: la captación, la conducción del escurrimiento y el tanque de almacenamiento.

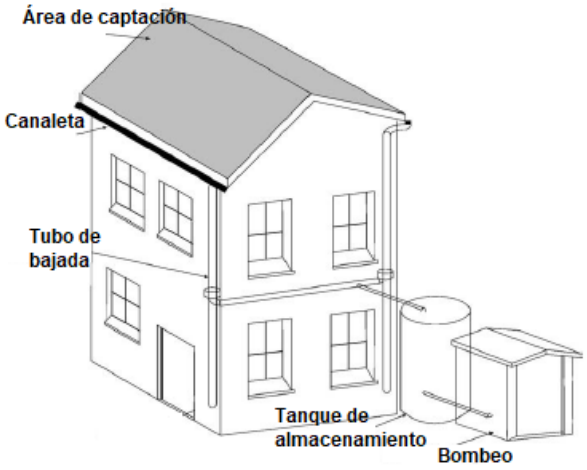


Figura 2.1.24 Sistema doméstico de captación de agua de lluvia en Irlanda. Fuente: Zhe Li, 2010.

El área de captación es la superficie impermeable del techo de las viviendas, lo que permite el escurrimiento de agua cuando se presenta un evento de lluvia; los materiales que suelen recomendarse para esta parte del sistema son hojas de acero corrugado, tejas, plástico corrugado, y cemento, materiales que permiten una mayor vida útil y una buena eficiencia de conducción; también es importante que las superficies no tengan materiales tóxicos (pintura) que puedan disminuir la calidad del agua.

El sistema de conducción del escurrimiento normalmente consiste en canaletas que son instaladas en los bordes del techo con cierta pendiente, éstas permiten conducir el agua a los tubos de bajada. Así mismo, los tubos de bajada son conectados al tanque de almacenamiento. Los materiales más usados en canaletas y tubos de bajada son: hierro galvanizado, fibra de vidrio y plástico; se ha observado que la forma semicircular proporciona mayor eficiencia de conducción. En general, las dimensiones recomendadas para las canaletas son de 1cm ^{2} de sección transversal en la canaleta por cada metro cuadrado de captación.

Finalmente, el agua es conducida y entregada a la parte final del sistema que consiste en un tanque de almacenamiento; este componente generalmente es el más costoso y ocupa entre el 50 y 70% de la inversión total. El tanque se diseña bajo diferentes criterios, como materiales, forma y ubicación. En cuanto a materiales se puede construir a base de ladrillo-cemento, concreto, plástico o metal, que generalmente mantienen el agua almacenada sin riesgo de contaminantes. Respecto a la forma, éstos pueden ser rectangulares o cuadrados, y se recomienda que sean instalados sobre la superficie del terreno debido a su facilidad de construcción; por otro lado, también pueden ser circulares, a los cuales se recomienda instalar bajo la superficie, con el propósito de aprovechar su geometría en el empuje ejercido por el suelo cuando el tanque está vacío. En cuanto a su posición podemos encontrar tanques sobre la superficie y tanque subterráneos; cada ubicación proporciona diversas ventajas que deben ser consideradas en el diseño.

Lo que debe ser indispensable cuando se plantea la construcción del tanque de almacenamiento es su capacidad para abastecer a la vivienda; un tanque de capacidad reducida generará que se

llene y vacíe más rápido y puede ser que no sea capaz de abastecer al hogar en un periodo largo de sequía; mientras que un tanque de mayores dimensiones almacenaría gran cantidad de agua por largo tiempo, lo que podría disminuir la calidad del agua, si no se le da el mantenimiento adecuado.

A pesar de la buena calidad del agua que se puede lograr con estas características, en Irlanda no se recomienda el uso de esta agua para consumo humano a menos que se lleven procesos de tratamiento previos a su consumo. Algunos de los procesos más baratos que son recomendados para esta situación son la desinfección a base de cloro, filtración lenta con arena y la pasteurización.

2.1.7. Oceanía

Oceanía es un continente compuesto de innumerables islas. Está conformado por las siguientes regiones: Australia, que es la principal plataforma continental; las islas de Nueva Guinea y Nueva Zelanda, y, por último los archipiélagos de Melanesia, Micronesia y Polinesia. En cuanto a su división política, está constituido por: 14 naciones independientes, 14 dependencias de otros países y 5 territorios que se encuentran en lugares fuera del continente oceánico. Su extensión territorial es menor a la de los demás continentes, por lo que es el más pequeño de todos ellos.

El clima de este continente está fuertemente influenciado por las corrientes oceánicas; esto implica que lo afectan fenómenos meteorológicos como los ciclones, el fenómeno El Niño y sequías periódicas. A causa de lo anterior, Oceanía es el continente más seco sobre el planeta. De acuerdo con el Instituto Parroquial Bernardo D´Elia, el 40% de su territorio está cubierto de arena, la mayor parte carece de pendientes fuertes y su suelo es de los menos fértiles.

Edmundo Fayanás (2011) menciona que para el científico Tom Hatton, el continente oceánico se está secando y que los desafíos para el abastecimiento de agua para las necesidades básicas se vuelven cada vez más complejos. La agricultura de la región se ve fuertemente afectada por la ausencia de agua, al igual que las grandes ciudades; las restricciones en el consumo de agua cada vez se vuelven más estrictas.

De acuerdo al reporte de la OMS (2019), donde se hace un recuento de los servicios de agua potable entre 2000 y 2017, 55% de la población tiene un servicio básico de agua potable y, lamentablemente, el porcentaje de usuarios que usaba agua superficial para consumo humano aumentó del 26 al 38% en este periodo.

A continuación, se presenta uno de los sistemas que se implementan en el área para resolver el problema de abastecimiento de agua.

2.1.7.1. Canaletas de almacenamiento

Australia es un país con una extensión territorial que alcanza los 7.7 millones de kilómetros cuadrados y una población que supera los 24 millones de habitantes. Puede considerarse como el país más seco en el planeta debido a que recibe en promedio 469 mm de lluvia al año.

En la Figura 2.1.25 se muestra la ubicación de Sidney; ciudad importante en Australia debido a que es la urbe más densamente poblada. Se encuentra en el estado de Nueva Gales del Sur y tiene una población de 4.92 millones de habitantes según una estimación en 2015 por parte del *Australian Bureau of Statistics*.

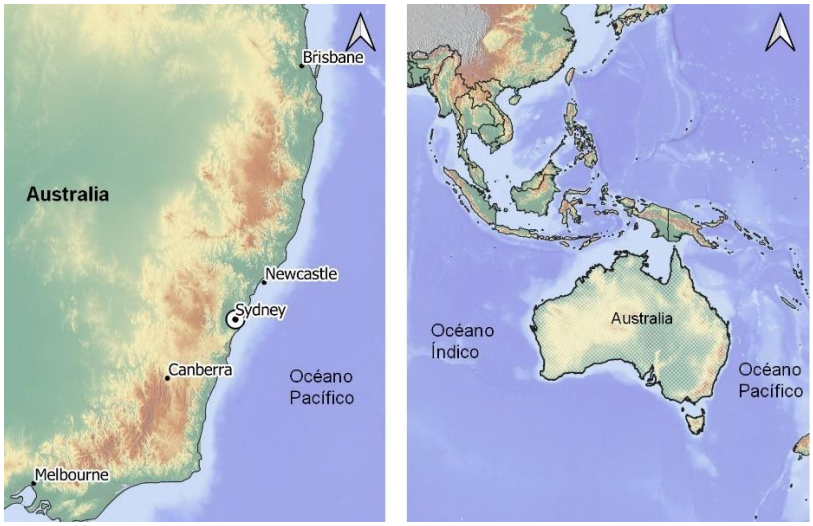


Figura 2.1.25 Ubicación de Sydney en el continente oceánico.

A pesar de la tendencia a la construcción de unidades habitacionales de gran altura en ciudades importantes, el sector de la construcción australiano sigue siendo de baja altura y con densidad media o baja (Hardie, 2010). La unidad de vivienda típica que se está construyendo en la periferia de las ciudades se levanta con ladrillo y tiene 3 recámaras con techo de teja.

Las condiciones climáticas de gran sequía que se perciben en los últimos años, han hecho que las autoridades australianas impulsen el uso de sistemas de captación de agua de lluvia para usos secundarios como descargas en sanitario y regadío de áreas verdes, por medio de regulaciones y estímulos con el objetivo de disminuir el desperdicio de agua potable en actividades donde no se requiere una calidad de agua muy alta. Un esfuerzo adicional para la captación de agua pluvial fue el diseño de canaletas de almacenamiento que se muestran en la Figura 2.1.26.

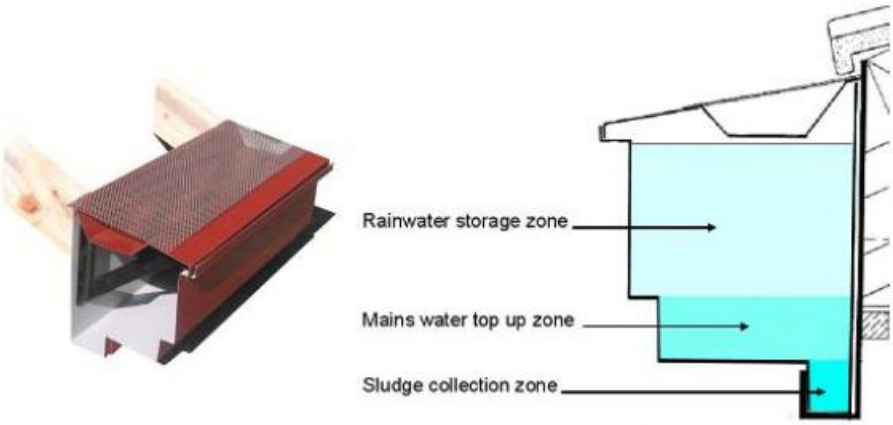


Figura 2.1.26 Esquema de canaleta de almacenamiento.

La tecnología implementada en este sistema consiste en considerar los techos de las viviendas como área de captación e instalar canaletas en sus bordes, las cuales funcionan como almacenamiento; éstas a su vez son soportadas por el marco de la vivienda. La canaleta es alimentada por gravedad a partir de la superficie del techo y, debido a que el almacenamiento se encuentra elevado, la distribución del agua se hace por gravedad a las instalaciones de la vivienda; cuando la canaleta de almacenamiento se encuentra llena el agua excedente es redirigida al suelo para infiltración. En contraste con las canaletas comunes que conducen agua hacia un tanque de almacenamiento, las canaletas de esta tecnología son instaladas horizontalmente para tener un 100% de capacidad.

Una de las ventajas de esta tecnología, sobre aquellas que emplean tanques de almacenamiento, es que el acopio del agua se hace en la parte alta de la vivienda, lo que evita el uso de sistemas de bombeo. Adicionalmente, al instalar las canaletas de almacenamiento en la parte alta de la vivienda y adosadas al techo, no se ocupa espacio en la parte de abajo, como lo haría un tanque de almacenamiento. Existen diseños de diferentes capacidades que van desde los 15 l/m para una baja demanda hasta los 48 l/m.

La mayor desventaja es que el sistema tiene que ser instalado en una casa que esté perfectamente nivelada para mantener la horizontalidad de las canaletas; si no se cumple con lo anterior, la capacidad de almacenamiento disminuye. Otra desventaja operativa observada es que las cisternas de los sanitarios no se llenan lo suficientemente rápido. Por otra parte, dado que el sistema considera que cuando las canaletas se encuentren llenas por completo, el excedente ese redirigirá para aprovecharlo como infiltración a través del suelo; por ello, es importante contar con datos que permitan estimar la velocidad de infiltración, con el fin de calcular el área necesaria para infiltrar dicho escurrimiento, de lo contrario se generarían encharcamientos. Esto último representa un serio inconveniente cuando el espacio es reducido y no se cuenta con el área suficiente para el proceso de infiltración.

2.2. TÉCNICAS DE DRENAJE

2.2.1. África

En África, 695 millones de habitantes de los países de la región Subsahariana no cuentan con instalaciones de sistemas de saneamiento, lo que la convierte en la segunda región en el mundo con mayor número de habitantes en esta situación, después de Asia meridional, de acuerdo con el informe realizado por Unesco en 2019 sobre el desarrollo hídrico mundial. De manera comparativa, el norte de África cuenta con el 89% de cobertura en instalaciones de saneamiento mejorado; mientras que el África Subsahariana sólo cuenta con el 30%. Una característica común en el continente es que las instalaciones de saneamiento son compartidas por un grupo limitado de personas u hogares.

Dentro de los objetivos del milenio (ODM) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), planteados en el 2015, está la disminución de los problemas de salud e higiene debido a la defecación al aire

libre, dado que sigue siendo un problema grave para el continente africano. Por ello, se han implementado en los últimos años técnicas adaptables a comunidades pequeñas con el fin de apoyar a la región, especialmente, por parte de los países europeos, en conjunto con instituciones, organizaciones no gubernamentales (ONG) y organismos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Las variables varían por cada país o región y su estrecha relación entre el agua, sanidad e higiene, con la finalidad de implementar técnicas funcionales. Entre las regiones de mayor interés está el África Subsahariana, debido a los altos índice de pobreza, problemas sanidad y acceso a fuentes de saneamiento mejorado.

2.2.1.1. Fosa Letrina - infiltración

Níger es un país sin litoral de África Occidental, con clima predominantemente desértico, aunque en el extremo sur existe una zona con clima tropical. En esta zona sur se encuentra la capital, Niamey, en la ribera del río Níger (Figura 2.2.1), crucial para las fuentes económicas del país. Actualmente, es considerado un país con un alto índice de pobreza; el acceso a instalaciones de saneamiento mejorado es del 38% en zonas urbanas; mientras que en zonas rurales es del orden del 5% (librería de la CIA, 2020).

Debido a los problemas de salubridad e higiene (aguas residuales que fluyen en las calles y defecación al aire libre que provocan infecciones y enfermedades) se empleó una técnica de instalación de saneamiento mejorado de bajo costo, principalmente, en comunidades en la zona sur del país. La ONG *RAIL Niger* (por sus siglas en francés *Réseau d'Appui aux Initiatives Locales Niger*) propuso un método de "letrina-infiltración". En el manual Como seleccionar técnicas apropiadas para el saneamiento (Monvois,Gabert, Frenoux y Guillaume, 2004) se muestra el sistema de doble pozo (Figura 2.2.2) que permite separar el área de defecación y lavado; por lo que cuenta con un pozo para la recolección y almacenamiento de excrementos, y otro pozo de infiltración de aguas provenientes de un área de lavado o aseo personal.

Figura 2.2.1 Ubicación del país Níger y la capital Niamey en el continente africano.

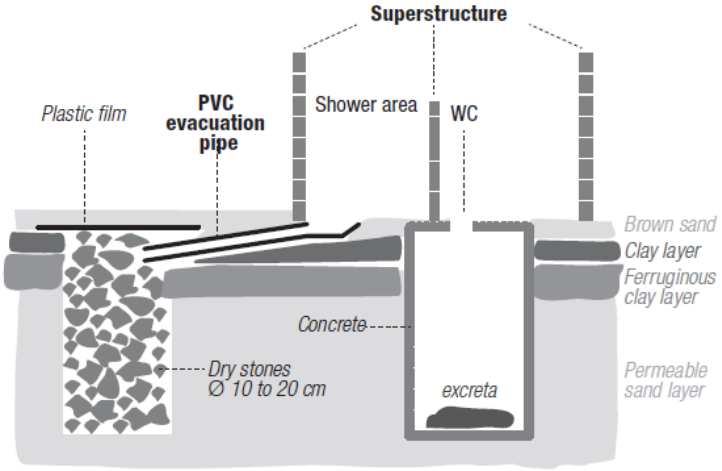


Figura 2.2.2 Composición de baños con letrina-sumidero, desarrollado por la ONG RAIL-NIGER (2004).

Por lo tanto, los pozos tienen funciones particulares. El pozo cuya finalidad es la recolección de agua de aseo personal o lavado está conectado a un área de ducha, por medio de una superficie de cemento o cerámica con una pendiente dirigida al conducto de salida, que consiste en un tubo de PVC; este pozo está en contacto con una capa de suelo para infiltración y rellenado con elementos pétreos de diámetros entre 10 a 20 centímetros aproximadamente; los principales criterios para su diseño son: volúmenes de agua descargada, superficie disponible y capacidad de infiltración del suelo.

El segundo pozo es una letrina compuesta por una cámara de ladrillo o concreto que almacena los excrementos; su profundidad puede variar entre 1.5 y 2.5 metros. En este caso, es necesario llevar a cabo un vaciado regular para un mantenimiento correcto.

Ambos pozos están integrados en una "súper estructura" que tiene la función integrar a los dos cuartos (zona de lavado o aseo personal y zona de excretas), con el propósito de evitar la entrada de aguas provenientes del exterior. Esta estructura se construye con muros de mampostería, sin integrar una losa de concreto armado en la parte superior.

Una de las limitantes de este sistema es que no se debe emplear en lugares propensos a inundaciones, puesto que esto aumenta el riesgo ya latente de contaminar el manto freático. Por otra parte, la ventaja de este sistema es el bajo costo de su construcción y su mantenimiento, dado que puede ser reparado por gente local.

2.2.1.2. Sistema Arborloo

Malawi es un país sin litoral cercano a la costa oriental de África (Figura 2.2.3), en el que predomina el clima subtropical y que adoptó una técnica de saneamiento sustentable y ecológico. Este país cuenta actualmente con una población aproximada de 21.2 millones de habitantes; la mayor parte de la cual se halla distribuida al sur del lago Nyasa.

El acceso a instalaciones de saneamiento es del 47.3% en zonas urbanas; mientras que en zonas rurales es de 39.8 % en promedio (librería de la CIA, 2020).

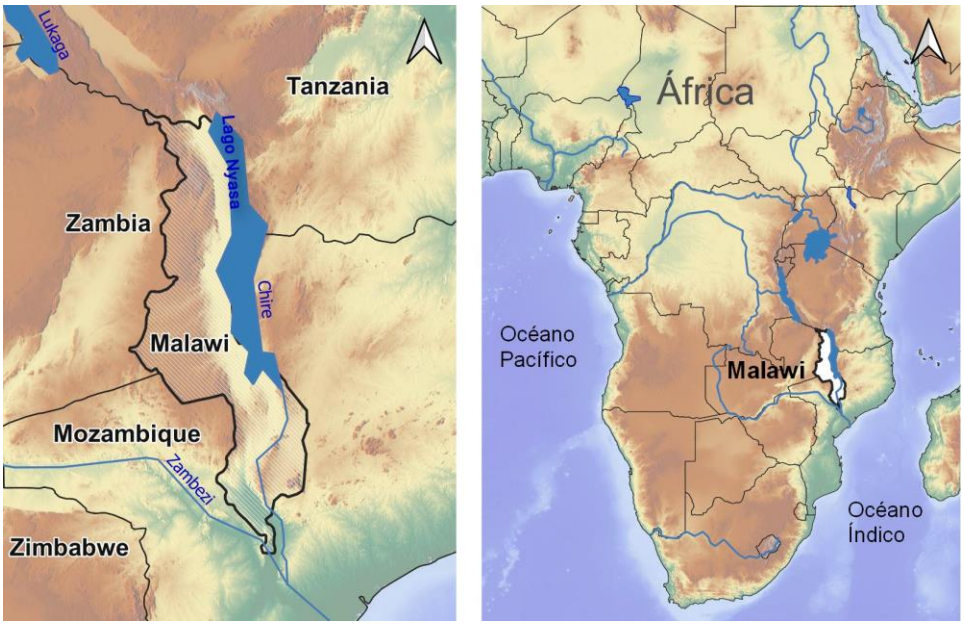


Figura 2.2.3 Ubicación de Malawi en continente africano

Considerado como un país con alto índice de pobreza, asociado a diversos problemas de salud, en Malawi se adoptó una técnica de bajo costo denominada Arborloo, que fue desarrollada por EcoSan, empresa con sede en Suecia, y por la asociación internacional Programa de agua y sanemamiento (*Water and Sanitation Program*).

El sistema Arborloo se compone de una estructura portátil, un dispositivo sin división urinaria y una fosa séptica de poca profundidad, diseñada para llenarse aproximadamente en un año. Para implementar este sistema es necesario realizar una fosa de poca profundidad que esté en contacto con la tierra, sobre la cual se coloca una estructura móvil elaborada con materiales ligeros que cuenta con una base sin división urinaria. Los excrementos caen al pozo hasta llenar, momento en el cual se retira la estructura móvil y sobre la fosa séptica llena se siembra un árbol maderable o frutal. El proceso anterior se repite para una nueva fosa (Figura 2.2.4).

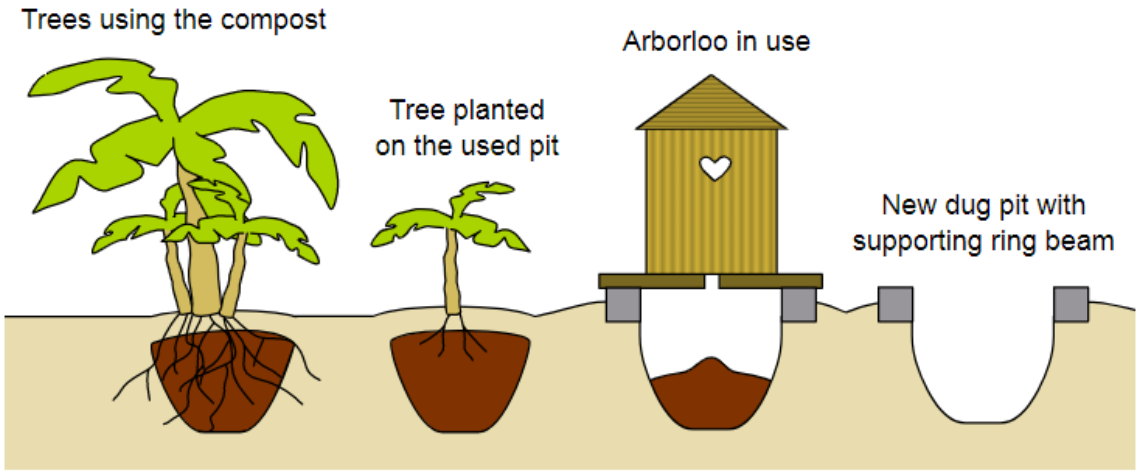


Figura 2.2.4 Sistema "Arborloo". Fuente: Morgan, 2007.

Para mejorar su funcionamiento, se debe agrega periódicamente una mezcla de tierra, cenizas de madera y hojas, con el fin de producir una composta equilibrada.

Esta opción tiene las siguientes ventajas: es muy económica, no requiere dar mantenimiento al pozo y se realiza cuantas veces la superficie y el suelo lo permitan. Aunque se debe considerar que sólo es aplicable en zonas no inundables, donde el suelo sea permeable y la capa freática se encuentre por debajo de los 2 m.

De acuerdo con el informe de 2003: Una revisión de la experiencia EcoSan, los resultados positivos de este sistema han sido ampliamente reconocidos por las comunidades de Malawi que adoptaron la técnica, conscientes de su funcionamiento y del beneficio de aprovechar los residuos como material importante para el compostaje.

2.2.2. América Central y el Caribe

De acuerdo con UN-Water (2019), en 2015 sólo el 22% de la región de América Latina y el Caribe tenía acceso a una infraestructura de saneamiento segura. Existen grandes diferencias entre los países de la región, pero también dentro de éstos, ya que las zonas rurales presentan un mayor rezago en cobertura de saneamiento.

La población que no tiene acceso a la red de saneamiento opta por soluciones alternativas tales como letrinas o defecación al aire libre, lo cual ha traído serios problemas de contaminación de las fuentes subterráneas y superficiales de agua. Esto sucede principalmente en las zonas rurales, aunque también en los asentamientos de las periferias de las grandes ciudades.

A continuación, se describe el caso de una técnica de saneamiento alternativo implementado en un país centroamericano.

2.2.2.1. Sistema de alcantarillado libre de sólidos

El Área Metropolitana de Tegucigalpa-Comayagüela, en conjunto con 44 aldeas y 291 caseríos, conforman el Distrito Central de Honduras. Tan sólo en el Área Metropolitana de Tegucigalpa, habitan 1.1 millones de personas (IANAS y UNESCO, 2015). En la Figura 2.2.5 se muestra la localización de la ciudad de Tegucigalpa.

Tegucigalpa ha presentado un acelerado crecimiento de la población desde la década de 1950, lo que ha llevado a las personas a instalarse en asentamientos irregulares de la periferia urbana; más de cuatrocientos barrios, de los novecientos que comprende actualmente la ciudad, se formaron a partir de invasiones urbanas. Este crecimiento desbordado provocó que la cobertura de servicios de agua potable y saneamiento de Tegucigalpa sea insuficiente desde hace años.

En 2011, en materia de alcantarillado, únicamente el 60 % de las viviendas de las zonas urbanas estaban conectadas a la red municipal. En el caso de los asentamientos localizados en la periferia, además de no tener acceso a agua potable, la cobertura de drenaje es nula; es por ello que las personas emplean tanques sépticos y letrinas. En lo que respecta al tratamiento de aguas residuales, la situación es aún más crítica; se sabe que sólo el 10.9 % del agua residual recibe un tratamiento antes de ser vertida en otro cuerpo de agua (Mairena, et al., 2011).

Figura 2.2.5. Localización de la ciudad de Tegucigalpa, Honduras.

De acuerdo con un informe del Banco Asiático de Desarrollo (2014), debido a la grave problemáticas en materia de alcantarillado, el Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados de Honduras (SANAA), con el apoyo de UNICEF, implementó en asentamientos de la periferia de Tegucigalpa un sistema de alcantarillado libre de sólidos, el cual consiste en una serie de fosas sépticas conectadas a una red de drenaje de pequeño calibre que transporta aguas residuales libres de sólidos, dado que éstos se sedimentan en las fosas. Esta red comunitaria descarga los desechos domésticos a un colector principal. En la Figura 2.2.6 se muestra un esquema de este sistema.

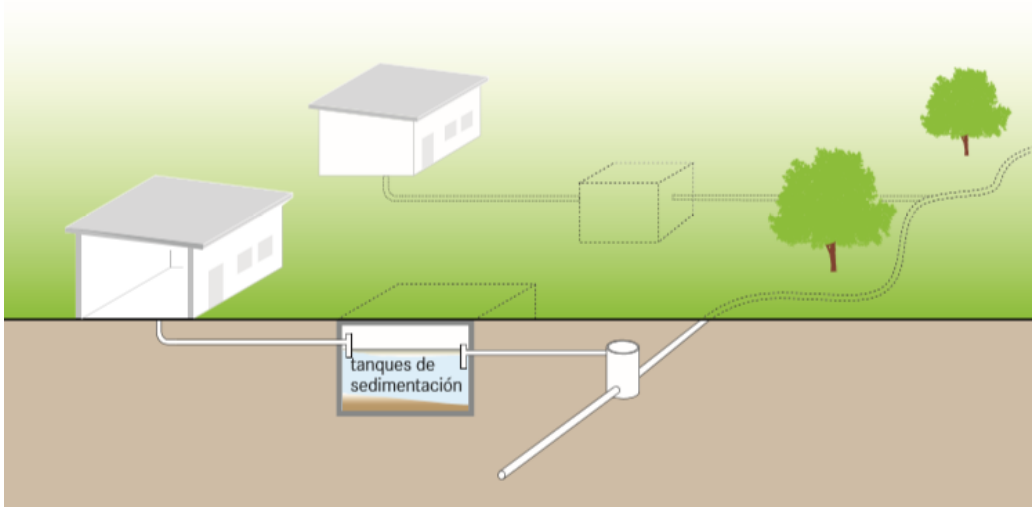


Figura 2.2.6. Esquema de alcantarillado libre de sólidos. Fuente: Tilley et al.

Este sistema requiere de un mantenimiento periódico, dado que las deben recibir limpieza regular para garantizar el funcionamiento de la red de alcantarillado libre de sólidos; sin embargo, este mantenimiento puede ser llevado a cabo por la misma comunidad. Cabe mencionar que este tipo de tecnología es adecuada para poblaciones densas donde no hay espacio para pozos de absorción o campos de filtración.

Las redes de alcantarillado libre de sólidos presentan la ventaja de emplear materiales locales en su construcción y mantenimiento, además de la posibilidad de adaptarse al crecimiento o a los cambios de la población; finalmente, representa un ahorro significativo respecto a un sistema convencional: Tilley et al. (2011) señalan que el alcantarillado libre de sólidos se puede construir a un costo 20 a 50 % menor que un sistema convencional a gravedad.

Por su parte, los aspectos negativos incluyen: el requerimiento de expertos en su diseño, la continua reparación de la red debido a taponamientos, así como la consideración de que los lodos de las fosas sépticas y el efluente de las mismas deben ser tratados.

2.2.3. América del Norte

La mayoría de la población, tanto de Canadá, como de Estados Unidos, tiene acceso a una infraestructura de saneamiento adecuada; sin embargo, también existen minorías con deficiencias en el servicio o, incluso, sin cobertura.

En Canadá existen comunidades de nativos asentadas en zonas rurales alejadas de los grandes centros urbanos, las cuales cuentan con una infraestructura de saneamiento muy deteriorada, o bien, no cuentan con ésta. Debido a esto, el uso de fosas sépticas es común en estas poblaciones, lo que ha llevado a que sus fuentes de abastecimiento de agua sean contaminadas, presentándose decesos por enfermedades infecciosas. En consecuencia, el gobierno canadiense ha desarrollado centros y programas de capacitación de personal para el mantenimiento de la infraestructura en estas comunidades (IANAS y UNESCO, 2015).

En el caso de los Estados Unidos de América, tal como sucede con el agua potable, las comunidades marginadas de nativos americanos o de otros grupos vulnerables, también carecen de saneamiento; sin embargo, a diferencia de Canadá, no ha sido el Estado quien ha tomado medidas, sino algunas ONG.

A continuación, se describe el caso de una comunidad en Estados Unidos en la que se implementó una tecnología alternativa para el saneamiento.

2.2.3.1. Fosa séptica

En los Estados Unidos de América cerca de dos millones de personas no tienen acceso a agua potable ni a saneamiento (Dig Deep y US Water Alliance., 2019), debido a su condición socioeconómica y racial (Winkler, I. y Kamuf, J., 2019); dentro de estas estadísticas se encuentra un tercio de la población del pueblo navajo.

La nación Navajo habita en el punto donde convergen cuatro estados: Utah, Colorado, Arizona y Nuevo México (Figura 2.2.7). De acuerdo a un reporte de la BBC (2011), los navajos son el pueblo indígena más numeroso de Estados Unidos.

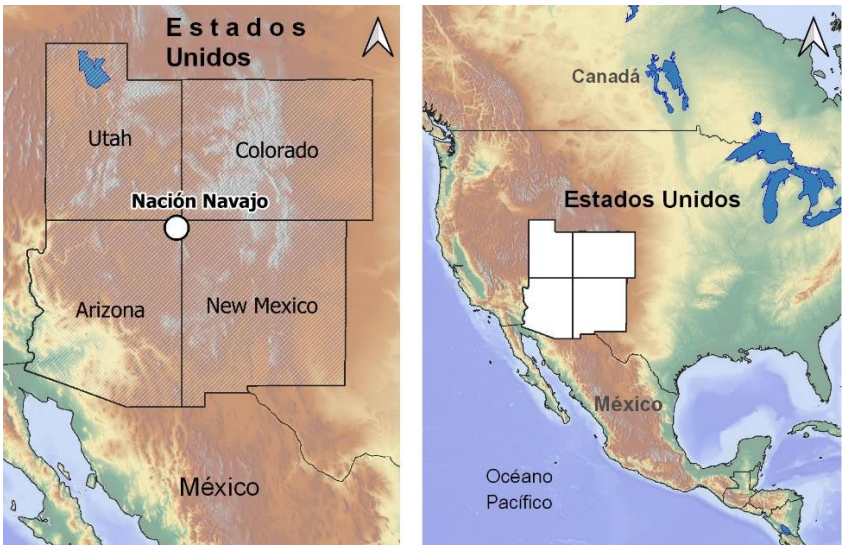


Figura 2.2.7. Localización de la Nación Navajo, Estados Unidos.

En un informe de la organización sin fines de lucro Dig Deep (2018), se señala que para abatir la problemática de falta de agua en la comunidad se implementó el programa *Navajo Water Project,* con el propósito de abastecer de agua potable y saneamiento a comunidades de la nación Navajo. En materia de saneamiento, se implementaron fosas sépticas en cada residencia, que consisten en cámaras resistentes al agua, hechas de concreto, que reciben las aguas residuales en las que se lleva a cabo un tratamiento primario que produce un efluente con una cantidad considerablemente menor de sólidos en suspensión.

De acuerdo con Tilley et al. (2011), la fosa séptica consta de dos cámaras. La primera sirve de sedimentador, en ella se degradan anaerobiamente los sólidos que se quedan en el fondo; debido a que la tasa de acumulación es mayor que la tasa de degradación, el sistema debe limpiarse regularmente. La segunda cámara recibe el agua proveniente de la primera, donde se sedimentó la mayor parte de los sólidos; finalmente, el efluente sale de la fosa. Entre cada cámara hay un deflector o trampa de grasas y espuma que evita que éstas escapen con el efluente (Figura 2.2.8). Cabe mencionar que el tiempo de retención debe ser de 48 horas para lograr un tratamiento adecuado.

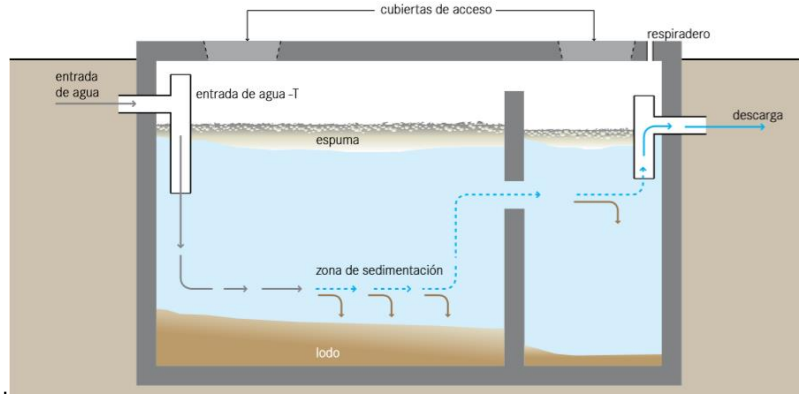


Figura 2.2.8.Esquema de fosa séptica. Fuente: Tilley et al.

Dentro de las ventajas de este sistema están el bajo costo de operación, ya que no requiere energía para funcionar, una larga vida útil y ahorro de espacio (se puede construir bajo tierra); además de que las personas no entran en contacto con los desechos. Por otra parte, la principal desventaja radica en que el tratamiento que se lleva a cabo es básico, por lo que se requiere de un tratamiento adicional o una descarga apropiada; así mismo, es necesarios extraer los lodos periódicamente.

2.2.4. América del Sur

Como se mencionó en el capítulo 2.1.4, que trata sobre técnicas de abastecimiento de agua potable empleadas en América del sur, esta región cuenta con importantes recursos hídricos; sin embargo, la distribución de este recurso varía espacialmente debido a diversos factores como la topografía, el clima, aspectos sociales y económicos, entre otros más.

La OMS (2019) a través del Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento del Agua, el Saneamiento y la Higiene producen estimaciones de los progresos en materia de agua, saneamiento e higiene a nivel mundial. En el reporte hecho en 2019, las estadísticas realizadas para la región de América Latina y el Caribe indican que, en 2017, 4 de cada 10 personas empleaban servicios de saneamiento gestionados de forma segura. En otras palabras, más del 50% de la población carece o solamente dispone de servicios básicos o limitados en relación a las instalaciones sanitarias.

También es importante destacar que en América del sur aún existe un 4% de la población que realiza defecación al aire libre. Los países con el menor porcentaje de cobertura en saneamiento (de 0 a 25%) son: Colombia, Venezuela y Bolivia.

En el presente análisis se describen algunas técnicas que se han desarrollado para resolver problemas de saneamiento en diferentes partes de América del sur.

2.2.4.1. Sanitario de doble cámara y calentadores (deshidratación)

La provincia de Cotopaxi se encuentra en los Andes, en la región central de Ecuador, a 2750 msnm (Figura 2.2.9), su capital es la ciudad de Latacunga. Abarca 6085 km^2 y la proyección demográfica realizada para el 2020 estima una población de 48 8716 personas.

Desde 1985, en la provincia de Cotopaxi, se optó por un sistema de reúso de los desechos para subsanar el problema crónico de pérdida de suelo que existe, para lo cual se han instalado aproximadamente 300 sanitarios secos.

Figura 2.2.9 Ubicación de provicia Cotopaxi, Ecuador.

El sistema empleado en estos baños se basa en una técnica de deshidratación, que consiste en extraer el líquido de la materia excretada. El sanitario cuenta con doble cámara y calentadores solares (Figura 2.2.10); debido a la temperatura de la atmósfera, en la región no hubo necesidad de desviar la orina. Después de cada uso, se espolvorea aserrín y/o cenizas. Cada cámara se utiliza por seis meses antes de cambiar a la siguiente y cada una tiene una tapa hecha con un bastidor de madera cubierta por una lámina de acero que es pintada de negro para favorecer la absorción de calor y contribuir a la deshidratación del material contenido en las cámaras. Las cámaras de depósito tienen respiraderos en cada tapa y dentro del almacenamiento existe un tubo de ventilación con una malla al final que hace la función de mosquitero.

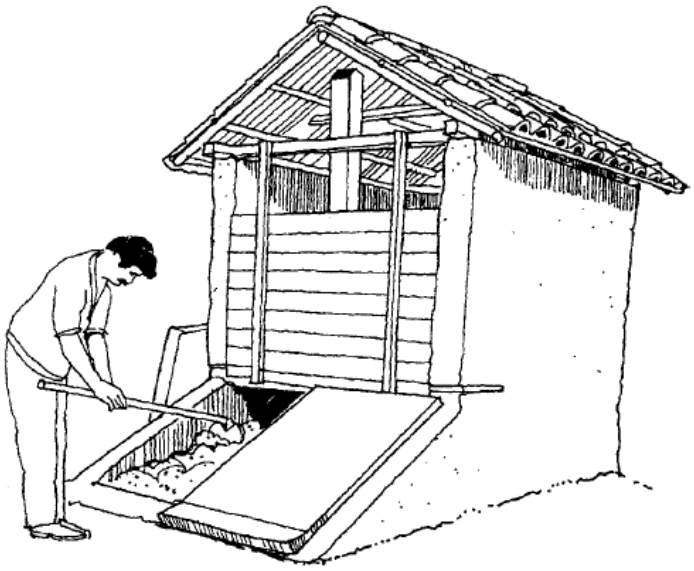


Figura 2.2.10 Sanitario con doble cámara y calentadores solares.

Esta tecnología se construye con ladrillos secados al sol, elaborados en el mismo sitio de instalación. Se complementa la construcción con elementos de madera prefabricados para la elaboración del pedestal, la tapa para el orificio en la taza, el tubo de ventilación y la puerta.

Los resultados positivos de la implementación de este sistema expusieron las ventajas que puede ofrecer un lugar extremadamente seco, donde no existe la necesidad de separar la orina de los excrementos para llevar a cabo su deshidratación; adicionalmente, las tapas de las cámaras de almacenamiento que fueron diseñadas para acelerar la deshidratación en lugares húmedos, en este caso, resultan benéficas para hacer aún más eficiente el proceso de deshidratación. Por último, cabe mencionar que, si se le da mantenimiento y se realiza un manejo adecuado del sistema, éste no produce malos olores.

2.2.4.2. Sistema de drenaje condominial

En el capítulo 2.1 de este estudio se expone la aplicación del sistema de abastecimiento de agua potable condominial en una región de Brasil; por lo que en este apartado se presenta la implementación del mismo sistema (condominial), pero aplicado en el drenaje.

De acuerdo con los objetivos del Programa de Agua y Saneamiento (alianza internacional de agencias de desarrollo a nivel mundial) que consisten, entre otros, en disminuir la pobreza y tener un acceso sostenible y duradero de los servicios básicos en poblaciones marginadas, se realizó una "Guía de procedimientos" para la implementación del sistema de drenaje condominial (SDC) donde se explican los detalles para implementar el sistema en dos casos: lugares donde ya existe el sistema condominial y lugares donde no existe el sistema.

El origen del SDC se halla en la década de los ochentas, y la idea se atribuye al ingeniero José Carlos de Mello. La idea principal del sistema radica en una alternativa que logre disminuir los costos para llevar el servicio de alcantarillado a un mayor número de familias. Las primeras aplicaciones de esta idea fueron implementadas en Brasil, dando buenos resultados en ciudades como Río Grande del Norte y, posteriormente en Río de Janeiro y Pará.

Los componentes principales de este sistema de drenaje son la red principal y los ramales condominiales. De manera opcional, se consideran también plantas de tratamiento.

De aguas arriba hacia aguas abajo, el sistema comienza en las instalaciones intradomiciliarias; cuando la zona carece de esta infraestructura se considera la construcción de módulos sanitarios. En seguida aparece el denominado ramal condominial, que recibe las aguas servidas del conjunto de viviendas que conforman la unidad de servicio o condominio. El ramal condominial se conecta en un punto a la red principal. Esta red se traza de manera tangente a las manzanas para que pueda hacerse el mayor número de conexiones de ramales condominiales.

En la Figura 2.2.11 se puede observar que la característica medular de este sistema radica en que la red principal deja de rodear las manzanas para realizar un servicio a cada habitación, como sucede en un sistema convencional de drenaje. El trazo de los ramales puede variar dependiendo de la distribución de las casas.

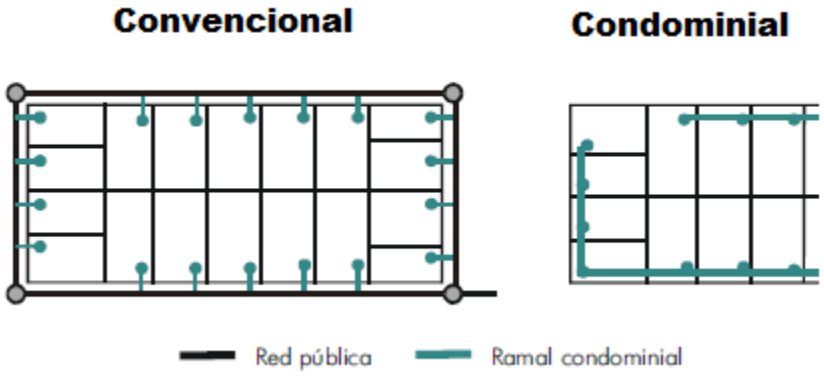


Figura 2.2.11 Esquema comparativo de los sistemas de drenaje convencionales y condominiales.

Son diversas las ventajas que presenta la implementación del SDC. En cuanto a la construcción, se necesita una longitud menor de la red principal; menor profundidad de excavación; menores diámetros de tubería y, como consecuencia de todo esto, un menor costo de inversión. Desde un punto de vista operativo, el sistema proporciona independencia entre ramales y redes; por lo tanto, existe mayor facilidad de inspección y mantenimiento, respecto a un sistema convencional.

2.2.5. Asia

De acuerdo con el Banco Asiático de Desarrollo (2007), la gestión del saneamiento en los países en desarrollo de Asia ha recibido menos atención que el abastecimiento de agua. En 2015, la brecha existente entre el acceso al saneamiento en las zonas urbanas y rurales, era del 30 % (UN-Water, 2019); siendo estas últimas, las menos consideradas en las políticas públicas.

En las zonas urbanas, los barrios de las periferias son los más afectados; en aquellos donde no se cuenta con sanitarios individuales o comunales, continúa practicándose la defecación al aire libre con graves repercusiones a la salud pública.

Además de esto, en las zonas que sí cuentan con la infraestructura, no se le ha dado prioridad a su rehabilitación y desarrollo; parte de esta infraestructura tiene más de 50 años de antigüedad o ya finalizó su vida económica. Incluso en Japón, uno de los países más desarrollados de Asia, las inversiones en este sector empezaron a disminuir a partir del año 2000 (Banco Asiático de Desarrollo, 2007)

En la región sudeste de Asia, la infraestructura de agua y saneamiento se ve frecuentemente afectada por los desastres naturales. Los países que reciben a las personas desplazadas por estos fenómenos, deben enfrentar la fuerte y acelerada demanda de servicios públicos debido al incremento de población; tal es el caso de China, India y Filipinas (UN-Water, 2019).

A continuación, se describe el caso de dos países donde se implementaron técnicas alternativas para el saneamiento; uno de los casos corresponde a una zona rural, mientras que el otro, a una zona urbana.

2.2.5.1. Sanitario seco con desviación de orina (UDD)

De acuerdo con el Banco Asiático de Desarrollo (2014), la comunidad de Hayanist, localizada a 12 km al suroeste de la capital de Armenia, no cuenta con un adecuado sistema de drenaje; en su lugar, existen zanjas que recorren la población, las cuales reciben las descargas de los escasos hogares que cuentan con retretes. La mayoría de los habitantes de la localidad poseen letrinas, las cuales presentan infiltraciones en el suelo.

En la Figura 2.2.12 se aprecia la localización de la comunidad de Hayanist, cerca de Ereván, capital de Armenia.

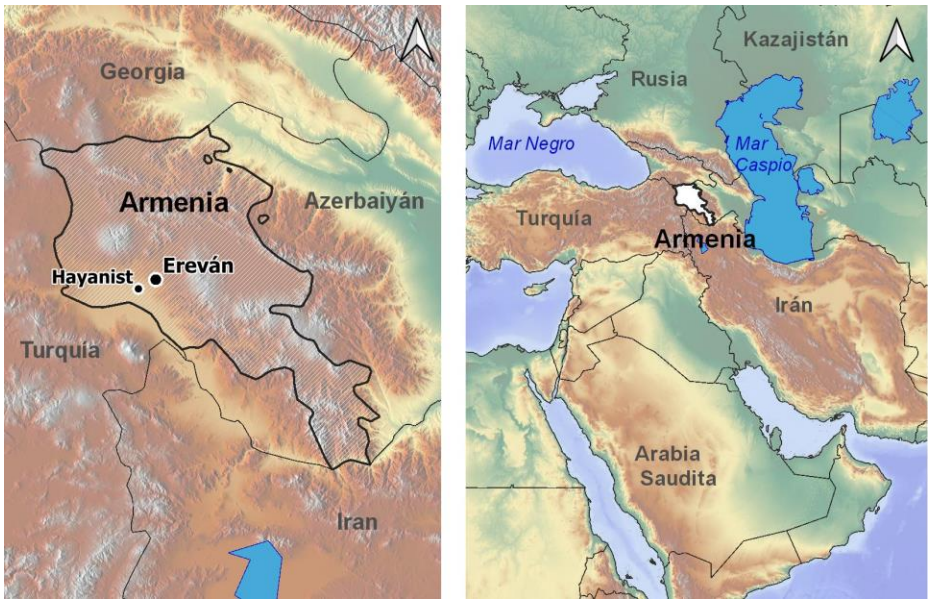


Figura 2.2.12. Localización de la comunidad de Hayanist, Armenia.

Con el fin de proveer de un sistema de saneamiento adecuado a la comunidad, el Ministerio de Asuntos Exteriores de los Países Bajos, en conjunto con el Banco Asiático de Desarrollo, implementó en 2006 un proyecto piloto de saneamiento ecológico, denominado Ecosan, en una escuela. Este sistema el cual emplea la tecnología de sanitario seco con desviación de orina (UDD por sus siglas en inglés). Adicionalmente, se instaló un bloque sanitario con siete cubículos tanto para hombres como para mujeres, tres mingitorios y seis lavamanos.

El sistema UDD funciona sin necesidad de agua; cada retrete cuenta con dos orificios que permiten al usuario desviar la orina hacia uno de ellos (frontal) y las heces hacia el otro orificio (posterior), de manera que se puede separar la orina de los residuos sólidos (Figura 2.2.13). La orina se transporta a un tanque localizado en el basamento de la edificación, donde se almacena durante seis meses y posteriormente es empleada como fertilizante; esto último de acuerdo a lo estipulado en la "Guía para el uso seguro del agua residual, excretas y aguas grises" de la Organización Mundial de la Salud (2006). Por otra parte, los residuos sólidos son almacenados en un depósito independiente; esta tecnología toma en cuenta que la mayoría de los patógenos se encuentran en los sólidos. En el caso de las aguas grises generadas en los lavamanos, estas son vertidas en las zanjas existentes en la localidad sin tratamiento alguno.

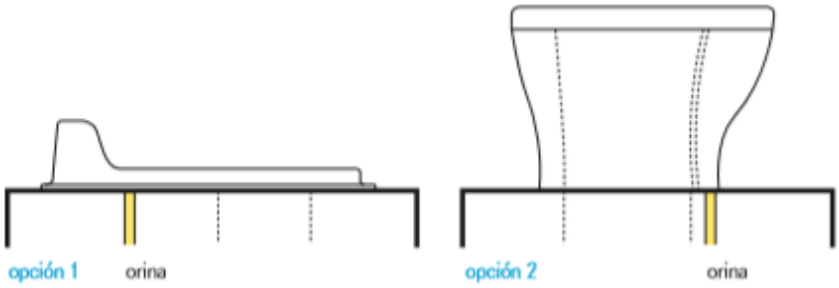


Figura 2.2.13. Sanitario seco con separador de orina (UDD). Fuente: Tilley et al., 2011.

Los resultados de este proyecto fueron positivos, ya que se redujo considerablemente la cantidad de patógenos y nitratos presentes en las aguas superficiales y en las zanjas que recorren la ciudad, a las que la población está expuesta continuamente; además, no se volvieron a presentar casos de helmintos en el agua. Este sistema se replicó en tres escuelas más y en veinticinco hogares de países del este de Europa, el Cáucaso y países de Asia Central.

Tilley et al. (2011) señala que el sistema UDD presenta las siguientes ventajas: no requiere una fuente constante de agua y no presenta problemas de olores o vectores (moscas), siempre y cuando sea usado y mantenido adecuadamente; además, el capital de inversión y mantenimiento son bajos. La desventaja radica en el mantenimiento del sistema, el cual es más complicado al presentarse bloqueos por parte de sólidos en el separador de orina, además de que resulta más complicado mantenerlo limpio.

2.2.5.2. Letrina de sifón con dos pozos

En la India, tanto en las áreas urbanas como rurales, el 36 % de la población aún emplea letrinas o defeca al aire libre. En su sociedad, las personas consideradas de baja casta, ejercen el oficio de recogedor de excretas; lo que representa riesgos importantes para la salud de un sector de la población ya de por sí marginado. En este mismo tenor, los decesos en infantes provocados por la exposición a excrementos humanos ascienden a 1.9 millones al año (Banco Asiático de Desarrollo, 2014).

El *Programa de Buenas Prácticas* de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos (1996) premió a la Organización Internacional de Servicios Sociales Sulabh, por el desarrollo de un sistema alternativo de drenaje en 1970. El sistema, consistente en una letrina de sifón con doble pozo, que mejoró las condiciones ambientales de algunos asentamientos irregulares de la India y liberó de su oficio a gran cantidad de recogedores, quienes adquirieron otros oficios.

Este sistema, a diferencia de las letrinas comunes, integra un pozo de lixiviación y dos pozos más que funcionan alternadamente; cuando uno de ellos se llena, los desechos se derivan al segundo. Así mismo, consta de una rampa con una inclinación de 25° a 28° y una trampa con 20 mm de sello de agua que ocupa únicamente de 1.5 a 2.0 l de agua por descarga. En la Figura 2.2.14 se muestra un esquema con las vistas superior y frontal de la letrina de sifón con doble pozo desarrollada por Sulabh.

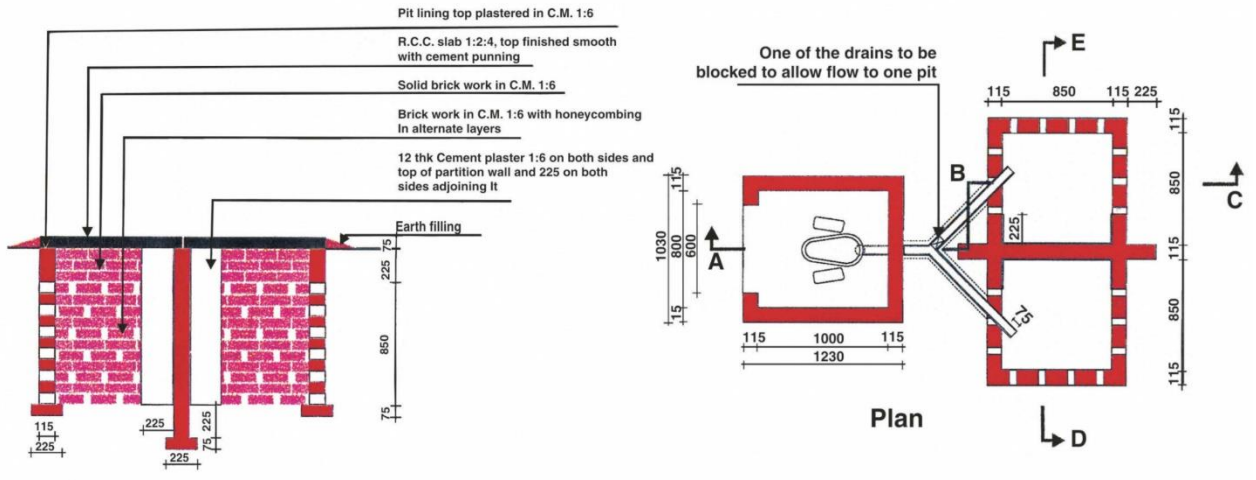


Figura 2.2.14. Esquema de letrina de sifón con dos pozos. Fuente: Sulabh International.

El revestimiento del pozo de lixiviación tiene perforaciones que permiten que los líquidos y gases se dispersen por el suelo (funciona como un pozo de absorción), manteniendo secos los desechos. Después de un periodo de 2 años, los desechos se vuelven secos, inodoros y libres de patógenos, con la cualidad de que pueden ser empleados como abono o mejorador de suelo. Asimismo, en algunas zonas de la India, se produce biogás a partir de estos desechos, lo que ha permitido proveer de electricidad a las comunidades (Sistemas de saneamiento, 1996).

El servicio que ofrece Sulabh a las comunidades, además de letrinas de sifón, consta de varios lavamanos y aseos comunitarios; es importante mencionar que el usuario debe cubrir un costo para poder acceder a él. Con este ingreso se lleva a cabo el mantenimiento del sistema y se cubren los gastos diarios. Sin embargo, algunos sistemas no han sido sostenibles en algunas comunidades marginadas, por lo cual se han subsidiado con los ingresos recabados de las zonas urbanas desarrolladas de la India.

En cuanto a la inversión en su construcción, los gobiernos locales y Sulabh se encargan de aportar el capital. En la India, el sistema se ha implementado en 25 estados y1075 ciudades; entre ellas están Nueva Delhi, Bombay, Calcuta y Madras (Banco Asiático de Desarrollo, 2014).

Este sistema, además de ser de bajo costo, emplea una cantidad menor de agua en cada descarga, respecto a los retretes convencionales. Presenta la ventaja de poder conectarse a futuro a una red de alcantarillado, en caso de que la autoridad así lo decida. Además, los residuos procesados pueden ser utilizados como abono o aprovechados para generar biogás. Por otra parte, como desventaja, existe el riesgo de contaminación del agua subterránea y del suelo, debido a la infiltración de los contaminantes contenidos en el pozo de absorción.

2.2.6. Europa

A diferencia del tema del agua potable, los resultados obtenidos por la OMS (2019) estiman que el 64% de la población cuenta con un servicio de saneamiento gestionado de manera segura; el 21%

con un servicio básico; el 6% con un servicio limitado; el 7% con instalaciones no mejoradas y por último un 2% de la población practica la defecación al aire libre.

Senante (2012) explica que en la Unión Europea (UE) el tratamiento de aguas residuales urbanas es obligatorio conforme a lo que indica la Directiva 91/271/CEE del 21 de mayo de 1991. La norma mencionada obliga a los miembros de la UE a establecer medidas adecuadas para el desalojo de los residuos. A pesar de esta normatividad, sólo 18 gobiernos europeos, de los 27 que conforman la UE, reportaron datos de saneamiento de sus respectivos países al Sistema Europeo de Información sobre el Agua (WISE, por sus siglas en inglés). El análisis hecho por Senante (2012) indica que la normatividad implementada mejoró sustancialmente el saneamiento y depuración de aguas residuales en los Estados de la UE. Así, el 93% de las descargas generadas es colectado por sistemas de alcantarillado adecuados y el 87% es dirigido a tratamientos de tipo secundario.

2.2.6.1. Sanitario seco de deshidratación

Suecia, país escandinavo de Europa del norte, colinda al norte con Noruega y Finlandia, al este con Finlandia y el golfo de Botnia, al sur con el mar Báltico y al oeste con el mar del Norte y Noruega (Figura 2.2.15). Su capital es la ciudad de Estocolmo, que constituye la urbe más poblada en este país. Su extensión territorial abarca 450 295 km^2 y se estima una población de poco más de 10 millones de habitantes (2010).

Cabe mencionar que Suecia es uno de los lugares en el mundo con mayor calidad de vida y la población tiene una cultura desarrollada de protección del medio ambiente y conservación de la naturaleza. Los sistemas de saneamiento ecológico existentes en Suecia pueden ser clasificados según la forma del manejo de los residuos en dos tipos: deshidratación y compostaje.

En los siguientes párrafos se presenta un ejemplo de cada uno de los sistemas implementados en Suecia. Es importante hacer notar que, de forma similar al caso de agua potable, en los sistemas de saneamiento europeos la tecnificación es más sofisticada e implica una mayor inversión para su implementación.

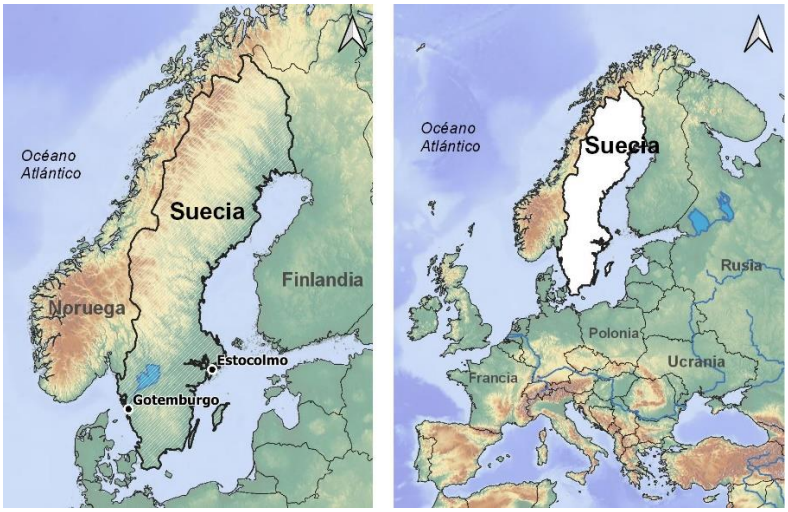


Figura 2.2.15. Ubicación de Suecia.

A principios de la década de 1980, el profesor Mats Wolgast del Instituto Karolinska, en Estocolmo, desarrolló el sistema WM Ekologen para un sanitario ecológico (Figura 2.2.16). Este sistema ha tenido una buena aceptación y se han instalado más de 800 unidades a lo largo Suecia. Este diseño se basa en un proceso de deshidratación; por lo que se realiza una separación de la orina.

El sistema propuesto por Wolgast utiliza solamente un litro de agua para que la orina fluya hacia un tanque subterráneo que es diseñado para captar 50 cm^3 por persona. Las heces y el papel higiénico caen en un depósito plástico con una capacidad de 80 l. Una vez lleno, el primer depósito se aparta a un lado y se coloca en su lugar un segundo depósito que permite al primero deshidratarse durante seis meses. Después de haber transcurrido este tiempo, el contenido puede procesarse en un recipiente ventilado para hacer composta. El sistema utiliza un extractor que saca el aire del sanitario, lo conduce de la taza a la cámara de tratamiento y, posteriormente, lo expulsa por medio de un tubo de ventilación.

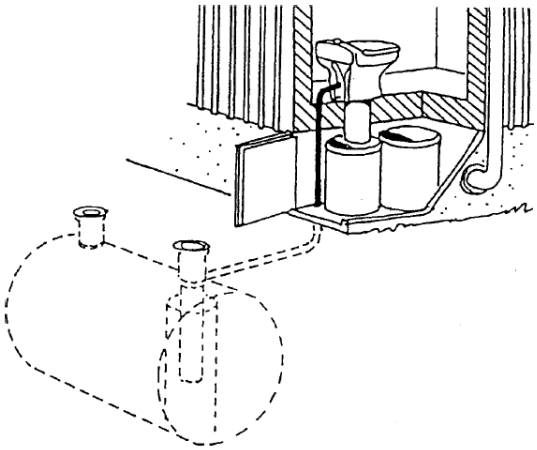


Figura 2.2.16 Sanitario seco WM Ekologen en Suecia.

El WM Ekologen es un sistema sanitario probado, de alta calidad y diseñado para instalarse dentro del cuarto de sanitario de una casa moderna. Se utiliza tanto en zonas urbanas como rurales, en instalaciones públicas y en hogares privados. El costo total de instalación de este sistema en Suecia es 650 a 750 dólares e incluye todos los componentes del sistema.

2.2.6.2. Sanitario seco de compostaje

El segundo sistema de saneamiento ecológico que se presenta funciona bajo un proceso de compostaje que consiste en un proceso biológico que ocurre bajo condiciones controladas donde bacterias, gusanos y otro tipo de organismos descomponen las sustancias orgánicas y producen humus. En un sanitario de composta se deposita la excreta humana y otros materiales orgánicos en una cámara de tratamiento donde los microorganismos del suelo se encargan de descomponer los sólidos.

El sanitario de composta Clivus Multrum de una sola cámara se introdujo en Suecia hace más de 50 años, por lo que ha evolucionado y existe una variedad de ellos que se usan en diferentes partes del mundo, como en Estados Unidos y Australia. El sistema clásico de este sanitario se presenta

en la Figura 2.2.17, como se puede observar, el sistema consiste en una cámara receptora de todos los deshechos que produce la vivienda (excreta, orina y residuos orgánicos de cocina). La cámara receptora posee tubos de ventilación que propician una circulación de aire y una base inclinada de tal forma que el material depositado avance lentamente hacia el fondo donde se encuentra un área de almacenado. Como ya se mencionó anteriormente, el sistema de este sanitario recibe todo tipo de desperdicio, desde excreta humana y orina hasta papel higiénico, servilletas, verdura, trozos de carne, huesos entre otras cosas, donde el proceso de descomposición disminuye el volumen de la pila de todos estos residuos hasta en un 90%.

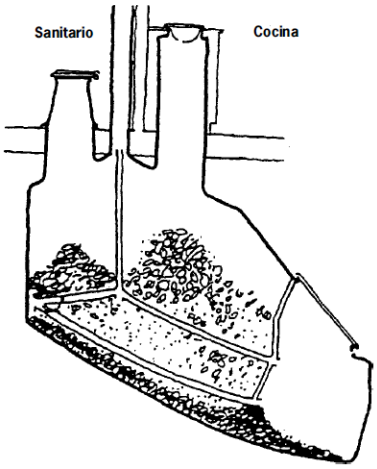


Figura 2.2.17 Sanitario de composta Clivus Multrum.

Desde el punto de vista operativo, cuando se utiliza por primera vez este sistema, se necesita colocar una cama de humus (sustancia que se crea a partir de la descomposición de materia orgánica) de 20 centímetros antes empezar a usarlo, para fomentar el inicio de los procesos biológicos del compostaje. Poco a poco el material depositado se convierte en humus que puede ser usado para el enriquecimiento del suelo. En Suecia se considera segura la utilización del humus producido de esta forma para la fertilización y acondicionamiento del suelo.

Alrededor del mundo existen cerca de 10 mil sanitarios Clivus Multrum que son utilizados en hogares particulares y en instituciones, sus ventajas radican en que todo el material producido se encuentra en una cámara de modo que sólo se requiere extraer el humus una vez al año; sin embargo, el proceso de compostaje requiere de un buen conocimiento de los procesos biológicos que ocurren en la cámara receptora.

2.2.7. Oceanía

La problemática de contaminación del agua es un tema de preocupación desde hace varios años en Oceanía. De acuerdo al reporte de la OMS (2019), en la región de Oceanía el 72% de la población tiene acceso a un servicio de saneamiento de manera segura y el resto tiene un servicio básico. Si hacemos un contraste con los datos que se reportaban hace unas décadas podemos encontrar que ha mejorado considerablemente el tema de saneamiento; según el reporte de Greenpeace

(1994) en la década de los ochentas existían muy pocos datos disponibles que documentaran las descargas sanitarias en las aguas del Pacífico.

Como resultado de un crecimiento demográfico y de un inadecuando manejo de los residuos, se determinó que la mayor contribución a la contaminación hídrica en la región de las islas del Pacífico tenía su origen en las descargas sin tratamiento de aguas residuales a los diferentes cuerpos de agua.

Existen diversas opciones de tratamiento de residuos que son alternativas e innovadoras; todas ellas se basan en el consumo mínimo de agua e, incluso, evitan el contacto de la excreta humana con el agua. Greenpeace (1994) menciona que uno de los problemas sociales a los que se enfrenta el fenómeno de la contaminación hídrica es que los ingenieros civiles carecen de conocimiento de los sistemas alternativos y son fieles seguidores de las prácticas convencionales que utilizan grandes cantidades de agua para el desalojo de los residuos; no obstante, la poca infraestructura para tratamiento de estas aguas es insuficiente para el volumen producido, y termina siendo vertido a los cuerpos de agua en forma directa.

A continuación, se muestra una opción práctica de saneamiento que fue utilizada en la región de las islas del Pacífico.

2.2.7.1. Sistema sanitario de composta del Centre for Clean Development.

Como parte del continente oceánico, y por arriba del Ecuador, se encuentra la Micronesia (Figura 2.2.18), que administrativamente se constituye por cuatro estados esparcidos a lo largo del océano Pacífico. Los estados se conforman por 607 islas que cubren una superficie de 702 km².

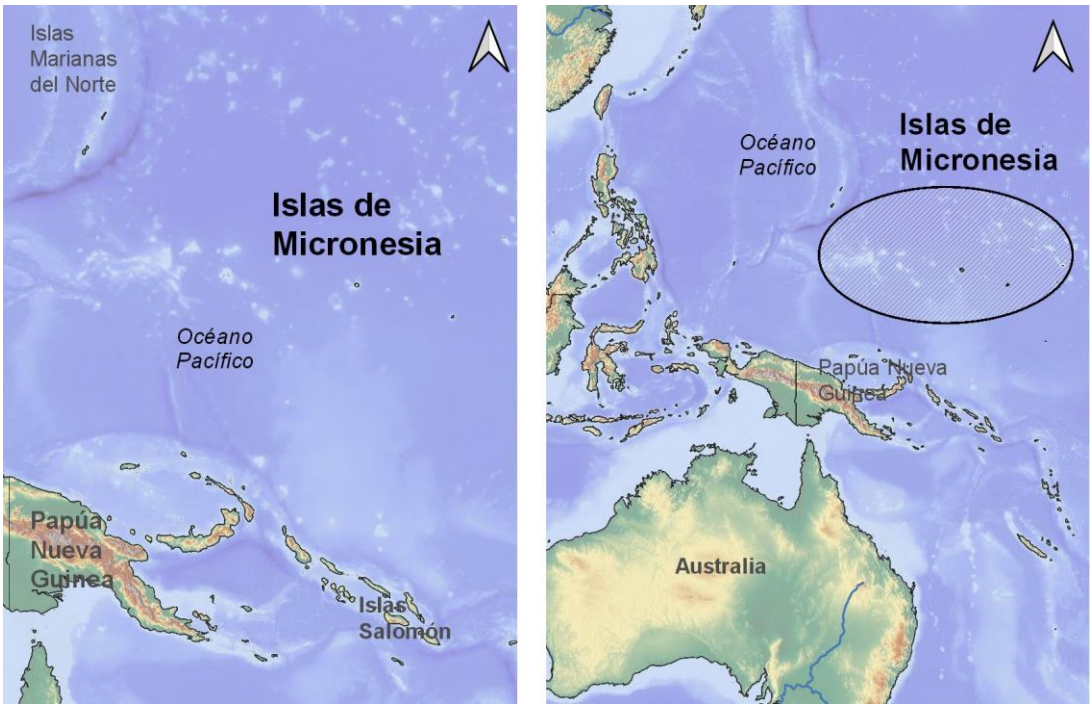


Figura 2.2.18. Ubicación de Micronesia.

El sistema sanitario CCD que se muestra en la Figura 2.2.19 fue diseñado por David del Porto para *Greenpeace* y el *Centre for Clean Development*, con el objetivo de implementarlo en las islas del Pacífico.

El concepto del diseño, se basa en la cero descarga y en un sencillo proceso de compostaje que sirve para acondicionar el suelo de la región. El sanitario CCD tiene dos cámaras herméticas construidas a nivel de piso y ambas se usan alternadamente para el depósito de la excreta. Este sistema no toma en cuenta la separación de la orina y heces, por lo que todos los residuos son vertidos directamente dentro de la cámara, dónde el material es recibido por un petate de palma sostenido por una red de pesca de nylon que se encuentra suspendida en el interior. El "piso falso" permite la filtración de líquidos y la aireación del material; en conjunto con la materia orgánica adicional que se agrega, tal como viruta de coco, fomenta la deshidratación. Un tubo grueso permite la entrada de aire hacia la cámara de almacenamiento. Una vez que el material alcanza una altitud casi por debajo de la taza, se cambia de posición el pedestal hacia la siguiente cámara dejando cerrada la primera para que el proceso de descomposición siga trabajando. Cuando la segunda cámara ha sido llenada, se extrae el contenido de la primera para ser reincorporada al suelo.

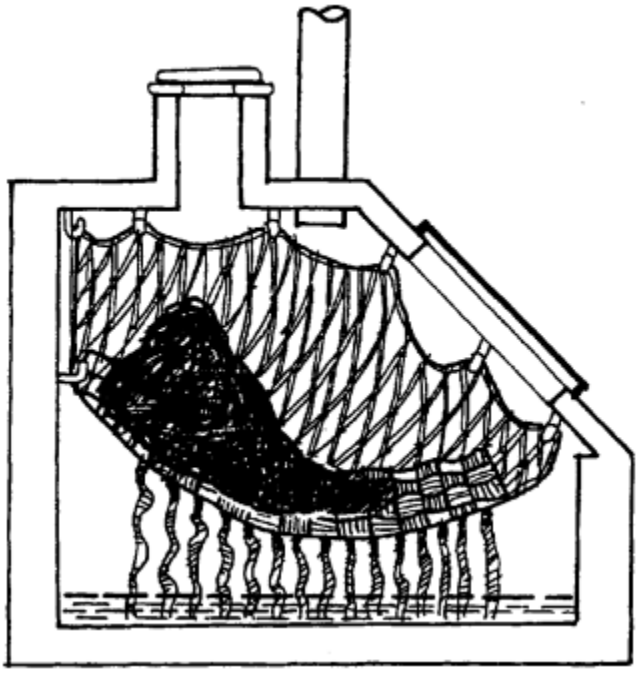


Figura 2.2.19 Sanitario del Centre for Clean Development.

En cuanto a la operación del sanitario CCD la única maniobra de mantenimiento realizada, según la experiencia reportada por una familia de 10 personas, fue el haber lavado con agua y jabón la taza del baño. De igual manera, se comprobó que la capacidad del sanitario era mayor de la esperada, pues esta familia de diez integrantes llenó el primer depósito después de un año.

3. ESTADO DEL ARTE NACIONAL

La legislación de los recursos hídrico en México está fundamentada en el artículo 27 constitucional y en la Ley de Aguas Nacionales y la Comisión Nacional del Agua (Conagua) es la institución encargada en gestionar las aguas en México. La gestión se realiza a través de 13 organismos de cuenca, es decir: regiones hidrológicas administrativas (RHA), las cuales agrupan diversas cuencas y son consideradas unidades básicas para la gestión de los recursos hídricos.

Existe un gran contraste nacional entre las RHA de las regiones norte y centro del país y las regiones del Sur. Las primeras se caracterizan por menor disponibilidad, mayor población y aportación al PIB (producto interno bruto), en comparación con las segundas. La Ciudad de México se encuentra en la RHA XIII (Aguas del Valle de México), perteneciente a la región centro y conformada por 121 municipios o alcaldías. De acuerdo al informe Estadística del Agua en México 2018 de la Conagua, la RHA XIII es la de menor superficie y menor disponibilidad de agua renovable (agua que es factible explotar de manera sustentable en la región), aunque sólo la Ciudad de México cuenta con más de 22 millones de habitantes.

Según el informe antes mencionado, el país recibe cada año aproximadamente 1 445 471 millones de metros cúbicos de agua precipitada (la precipitación media anual del país es de 740 mm) donde: el 72.1 % se evapora, el 21.4% escurre en ríos y arroyos, y el 6.4% se infiltra de manera natural. Considerando los flujos de salida (exportaciones) y entrada (importaciones) de los países vecinos, anualmente el país cuenta con 451 585 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable.

En materia de infraestructura hidráulica, la cobertura nacional de acceso al agua entubada es del 95. 3 % (97.8% en zonas urbanas, 87.0% en zonas rurales); la disponibilidad de agua en vivienda o predio representa el 94.4% (97.2% en zonas urbanas, 85.0% en zonas rurales). Respecto a los servicios de alcantarillado y saneamiento básico, la cobertura nacional es del 92. 8% (97. 4 en zonas urbanas, 77.5% en zonas rurales), de la cual el 91% corresponde a drenaje conectado a la red pública o fosa séptica (96.6% en zonas urbanas, 74.2% en zonas rurales).

A lo largo de la historia nacional, el país ha sufrido diversos cambios en la gestión de los recursos hídricos. En el siglo XX, la gestión se enfocaba en la demanda y descentralización; en la actualidad los objetivos se orientan hacia la sustentabilidad hídrica. El Plan Nacional Hídrico (PNH) es el documento en el que se presentan las políticas sustentables, que en términos generales consisten en fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua; incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones; fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento; incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector; asegurar el agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades económicas y financieras de manera sostenible; así como consolidar la participación de México en el contexto internacional en materia de agua.

El PNH fue desarrollado mediante la colaboración de diversas instituciones, dependencias, expertos en el tema y la participación de los ciudadanos en consultas públicas (foros regionales, participación de usuarios, académicos, organizaciones sociales, comunicadores y legisladores). De este modo, la problemática relacionada con los recursos hídricos es enfrentada mediante el PNH y el Plan Nacional de Desarrollo (PND); es decir, el PNH concilia lo problemas en materia

hídrica y forma parte de la programación hídrica consignada en la Ley de Aguas Nacionales (Conagua, 2018).

Respecto al medio ambiente en general, es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) la institución encargada de la gestión de los recursos naturales renovables. Dentro de sus políticas públicas considera los siguientes objetivos: contener las tendencias del deterioro al medio ambiente, fomentar la producción limpia y sustentable, así como contribuir al desarrollo social (Micheli, 2001)

Derivado de lo anterior, con una concepción de política-ambiental acorde a las tendencias de globalización; en 1996, se creó la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; mientras que, en 1998, se llevó a cabo una reforma constitucional donde se reconoce que: "toda persona tiene derecho a un medio adecuado para su desarrollo y bienestar, el Estado garantizará el respeto a este derecho" (Artículo 4 constitucional, párrafo 5 adicionado) .El Estado también deberá proporcionar a la población el acceso a los servicios de suministro y saneamiento de agua (artículo 4 constitucional, párrafo 6 adicionado).

Actualmente las zonas metropolitanas del país, enfrentan retos asociados al agua y contaminación del medio ambiente (aire, agua y suelo) derivados del aumento en la demanda de recursos y la densidad poblacional; las urbes cuya problemática es mayor son las zonas metropolitanas del Valle de México, de Guadalajara y de Monterrey.

Existe una estrecha relación entre la formar de gestionar los recursos hídricos y la salud de la población, que requiere del acceso a los servicios de agua y saneamiento adecuados. La Unesco indica en su último reporte (Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2019) los factores que obstaculizan no sólo el abastecimiento de agua potable y el desalojo de agua residual, sino también el tratamiento de las mismas; entre los que destacan: la mala calidad de las fuentes primarias (escurrimientos y aguas subterráneas) en poblaciones donde no existen fuentes alternas; la limitación del recurso en zona periurbanas y las afectaciones por desastres naturales (inundaciones y sequías, principalmente).

Los problemas de acceso y saneamiento adecuado se vinculan en mayor medida con poblaciones con rezago social y de escasos recursos, por lo que las autoridades han tomado distintas medidas e integrado tecnologías alternativas. Actualmente, dichas tecnologías son llamadas ecotecnias (instrumentos desarrollados para aprovechar sosteniblemente los recursos naturales y materiales, los cuales permiten la elaboración de productos y servicios), y son empleadas principalmente en zonas rurales y periurbanas, con el fin de abatir gradualmente las carencias de servicios de forma sostenible.

La mayoría de técnicas son expuestas en documentos o manuales con la finalidad de promover su uso, incluso, en algunos casos, mediante un incentivo económico. Estos documentos suelen ser elaborados por universidades, institutos de investigación, dependencias gubernamentales, organizaciones no gubernamentales e iniciativa privada. Un ejemplo es el de la Conagua, que elaboró un manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, comúnmente conocido como MAPAS, en el que se exponen algunas soluciones alternas a los sistemas tradicionales.

En ocasiones se promueve la investigación y se desarrollan técnicas o tecnologías, sin que el proyecto logre ejecutarse; lo que se asume que es producto de la falta de participación entre distintos actores y la integración de los aspectos políticos, sociales, económicos y ambientales. E

En este capítulo se presenta la recopilación de información relacionada con tecnologías alternativas desarrolladas o implementadas únicamente en México (razón por la cual no se incluyó a México en los subcapítulos que tratan sobre Norteamérica).

3.1. TÉCNICAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

3.1.1. Aplicadas por instituciones gubernamentales

Existen diferentes actores que trabajan en temas relacionados con el agua y saneamiento en México, tanto nacionales como internacionales. como el Panel Intergubernamental del Agua, que promueve una gestión integral, inclusiva y colaborativa del recurso hídrico; el Programa Hidrológico Internacional de la Unesco, dedicado a la investigación sobre el agua, y el Programa Nacional Hídrico, que busca la seguridad y sustentabilidad hídrica en México.

Algunas técnicas o tecnologías alternativas que se han implementado en zonas marginadas han sido promovidas por parte de instituciones gubernamentales, quienes han elaborado diversos documentos de difusión.

En este aspecto, la función gubernamental radica en la divulgación de las tecnologías y la asignación de los recursos económicos a entidades que, en conjunto con la participación de iniciativa privada, llevan a cabo la ejecución. El Sistema de Captación de Lluvia que promueve la Secretaría de Medio Ambiente en la Ciudad de México, es un caso particular debido a la magnitud del proyecto.

3.1.1.1. Sistema de captación de agua de lluvia, SEDEMA

En los últimos 10 años, las administraciones de las diferentes alcaldías de la Ciudad de México (CDMX) han invertido recursos económicos encaminados a la elaboración de proyectos para captación de agua de lluvia; uno de estos proyectos fue el Programa Cosecha de Lluvia, impulsado por la Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX, en 2019.

De acuerdo al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex), en 2017 se contemplaba que al menos 921 mil 716 personas carecían de acceso al agua en su vivienda. Según las reglas de operación emitidas por el Diario Oficial de la Federación en 2020, el objetivo del Programa de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en viviendas de la Ciudad de México es implementar este tipo de sistemas para mejorar las condiciones de acceso al agua de la población que habita zonas marginadas que sufren de escasez de agua.

El sistema que se implementa en este programa consta de ocho elementos y se muestra en la Figura 2.1.11. En orden de aparición, y siguiendo el sentido del flujo del agua en el sistema, el primer componente es el separador de primeras lluvias (1), este componente recibe las primeras

aguas de la tormenta que limpian el techo de diferentes sustancias; cuando se llena este depósito, el agua es desviada a través de un filtro de hojas (2); luego, se envía a un tanque donde pasa a través de un reductor de turbulencias (3) que permite el ingreso del agua al tanque de forma calmada, y ayuda a que se haga una sedimentación de sólidos en el tanque; dentro de éste, se encuentra un dosificador de cloro (4) que permite una desinfección del líquido. Afuera del tanque, se encuentra una bomba que envía agua a la cisterna de la casa; la admisión de agua a esta bomba se hace mediante una pichancha flotante (5) que evita el ingreso de sólidos mediante un filtro de sedimentos (6). Inmediatamente después del filtro de sedimentos, el agua fluye a través de un filtro de carbón activado (7) que purifica el agua y finalmente la entrega a la cisterna (8) de la vivienda.

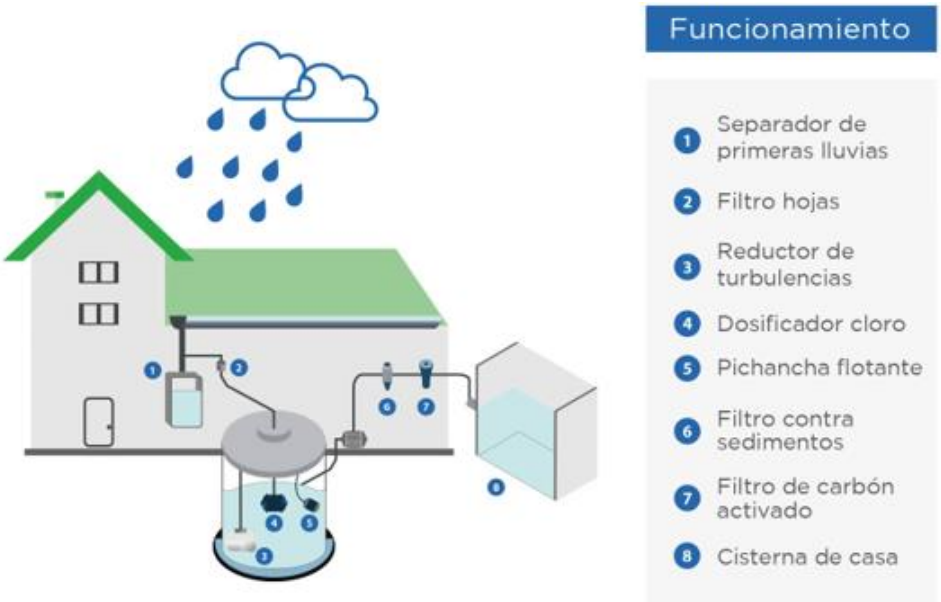


Figura 3.1.1 Sistema de captación de agua de lluvia en la CDMX.

Conforme a la evaluación de la población por parte del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) y el Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal (EVALUA) se determinó que el sistema propuesto por el programa llegaría a 10 mil hogares en colonias de las alcaldías: Tlalpan, Tláhuac, Milpa Alta, Iztapalapa y Xochimilco.

El uso final del agua obtenida con esta técnica depende de cada familia; un buen mantenimiento y uso adecuado de los componentes se ve reflejado en la calidad del agua que se obtiene. A pesar de lo anterior, se recomienda que el agua de lluvia no se emplee para consumo humano y sólo se utilice para las diversas actividades domésticas como lavado de ropa, descargas sanitarias, lavado de trastes, aseo personal, limpieza general de la vivienda, etc.

La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia puede ser benéfica desde diferentes puntos de vista. Técnicamente, representa una reducción del flujo de agua que ingresa a los drenajes y se puede traducir en menos encharcamientos e inundaciones. Desde el punto de vista económico, representa menos inversión de energía para abastecer el agua en lugares lejanos de la fuente de abastecimiento. Desde el punto de vista social, facilita el acceso al servicio hídrico en

viviendas durante los 5 a 8 meses que dura la temporada de lluvias. Por otro lado, es una técnica amigable con el medio ambiente ya que contribuye a la no extracción de agua de acuíferos y permite la recuperación de esta fuente de abastecimiento.

3.1.1.2. Sistema de captación de agua pluvial en techos, SEMARNAT

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) en colaboración con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realizaron una colección de libros donde se exponen diferentes tecnologías para el aprovechamiento de los recursos hídricos. Uno de estos libros tiene por nombre: "Sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia". Este documento constituye una herramienta para la elaboración de dos tecnologías que pueden ser usadas simultáneamente o por separado: un sistema de captación de agua y un biofiltro de arena. En conjunto, estas tecnologías forman una técnica alternativa para el abastecimiento de agua en zonas rurales y zonas marginadas de México.

El funcionamiento del sistema de captación planteado por Semarnat consiste en lo siguiente: el techo de la vivienda hace el primer contacto con la lluvia y es la superficie que permite interceptarla; después, el agua es dirigida hacia las canaletas y tuberías que la conducen hacia un filtro de gravas y, posteriormente, al sitio final de almacenamiento. Después de llegar al almacenamiento, se propone, de manera adicional, la construcción de un biofiltro de arena que permite dar al líquido la calidad suficiente para el consumo humano.

Para la construcción del sistema que se muestra en la Figura 3.1.2 se recomienda usar canaletas de lámina galvanizada de grado sanitizante en forma de "U" calibre 26 o media caña de tubo de PVC sanitario de 4 o 6 pulgadas. La sección de estas canaletas permite captar adecuadamente la lluvia de una superficie de 50 m^2 aproximadamente. Las canaletas son instaladas por medio de abrazaderas en la parte más baja del techo con una pendiente que no permita el estancamiento; esto último se logra haciendo un desnivel de 1 cm por cada metro de longitud. En la parte más baja de la canaleta se instala la tubería de bajada.

El inicio de la bajante se construye con un embudo que puede ser un garrafón cortado o con una reducción de PVC; lo importante en esta parte del sistema es colocar una malla o coladera en el inicio de la tubería que no permita la entrada de agentes externos como varas, hojas o animales que obstruyan la circulación del agua que se entrega al filtro de gravas. El filtro de gravas no es otra cosa más que un tanque circular con capacidad de 100 o 200 l que se llena con dos capas de grava de diferentes diámetros y espesores: la capa inferior consta de 20 cm de grava de 19 a 25 mm y la capa superior con 40 o 50 cm de espesor, con grava de 9 a 12 mm. Este filtro recibe el agua proveniente de la tubería bajante en la parte inferior del bote; después de pasar el agua a través de la grava el líquido es vertido desde la parte superior del filtro hacia el almacenamiento final por medio de tubería de PVC.

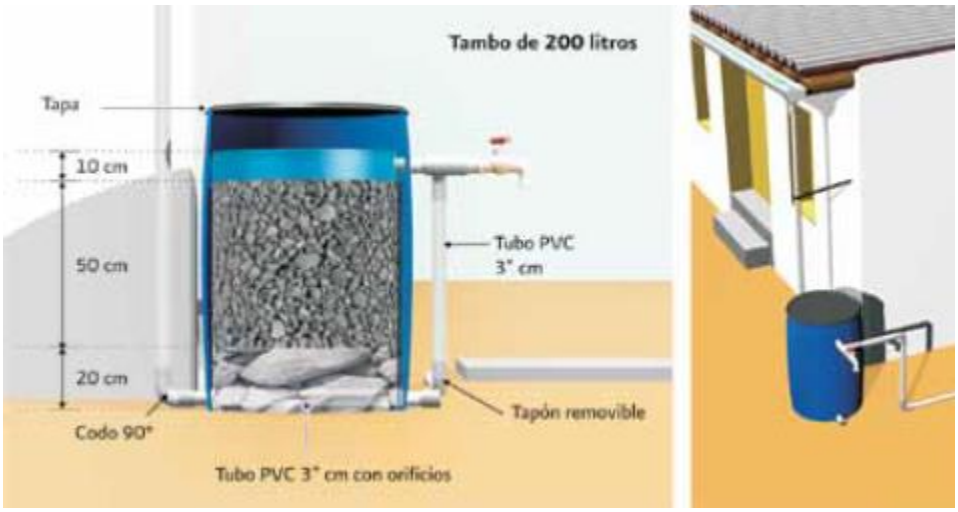


Figura 3.1.2 Sistema de captación de agua pluvial en techos.

Para complementar el sistema de captación, se propone la instalación de un biofiltro. Este sistema se compone de un tanque con capas de arena que sirven para hacer una filtración lenta del agua. El flujo del agua a través del medio poroso permite la eliminación de partículas en suspensión y microorganismos que pueden causar enfermedades gastrointestinales. La capa biológica que aparece sobre el lecho de la arena después de 2 o 3 semanas después de haber llenado el filtro es el principal responsable de la calidad físico-química del agua.

El sistema propuesto por Semarnat presenta diferentes ventajas, entre las que se puede destacar:

- El agua captada en el sistema es de buena calidad.
- La instalación se plantea como un conjunto de elementos autónomos y es susceptible de ser instalada en zonas aisladas
- Es de fácil construcción y poco mantenimiento.

Por otra parte, las desventajas consisten en que la disponibilidad del agua está sujeta al régimen de precipitación de la zona y que algunos de los componentes o materiales necesarios para su fabricación pueden no estar al alcance del usuario en algunas ocasiones, en razón del nivel de ingresos de la familia.

3.1.1.3. Sistema de captación de agua de lluvia, Conagua

Debido a la falta de cobertura del servicio de agua potable en algunas zonas rurales del país, la Conagua pone a disposición de los municipios el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (Procaptar) cuyo objetivo principal es impulsar el desarrollo social, el acceso al agua y el saneamiento de zonas rurales de mayor marginación, mediante sistemas de captación de agua de lluvia y tecnologías de tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda.

La población objetivo del programa es aquella que habita zonas rurales bajo condiciones de alta y muy alta marginación, así como la que vive en localidades que presentan lluvias anuales

acumuladas iguales o mayores a 1500 mm y que además se encuentran dentro de la Cruzada Nacional Contra el Hambre. Los sistemas de captación de agua pluvial consideran el abasto por vivienda correspondiente a una dotación de al menos 50 l/persona/día, durante los 365 días del año.

En complemento a este programa, la Conagua ha elaborado documentos que contienen las características técnicas mínimas necesarias para los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL). Los lineamientos técnicos descritos en el documento Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda (Conagua, 2016) contienen información relacionada con el cálculo del consumo de agua por vivienda, volumen factible por almacenar, especificaciones básicas de los materiales que constituyen los elementos básicos de un SCALL, referencias a normas de calidad del agua, requerimientos de instalación, formas de desinfección del agua y recomendaciones de operación y mantenimiento.

Los componentes básicos de los sistemas planteados por Conagua están integrados por: el área de captación, canaletas y conducción, dispositivo de lavado o filtro, el depósito o tanque de almacenamiento y toma domiciliaria.

Otro documento de referencia importante que prepara la institución con fines de información y guía para la elaboración de proyectos concernientes al manejo de los recursos hídricos es el MAPAS (Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento), que constituye una colección de libros con diferentes temáticas relacionadas con el agua.

En su volumen número 7, dedicado a obras de captación superficiales, se habla acerca de la captación del agua atmosférica que constituye una fuente importante de abastecimiento en zonas donde la precipitación es baja o donde el sistema de abastecimiento convencional no es suficiente para cubrir las necesidades de la población. De esta manera, indica que la mejor forma de aprovechar este recurso es instalando estructuras de captación denominadas techo-cuencas, donde la precipitación es dirigida a una cisterna (también llamada aljibe) para su posterior uso en labores domésticas o agropecuarias.

3.1.2. Desarrolladas por instituciones académicas y de investigación

En este apartado se presentan los casos de una institución académica y dos asociaciones civiles que desarrollaron proyectos a partir de una misma técnica alternativa para abastecimiento de agua potable. En los tres casos, la población objetivo tuvo en común habitar en un entorno rural y no contar con acceso a la red pública de agua, o bien, contar con una infraestructura deficiente.

3.1.2.1. Sistemas de captación de agua de lluvia

En México, una de las instituciones académicas que ha trabajado en relación a los sistemas alternativos para el abastecimiento de agua potable, es el Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo.

En 2004, el Centro Internacional para la Demostración y Capacitación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia de esta institución (CIDECALL) implementó en la comunidad rural de Españita, Tlaxcala,

el proyecto piloto: "Transferencia y adopción de tres ecotecnias para el aprovechamiento de los traspatios". Las ecotecnias constituían un sistema de captación de agua de lluvia para el uso doméstico, la producción de hortalizas y, finalmente, un sistema para composteo de lombrices. (Ramírez, 2008).

En la comunidad donde se llevó a cabo este proyecto, el agua potable se provee a través de tandeo y de camiones cisterna. Debido a esta situación, así como a las continuas fallas del sistema de bombeo de la red, y a las condiciones topográficas de algunas viviendas, la población no lograba cubrir sus necesidades de consumo de agua.

En lo que respecta al sistema de captación de agua de lluvia implementado, los elementos que lo conforman son: superficie de captación de concreto (techos de las viviendas); tubería de PVC de 4'', una malla para el filtrado, un registro donde se depositan los sedimentos del primer escurrimiento, una cisterna de ferrocemento para el almacenamiento del agua y, finalmente, una bomba de mecate para su extracción.

La ventaja de este sistema es que, debido a los materiales de sus componentes, el costo de su instalación es bajo; además, el mantenimiento es muy sencillo, reduciéndose a lavar la superficie de captación antes de cada temporada de lluvias; así como el sedimentador y la cisterna, de forma continua.

Ramírez (2008) señala que el impacto en la comunidad de Españita fue positivo, ya que el 83.3% de las familias lograron manejar adecuadamente el sistema. Gracias a estos resultados, en 2005 la Secretaría de Fomento Agropecuario de Tlaxcala (SEFOA) apoyó a doscientas familias de escasos recursos en la implementación de dos ecotecnias; las correspondientes al sistema de captación de agua de lluvia y a la producción de hortalizas. Sin embargo, en esta fase de expansión, las autoridades limitaron su participación al financiamiento, sin involucrar al CIDECALL en la capacitación y seguimiento de los usuarios. En consecuencia, sólo el 9.09 % de los usuarios llevaron a cabo con éxito el manejo de ambas ecotecnias.

Además de este caso, otros estudiantes del Colegio de Postgraduados han diseñado sistemas para uso doméstico en diferentes zonas del país, tal como lo indica la tesis: "Captación de agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico, en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca" de Pérez (2016); así como el artículo: "Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico" de Anaya et al. (2017). Cabe mencionar que, en ambos casos, el proyecto no se llevó a la ejecución. Sin embargo, de acuerdo con García (2013), la institución ha implementado más sistemas de este tipo en comunidades Mazahuas y Purépechas del estado de Michoacán.

El proyecto Isla Urbana fue desarrollado y comercializado por la empresa y también asociación civil Isla Urbana A.C. La idea surgió de un proyecto de tesis concebida en la Universidad de Rhode Island en Estados Unidos, en la cual se propuso un sistema que abasteciera de agua potable a comunidades marginadas de México. El sitio de estudio fue una comunidad del Ajusco en la alcaldía Tlalpan, Ciudad de México, la cual sufre de escasez aguda de agua. El sistema de captación de agua de lluvia propuesto se implementó, observándose un impacto positivo en la

comunidad, por lo que la alcaldía apoyó en la instalación de ochocientos sistemas más en la demarcación.

Salinas (2015) describe que el sistema está compuesto por una superficie de captación constituida por un techo, canaletas y bajantes que transportan el agua hasta un filtro de hojas; un separador de lluvias conocido como "Tlaloque" que almacena el escurrimiento de la primera lluvia; un depósito o cisterna donde se almacena el agua, una bomba centrífuga y, finalmente, dos filtros de cartucho; uno de papel plisado que retiene partículas menores a 5 micras y otro de carbón activado que retiene cloro y sedimentos orgánicos, por los cuales pasa el agua proveniente de la cisterna antes de llegar al usuario final. En la Figura 3.1.3 se ilustran algunos componentes del sistema: el "Tlaloque", los filtros y la cisterna.

Figura 3.1.3. "Tlaloque", filtros y cisterna del sistema de Isla Urbana A.C. Fuente: Unidad de ecotecnologías, UNAM.

Los productos que se ofrecen por Isla Urbana A.C. son tres, y están en función de la calidad del agua del efluente del sistema adquirido: el kit Bronce es el más económico y produce agua para uso en riego; el kit Plata produce un efluente de agua para contacto humano, pero no potable; y el kit Oro, cuyo efluente es 100 % potable. Cuando las instalaciones las realiza la asociación civil, se maneja el kit Plata, mientras que, cuando es la empresa quien participa, el cliente es quien decide el tipo de sistema. Cabe mencionar que Isla Urbana A.C. no recomienda beber el efluente del sistema si no se cuenta con filtros adicionales, ya que la calidad del agua de lluvia se ve afectada en las zonas urbanas, además de que la calidad del efluente depende del mantenimiento del sistema que las familias lleven a cabo.

De acuerdo con el Foro Consultivo, Científico y Tecnológico (2018), el costo de un sistema de Isla Urbana A.C. es de $6000 M.N., sin embargo, la asociación civil permite a las familias con escasos recursos cubrir únicamente el 10 % o 20 % del costo total; en algunos casos este monto se ha llegado a cubrir en especie a través de alimentos o mano de obra.

En conclusión, además de las ventajas que representa el uso del sistema de Isla Urbana A.C. para los usuarios, tales como la sostenibilidad hídrica de una familia durante cinco u ocho meses y la facilidad en la construcción, los impactos positivos que se pueden esperar con su implementación

en la Ciudad de México son los siguientes: disminución de las inundaciones al verse reducido el volumen de escurrimiento que recibe el drenaje; ahorro en energía en el abastecimiento de agua, así como la paulatina recuperación de los acuíferos al reducirse la tasa de extracción de agua. En cuanto a las desventajas, el costo del sistema puede representar un obstáculo en la adopción por parte de algunas familias, además de que la búsqueda de oportunidades de colaboración con los distintos gobiernos puede resultar en demoras, o bien, en que simplemente no se acepte la idea.

El Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo A.C., es una asociación civil cuya visión es la restauración de la cuenca Amanalco-Valle de Bravo y el desarrollo sostenible de sus comunidades.

De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2012), en la cuenca Amanalco-Valle de Bravo se localizan ocho municipios del Estado de México, entre ellos, Valle de Bravo, centro turístico y de servicios que concentra la mayor población tanto rural como urbana.

En la parte media y alta de la cuenca, se asientan comunidades rurales cuya cobertura de servicios de agua potable y drenaje es deficiente; tal es el caso de Mesas de San Martín, en el municipio de Villa de Allende, cuya cobertura de agua entubada apenas llega al 50 %. Las fuentes de las que se abastecen las familias que carecen de agua entubada son: manantiales, camiones pipa, llave pública (tandeo) y llave vecinal. (Salinas, 2015).

Con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de estas comunidades rurales y de preservar los recursos hídricos de la cuenca, la asociación, en colaboración con el Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo, implementó sistemas de captación de agua de lluvia, además de otras ecotecnias; cabe mencionar que, hasta el año 2015, se habían implementado 2500 sistemas en la cuenca. En la construcción e instalación de los sistemas participan los miembros de la comunidad; la asociación les enseña los procesos para que la comunidad aprenda y, posteriormente, los replique en sus hogares.

El sistema de captación de Pro Cuenca funciona de la siguiente manera: el agua se capta en el techo de la vivienda y se conduce a través de canaletas de lámina galvanizada y bajantes compuestas de tubos de PVC hacia un filtro de arena compuesto por tres capas: la primera, hecha de piedra de río; la siguiente, de grava, y la última, de granzón, un material más fino. Posteriormente, el agua es conducida a una cisterna enterrada con capacidad de 10 000 litros donde se almacena; finalmente, el agua es bombeada a una pileta, de la cual una familia puede servirse.

Salinas (2015) señala que el sistema requiere de mantenimiento por parte del usuario, el cual consta de las siguientes tareas:

i. Mantener limpias y libres de materia orgánica las canaletas y las bajantes.
ii. Lavar las piedras que componen el filtro y la cisterna antes del comienzo de cada temporada de lluvias.
iii. Lavar la pileta constantemente.
iv. Al ser mecánica la bomba, asegurarse de reemplazar sus elementos al observarse desgaste en los mismos.

El sistema desarrollado por el Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo presenta las siguientes ventajas: facilidad en su construcción, bajo costo de operación al no requerir de energía y ahorro en mantenimiento porque, al ser muy sencillo, no requiere que terceros, o la misma asociación, lo lleven a cabo. Debido a que el éxito de este sistema depende en gran medida de la participación del usuario, los hábitos de los usuarios y su disposición a colaborar, son factores a considerar para que esta tecnología sea viable.

3.2. TÉCNICAS DE DRENAJE Y SANEAMIENTO

3.2.1. Aplicadas por instituciones gubernamentales

Las instituciones encargadas del manejo del agua y saneamiento publican documentos de carácter informativo donde se explica las diferentes técnicas desarrolladas, las cuales es expuesta como guías prácticas. En el siguiente apartado, se menciona una técnica que ha sido adoptada y transformada para las necesidades de zonas rurales de México.

3.2.1.1. Sanitario Ecológico Seco, CONAFOR

En México se han hecho diferentes esfuerzos por parte de instituciones gubernamentales y privadas para resolver los problemas de manejo de residuos. Esrey (1998) menciona que el sanitario de doble cámara utilizado en Vietnam se ha implementado en otras regiones como México y América del Sur. Este sistema de saneamiento se basa en la separación de los residuos líquidos y sólidos; el concepto es conocido como sistema a base de deshidratación.

La introducción de esta tecnología ha sido adaptada según las condiciones de los habitantes y de la región en la que se construye. Ortiz (2014) cita a López (Sin fecha) quien encontró que en México se conocen diferentes modelos de sanitarios ecológicos secos (SES) como: sistemas de bajo costo construibles por los mismos usuarios, sanitarios secos con tazas de porcelana, modelos prefabricados, equipos para áreas urbanas, etc.

Los sanitarios ecológicos secos más desarrollados y utilizados en México son los de construcción *in situ,* éstos sanitarios son construidos con base a un diseño estándar propuesto y son replicados o modificados conforme a las necesidades de los usuarios o recomendaciones técnicas de los que los promueven.

El funcionamiento del sanitario ecológico seco que se muestra en la Figura 2.1.11Figura 3.2.1 se basa en la separación de los desechos sólidos y líquidos. Para cumplir con esta función se contempla la elaboración de una taza que separa la orina de la excreta. La orina es conducida a un recipiente fuera del sanitario donde generalmente se infiltra al suelo y las heces se almacenan en una de las cámaras receptoras, donde en cada descarga se les agrega tierra, ceniza o cal con el objetivo de conservar seco el almacenamiento. Las dos cámaras de almacenamiento se utilizan alternadamente; mientras en una se van acumulando descargas, en la otra se va deshidratando el material.

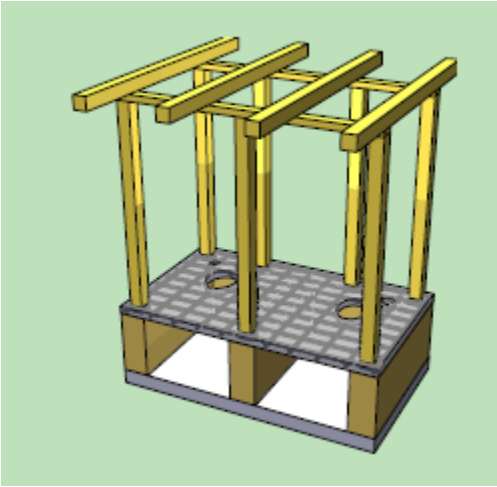


Figura 3.2.1 Sanitario Ecológico Seco

De acuerdo con la investigación de Esrey (1998), en México se ha implementado este sistema por el empresario César Añorve, quien dirige su empresa en la ciudad de Cuernavaca, Morelos. Conforme a lo reportado por Esrey (1998), el negocio del arquitecto Añorve produce alrededor de 30 tazas ecológicas semanalmente. También vende moldes de fibra de vidrio para las tazas de sanitario y apoya el establecimiento de talleres locales.

Las experiencias reportadas para México en el uso de esta tecnología demuestran que si se hace un buen uso del SES no existen malos olores ni criadero de moscas. El sistema parece tener mejor operación en zonas altas y con climas secos, aunque los problemas de humedad que se presentaron en otro tipo de clima fueron básicamente por falta de capacitación.

3.2.2. Desarrolladas por instituciones académicas y de investigación

En México, algunas instituciones académicas han planteado soluciones al problema de la falta de saneamiento tanto en asentamientos urbanos como rurales. En el primer caso, el Colegio de la Frontera Norte, en Baja California, desarrolló una propuesta de saneamiento descentralizado como solución a la falta de este servicio en los barrios periurbanos de la ciudad de Tijuana. En la propuesta se consideraron etapas progresivas para la conformación del sistema, lo cual permitiría acoplar los distintos componentes conforme se dispusiera de recursos. La idea es oportuna, sin embargo, sólo quedó plasmada en el artículo: "Sistemas sanitarios alternativos para la ciudad de Tijuana, Baja California" de Pombo y Riemann (2004), sin haberse llevado a la ejecución.

A continuación, se presentan los casos de una institución académica y de un instituto de investigación que, con el financiamiento adecuado, implementaron una misma técnica alternativa de saneamiento en dos comunidades rurales al sur de México.

3.2.2.1. Sanitario Ecológico Seco

De acuerdo con el *Programa de Buenas Prácticas* de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos (2010), en el estado de Chiapas, al sureste de México, existen casi dieciséis mil comunidades rurales que no tienen acceso a agua potable, saneamiento y electricidad; la comunidad tzotzil de Yalentay, en el municipio de Zinacantán, es un ejemplo de ello.

Con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la comunidad de Yalentay, el Centro de Investigación para el Desarrollo Sustentable de los recursos naturales y Tecnologías Apropiadas (CIDESTA), la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo (AECID), implementaron un proyecto en 2008 que incluía la instalación de sanitarios ecológicos secos, además de una bomba neumática, fregaderos ecológicos y un dispositivo para el riego de hortalizas y flores.

El sanitario ecológico seco puede incluir, ya sea una loza o pedestal o un excusado con la capacidad de separar las heces de la orina, los cuales son conducidos a distintos compartimentos, y un tubo de ventilación para evitar malos olores; cabe mencionar que el sistema funciona sin agua de arrastre (Figura 3.2.2). En el depósito que recolecta las heces, se coloca un material secante (aserrín o cal) y se lleva a cabo un proceso de degradación, pudiendo permanecer los desechos seis meses dentro. Posterior a su descomposición, el producto puede ser considerado como pre-abono para ser empleado como componente de composta y destinarse a especies vegetales que no sean para consumo humano, o bien, dispersado en la naturaleza. Por su parte, la orina recolectada se junta con el agua residual proveniente de los demás muebles sanitarios para ser tratados en conjunto. (Salud sin límites Perú, 2014).

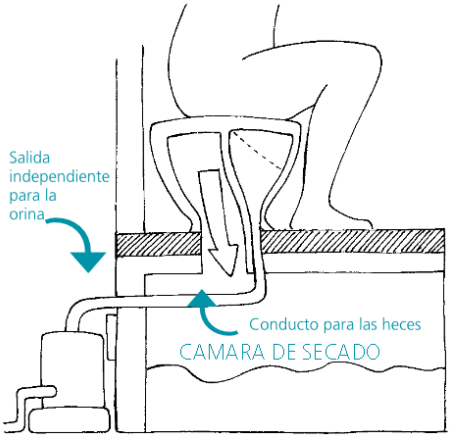


Figura 3.2.2. Retrete ecológico seco. Fuente: Salud sin límites Perú.

En conclusión, las ventajas que implica este sistema, de acuerdo con Tilley et al. (2011), son las siguientes: ahorro de agua, al no ser requerida en el funcionamiento; ahorro de energía, sencillez en su construcción y bajo costo. Por su parte, la desventaja está en que no se puede implementar

en urbes muy pobladas, debido a que el sistema requiere de espacio para mantener una adecuada ventilación; además, la acumulación de residuos superaría a la tasa de degradación de éstos.

Otro sitio en México donde esta tecnología tuvo éxito es Puerto Morelos, Quintana Roo. Este municipio, localizado a 100km al sur del centro turístico de Cancún, se encuentra rodeado de un rico ecosistema compuesto por manglares y ríos subterráneos. Lamentablemente, este ambiente se encuentra amenazado por la contaminación y la urbanización, traídos por el turismo, así como por la falta de saneamiento adecuado en Puerto Morelos. Este último punto ha provocado la filtración de residuos orgánicos en el agua subterránea, provenientes de letrinas y fosas sépticas, así como de la práctica de la defecación al aire libre.

Con el fin de mitigar esta fuente de contaminación, así como de mejorar la salud pública en los barrios de Puerto Morelos, en 1993, el Instituto de Recursos para Sistemas de Baja Entropía (ReSource) con sede en Estados Unidos, en conjunto con dos organizaciones no gubernamentales de Quintana Roo y el gobierno municipal, implementó el proyecto "*Nahi Xix*", traducido como "Casa de residuos". Éste consistía en sanitarios ecológicos secos y en un sistema de tratamiento de las aguas residuales provenientes del lavado de ropa, para su empleo en el riego de plantas y árboles. (El proyecto Nahi, 1997).

Los sanitarios ecológicos implementados utilizan la tecnología de compostaje *Clivus Multrum* sin agua y con agua (microexplusión). De acuerdo con la empresa *Clivus Multrum* (2020), este tipo de sanitarios cuentan con una cámara de composta con piso inclinado, ductos de ventilación y una cámara de almacenamiento para la orina. En este último elemento, la orina pasa por un tratamiento de nitrificación para así convertirse en un fertilizante rico en nitrógeno. Por su parte, los residuos sólidos almacenados en la cámara de composta se degradan en un proceso aerobio, convirtiéndose en un material ideal para emplearse como fertilizante o acondicionador de suelo.

Además del aprovechamiento de los residuos, estos sanitarios tienen la ventaja de ser inodoros, por lo que no permiten la proliferación de insectos nocivos; además, no requieren de agua o utilizan una mínima cantidad para su funcionamiento.

Cerca de la mitad de la comunidad, compuesta por mayas que dependen de las cosechas para su sustento, se vio beneficiada por el uso de los residuos como productos fertilizantes. Así mismo, los otros pobladores del municipio, compuestos por trabajadores y visitantes con mayores recursos económicos, encontraron en los baños ecológicos una alternativa al caro alcantarillado de la zona.

A través de este proyecto se mejoraron las condiciones sanitarias de quince familias de la comunidad, se crearon puestos de trabajo y se construyeron veinticinco modelos de baños ecológicos. De igual manera, el éxito de este proyecto despertó el interés de los municipios vecinos de Cancún y Cozumel, así como de la Secretaría de Salud Pública del Estado de Sonora, los cuales solicitaron estudios para llevar a cabo proyectos similares en sus comunidades.

4. REFERENCIAS

Abarza, A., Calderón, R., Córdova, M., García, P., Morales, C. y Pizarro, R. (2015). *Documento Técnico N° 36. Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de agua de lluvia en zonas rurales de Chile.* Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe.

Alegría, T. y Ordóñez, G. (2005). *Legalizando la ciudad. Asentamientos informales y procesos de regularización en Tijuana.* El Colegio de la Frontera Norte. México.

Anaya, M., Chávez, J., García, M., López, N., Palacios, O. y Rubiños, J. (2017). *Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico.*
Obtenido el 20 de mayo de 2020 de:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601433&lng=es&nrm=iso

Ayala, E. (2017). *La cosecha de agua de lluvia da sus frutos en El Salvador*. Inter Press Service.
Obtenido el 5 de mayo de 2020 de
http://www.ipsnoticias.net/2017/09/la-cosecha-de-agua-de-lluvia-da-sus-frutos-en-el-salvador/

Banco Mundial. (2005). *La experiencia de los sistemas de agua y alcantarillado condominiales en Brasil. Estudios de casos de Brasil, Salvador y Parauapebas*. Recuperado de
https://www.wsp.org/sites/wsp/files/publications/CondominESP.pdf

Botsuana [Datos de la librería de la CIA del país de Botsuana], (2020), consultado el 24 de abril de 2020, Central Intelligence Agency, USA, página web:
https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/bc.html

Brazilian Rainwater Catchment and Management Association . (s. f.). *P1MC and P1+2, two Community Based Rainwater Harvesting Programs in Semi-Arid Brazil*. Recuperado 30 de marzo de 2020 de:
https://pdfs.semanticscholar.org/81c9/5a2f7a60995511892fd0ada78cf6f1c71e29.pdf

Cereceda, P. (s. f.). *Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural sustentable.* Recuperado 30 de abril de 2020, de http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2018/04/2-LOS-ATRAPANIEBLAS-2000.pdf

Closing the water access gap in the United States: a National Action. (2019). Plan. Dig Deep y US Water Alliance. Obtenida el 21 de abril de 2020, de http://closethewatergap.org/wp-content/uploads/2020/03/Dig-Deep_Closing-the-Water-Access-Gap-in-the-United-States_EXECUTIVE-SUMMARY-1.pdf

Conagua (2016). *Lineamientos técnicos: sistemas de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*.
Obtenido el 03 de abril de 2020 de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACI_N_PLUVIAL.pdf

Conagua (2016). *Lineamientos técnicos: sistema de tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda en zona rural.* Obtenido el 27 de abril de 2020 de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152777/LINEAMIENTOS_TRATAMIENTO_AGUAS_NIVEL_VIVIENDA.pdf

Conagua (ND). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro 7 Obras de Captación Superficiales.* Obtenido el 3 de abril de 2020 de http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro7.pdf

Conagua (ND). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Libro 37 Saneamiento Básico*. Obtenido el 9 de mayo de 2020 de https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro37.pdf

Clivus Multrum (2020). *¿Cómo funciona Clivus Multrum?* Obtenido el 21 de mayo de http://www.clivusmultrum.es/compostingprocess.php

EADA. (2013). *Ensure pure drinking water through rainwater harvesting.* Obtenida de https://www.mangrovesforthefuture.org/grants/small-grant-facilities/bangladesh/ensure-pure-drinking-water-through-rain-water-harvesting/

El proyecto Nahi Xix de barrios ecológicos, Puerto Morelos (México). (1997).Programa de Buenas Prácticas de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos. Obtenida el 21 de mayo de 2020 de http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu/bp207.html

Environment Agency. (2010). *Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide.* Obtenido el 23 de abril de 2020 de https://waterwise.org.uk/knowledge-base/harvesting-rainwater-for-domestic-uses-an-information-guide-2010/

Esrey, S., Gough, J., Rapaport, D., & R. Sawyer. (1998). *Saneamiento Ecológico* (traducción de la versión en inglés Ecological Sanitation ed.). Recuperado de http://www.ecosanres.org/pdf_files/Saneamiento_Ecologico.pdf

Fayanás Edmundo. (2011). *Australia, el extremismo hídrico*. Noticia encontrada el 5 de mayo de 2020 en https://www.nuevatribuna.es/articulo/medio-ambiente/australia-el-extremismo-hdrico/20110421133253053631.html

From Toilets to Rivers: Experiences, New Opportunities, and Innovative. (2014). Publicación del Banco Asiático de desarrollo. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/es/detallePer_Onu?id=865

Fundación Guatemala. (2016). *Cosecha de agua de lluvia*. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://huairou.org/wp-content/uploads/2016/06/Guatemala-agua-web.pdf.

García, B. (2013). *Caracterización del agua de lluvia captada en una edificación para su aprovechamiento con fines de sustentabilidad hídrica* [tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.

Ghosh, R. y Arun, K. (2014). *El desafío urbano en la India y la misión por un hábitat sustentable. Inter disciplina*. Consultado el 21 de abril de 2020, en el Portal de revistas académicas y arbitradas de la UNAM.

Global Water Partnership Centroamérica. (2013). *Guatemala: Cosecha de agua de lluvia para zonas urbanas.* Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/pp_guatemala_web.pdf.

Gutiérrez, J. (2014). *Captación de agua de lluvia en la escuela "La puerta de Santiago" del municipio de Tonatico, Estado de México* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Greenpeace Pacific (1994). *Sewage Pollution in the Pacific and how to Prevent it.* Recuperado de http://www.pacificwater.org/_resources/article/files/Sewage%20Pollution%20in%20the%20Pacific%20and%20how%20to%20prevent%20it.pdf

Hardie, Mary. (2010). *Rainwater Storage Gutters for Houses*. School of Engineering, University of Western Sydney, Australia. Obtenido el 22 de abril de 2020 de https://www.researchgate.net/publication/41163114_Rainwater_Storage_Gutters_for_Houses

IANAS y UNESCO. (2015*). Desafíos del agua urbana en las Américas, Perspectivas de las Academias de Ciencias*. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.ianas.org/index.php/books.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Fundación Gonzalo Río Arronte (2012). *Plan estratégico para la recuperación de la Cuenca Amanalco-Valle de Bravo: Actualización*. Obtenida el 29 de abril de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/05/Plan_cuenca_Amanalco_Valle_de_Bravo.pdf

Isla Urbana, un estudio de caso. (2018). Foro Consultivo, Científico y Tecnológico. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://foroconsultivo.org.mx/innovacion_transformadora/docs/8.Isla_Urbana.pdf

Jacques Monvois, Julien Gabert, Clément Frenoux, Marie Guillaume, (2004) *How to select appropriate technical solutions for sanatation [Como seleccionar técnicas apropiadas para el saneamiento]*, n°4, Francia: pS-Eau

Janette W. y Tim H. (2006). *Rainwater harvesting for domestic use [Captación de agua de lluvia para uso doméstico]* (1ra ed.),Wageningen, Países Bajos: Digigrafi.

Jewell, C. (2013). *Las máquinas Water ATM causan sensación*. Revista de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2013/05/article_0005.html

Jordy, Micheli. (2001), *Política ambiental en México y su dimensión regional* [Articulo] Región y sociedad Vol 4 no 23, Hermosillo: ISSN-3925. Recuperado el 20 de mayo del 2020 en la página: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252002000100005#Notas

Katheleen Graham-Harrisson and Melanie Low, (2005), *A review of EcoSan Experience in Eastern and Southern Africa*, [Una revisión de la experiencia EcoSan en África oriental y meridional]. Nairobi: wsp

Lancaster, B. (2015). *Water Harvesting along Streets.* Obtenida de https://www.harvestingrainwater.com/imagesvideoaudio/image-gallery/water-harvesting-along-streets/

Mairena, R., Smits, S. y Uytewaal, E. (2011). *Análisis de la situación del sector agua y saneamiento en Honduras.* Consejo de agua y saneamiento. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.sdgfund.org/sites/default/files/EDG_ESTUDIO_Honduras_%20Analisis%20nacional%20del%20sector%20agua%20y%20saneamiento.pdf.

Malawi [Datos de la librería de la CIA del país de Malawi], (2020), consultado el 6 de mayo de 2020, Central Intelligence Agency, USA, página web: https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/print_mi.html

Manual de construcción de baño ecológico seco. (2014). Salud sin límites Perú. Obtenida el 21 de abril de 2020, de http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Manual-de-construccion-de-ba--o-ecologico-seco.pdf

Martínez, libreros, Quiñones, Montesillo y Lopez, (2003). *Retos y propuestas Gestión del agua en el Distrito Federal*, Ciudad de México: UNAM.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012). *ANEXO X: Perfil de proyecto de la tecnología para cosecha de agua de lluvia.* Obtenida el 5 de mayo de 2020, de https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/tna_project_idea_dominican_republic_mitigation_rainwater_harvesting_elias_.pdf

Navajo Water Project. (2018). Dig Deep. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.navajowaterproject.org/project-specifics

M.D. Lee y J.T. Visscher (1990). Water Harvesting in Five African Countries [Captación de agua de lluvias en cinco países africanos]. Doc. 14, Hague, Países Bajos: Library IRC.

Níger [Datos de la librería de la CIA del país de Níger] (2020), consultado el 25 de abril de 2020, Central Intelligence Agency, USA, página web: https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/ng.html

Oficina Nacional de Estadística. (2008). Elías Piña en cifras. Obtenida el 5 de mayo de 2020, de https://www.one.gob.do/Content/pdf_perfiles/Perfil_elias_pina.pdf

Organización Mundial de la Salud, & UNICEF. (2019). *Progresos en materia de agua para consumo, saneamiento e higiene en los hogares: 2000-2017 Las desigualdades en el punto de mira*. Recuperado de file:///C:/Users/ASUS/Downloads/jmp-2019-wash-households-es.pdf

Pascual, J. A., Naranjo, M. F., Payano, R., & Medrano, O. (s. f.). *Tecnología para la recolección de agua de niebla*. Recuperado 3 de abril de 2020, de

https://www.researchgate.net/publication/257199788_TECNOLOGIA_PARA_LA_RECOLECCION_DE_AGUA_DE_NIEBLA

Pérez, A. (2016). *Captación de agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico, en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca* [tesis de maestría]. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México.

Perspectivas de Desarrollo y Agua en Asia en 2007 (2007). Publicación del Banco Asiático de desarrollo. Obtenida el 11 de mayo de 2020 de https://www.adb.org/sites/default/files/publication/29630/awdo-2007-sp.pdf

Peter Morgan, (2007), *Toilets that make compost: Low-cost, sanitary toilets that produce valuable compost for crops in an African context*, EcoSanRes, Stockholm Environment Institute, ISBN 978-9-197-60222-8, recuperado el 7 de mayo del 2020 en la página web: https://es.wikipedia.org/wiki/ArborLoo#/media/Archivo:Arborloo-en.svg

Población tiempo real, [África población], (2020). Consultado el 2 de mayo de 2020, population city, página web: http://poblacion.population.city/world/af

Pombo, A. y Riemann, H. (2004). *Sistemas sanitarios alternativos para la ciudad de Tijuana, Baja California.* Obtenida el 8 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722004000200004

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2013). *Perfil sociodemográfico y ambiental: provincia Elías Piña*. Obtenida el 5 de mayo de 2020, de http://media.onu.org.do/ONU_DO_web/596/sala_prensa_publicaciones/docs/0148480001372256776.pdf

Progresos en materia de saneamiento y agua potable (2015), informe de actualización 2015 y evaluación de los ODM OMS y UNESCO, Estados Unidos: Emerson, Wajdowicz Studies NYC.

¿Quiénes son los navajos, la tribu que logró la mayor compensación de la historia en EE.UU.? (2014). BBC Mundo. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/09/140925_estados_unidos_quienes_son_navajos_bd

Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), Amsterdam. (2013). *Enhancing economic resilience in North Eastern Brazil by Harnessing rain*. Recuperado de http://www.abcmac.org.br/files/downloads/heijnen_rainwater_harvesting_in_semiard_brazil_compressed.pdf

Ramírez, V. (2008). *Captación y almacenamiento del agua de lluvia a nivel familiar y su impacto en las comunidades rurales de Tlaxcala* [tesis de maestría]. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México.

Regiones y países de África, Epicentro geográfico (2020), recuperado el 7 de mayo del 2020 en la página web: https://epicentrogeografico.com/2018/01/cuales-son-las-regiones-y-paises-del-continente-africano/

Reglero, L. (2014). *Cajeros automáticos de agua en la India contra la escasez y la insalubridad.* La Vanguardia. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.lavanguardia.com/vida/20140817/54413121062/cajeros-automaticos-de-agua-en-la-india-contra-la-escasez-y-la-insalubridad.html

Rex A. Hudson. (1994) *Washington: GPO for the Library of Congress*. Chile: A Country Study. Recuperado de http://countrystudies.us/

Salinas, A. (2015). *Impacto ambiental, social y económico derivado de la implementación de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en dos estudios de caso en México* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Morelia. Michoacán, México.

Sarah Ward. (ND). *Rainwater Harvesting in the UK -Current Practice and Future Trends*. Centre for Water Systems, School of Engineering, Computer Science and Mathematics, University of Exeter. Recuperado 23 de abril de 2020, de http://www.harvesth2o.com/rainwater_harvesting_UK.shtml

Secretaría de Protección Civil (2014), Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México, Actualización de los Mapas de riesgos, Milpa Alta

Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL). (2014). Unidad de ecotecnologías, IIES, UNAM. Obtenida el 21 de abril de 2020 de http://ecotec.unam.mx/Ecotec/ecoteca/colecta-de-agua-pluvial-como-medida-para-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia.

Sistemas de saneamiento apropiados y económicamente viables: Sulabh Internacional, Nueva Delhi (India). (1996). Programa de Buenas Prácticas de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos. Obtenida el 11 de mayo de http://habitat.aq.upm.es/bpn/bp168.html

South america. (s. f.). En InfoPlease. Recuperado 5 de mayo de 2020, de https://www.infoplease.com/encyclopedia/places/other/oceans-continents/south-america

Sotrafa. (2018). *Cisterna flexible, la solución fiable y económica*. [Ficha técnica]. Obtenida el 5 de mayo de 2020, de https://www.agromar.com.pe/wp-content/uploads/2018/06/flexicisternas-ficha-t%C3%A9cnica.pdf

Sulabh International Social Service Organization. *Sulabh two-pit pour-flush household toilet*. [Figura]. Obtenida el 11 de mayo de 2020 de https://www.sulabhinternational.org/sulabh-technologies/

Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrüggy, C., Schertenleib, R. *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento*. (2011). EAWAG, Alianza por el agua y Cooperación Suiza en América Central. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf

Transferencia de tecnologías apropiadas para la dotación, manejo y disposición de agua en una comunidad indígena tzotzil, en el municipio de Zinacantán, Chiapas. (Yalentay, México). (2010).

Programa de Buenas Prácticas de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos. Obtenida el 21 de abril de http://habitat.aq.upm.es/dubai/10/bp2549.html

UN-Water (2017). *Sustainable Development Goal 6 on water and sanitation* (SDG 6). Obtenido el 12 de mayo de 2020 de: https://dataportal.unwater2.rw1.co.za/region/Central%20and%20Southern%20Asia

UN-Water (2019). *No dejar a nadie atrás: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*.Obtenido el 12 de mayo de 2020 de: https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf

Verchot, M. (2019). *¿Acceso al agua potable? Un lujo en India*. [Figura]. Obtenida de https://www.dw.com/es/acceso-al-agua-potable-un-lujo-en-india/a-48160766.

Water Aid Bangladesh. *Drinking Water Assessment Report: Climate resilient drinking water solutions for Khulna and Satkhira.* Obtenida el 7 de mayo de 2020, de https://undpgefpims.org/attachments/5724/215412/1706668/1716880/FP-UNDP-250118-5724-Annex%20II%20_c_.pdf

Winkler, I., Kamuf, J. (2019). *La Estrategia Global sobre el Agua de los Estados Unidos debe reconocer estos derechos dentro del país*. Open Global Rights. Obtenida el 21 de abril de 2020, de https://www.openglobalrights.org/the-united-states-global-water-strategy-must-recognize-these-rights-at-home/?lang=Spanish

Zhe Li, et al. (2010) *Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland.*