



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

VIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE
CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN
COMUNIDADES RURALES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

GERARDO SÁMANO ROMERO

DIRECTORA DE TESIS

DRA. ALMA CONCEPCIÓN CHÁVEZ MEJÍA



MÉXICO D.F., CIUDAD UNIVERSITARIA, 2015

VIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN COMUNIDADES RURALES

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la viabilidad de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) como método de abastecimiento en comunidades marginadas del país, para su posible uso en beneficio de la población más vulnerable usando una fuente de agua alterna.

Para su realización se analizaron aspectos sobre el acceso al agua potable, la marginación y la precipitación en los 2457 municipios y delegaciones de México, a través del número promedio de viviendas y habitantes en los municipios seleccionados.

Los resultados obtenidos muestran que existen 207 municipios en el país con una proporción mayor al 40% de sus habitantes sin acceso al agua potable; se determinó que existen condiciones de precipitación suficientes (mayores a 1500 mm), para obtener un Acceso Medio al agua (50 l/hab·día de acuerdo con lo establecido por algunos autores) en 105 de esos 207 municipios, sin embargo, las áreas de captación y los sistemas de almacenamiento necesarios para dicho fin resultan de gran tamaño aun para el escenario de mayor precipitación, en promedio los sistemas de almacenamiento resultantes eran de 30 m³, esto imposibilita su factibilidad técnica (por la naturaleza de las viviendas) y económica (por su costo comparativo). Los resultados obtenidos muestran que puede obtenerse un acceso al agua entre básico e intermedio, mayor a 20 y menor a 50 l/hab·día con áreas de captación relativamente pequeñas (a partir de 25 m²) resultado en sistemas de almacenamiento de entre 10 y 15 m³. Los 105 municipios donde la viabilidad del SCALL es alta se encuentran distribuidos en ocho estados del país beneficiando a 1 097 080 personas mediante un programa integral de captación de agua de lluvia.

Se concluye a partir del análisis técnico que los SCALL constituyen una opción viable para el abastecimiento de agua potable en comunidades marginadas debido a sus múltiples ventajas a nivel local.

Con el modelo matemático desarrollado en esta tesis, es factible obtener una primera aproximación del área de captación requerida a partir de un valor conocido de precipitación que permite hacer el análisis de una manera rápida y de obtener criterios generales para la aplicación de los SCALL a nivel nacional.

Se recomienda así mismo la creación de un programa piloto demostrativo en algunos municipios señalados en el análisis contenido en esta tesis.

ABSTRACT

In this research the viability of Rain Water Catchment Systems as water supply method in marginal communities in Mexico was assessed. Thinking in its possible use benefiting the most vulnerable people using an alternative water source.

Aspects about access to drinking water, marginalization and rain in the 2,457 municipalities of Mexico were analyzed, also the number of houses and inhabitants.

The results shown that exists 207 municipalities with over 40% of the people with no access to tap water, it was determined that exists enough rain, more than 1500 mm annually, to gain Intermediate Access (average quantity about 50 l/c/d) according to some authors in 105 of the 207 municipalities. Although the catchment surfaces and storage deposits needed to accomplish that task were quite big, for example in the highest rain scenario the storage capacity needed was about 30 m³, so that the technical and economic viability was impossible for the configuration of the houses and his comparative cost respectively. The results also shown that it is possible to achieve an access to water between Basic and Intermediate (more than 20 and less than 50 l/c/d), with 10 to 15 m³ of storage capacity and with relatively small catchment surfaces (starting from 25 m²). The 105 municipalities are distributed in eight different states in Mexico, the number of persons who can be benefited with a rainwater catchment integral program is 1 097 080.

From this technical analysis it is concluded that the Rainwater Catchment Systems are a feasible option for water supply in marginal communities due his multiple advantages as local method.

With the mathematical model developed in this work is feasible the obtaining of a first approximation of the required surface starting from a known rain value this will allow to perform faster analysis and the establishment of general criteria for the application of Rain Water Catchment System in national scale.

It is also recommended the creation of a demonstrative pilot program in some of the municipalities analyzed.

CONTENIDO

RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE MAPAS.....	VIII
CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 CONTEXTO.....	4
1.2.1 Escenario físico y administrativo	4
1.2.2 Escenario sociocultural.....	7
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	10
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	13
2.1 ANTECEDENTES	13
2.1.1 Disponibilidad de agua en México.....	13
2.1.2 Presión sobre el recurso.....	16
2.1.3 Cobertura	17
2.1.4 La cantidad de agua domiciliaria y la salud.....	20
2.1.5 Manejo Integral de los Recursos Hídricos	22
2.1.6 Clima y Precipitación en México	23
2.1.7 Precipitación pluvial normal.....	24
2.2 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA	26
2.2.1 Definición.....	26
2.2.2 Reseña histórica	26
2.2.3 Situación actual de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia.....	28
2.2.4 Componentes de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia.....	31
2.2.5 Entorno de aplicación	33
2.3 OBJETIVOS.....	35
2.3.1 Objetivo general.....	35
2.3.2 Objetivos específicos	35
2.4 JUSTIFICACIÓN.....	36
2.5 BENEFICIOS ESPERADOS	36
2.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	37
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA.....	39
3.1 MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	39
3.1.1 Técnicas de Recolección de Información	39
3.1.2 Definición de población y muestra.....	40
3.1.3 Estratificación de la Muestra	41
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
4.1 ÁREA DE CAPTACIÓN VS PRECIPITACIÓN.....	47
4.1.1 Metodología de análisis.....	48
4.1.2 Análisis detallado por municipio.....	49
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55

REFERENCIAS	57
ANEXO 1 RESULTADOS DE LA ESTRATIFICACIÓN DE LA MUESTRA	59
ANEXO 2 AUXILIARES DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS.....	4
TABLA 2 DATOS ASOCIADOS A LAS REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS.....	6
TABLA 3 MUNICIPIOS POR ENTIDAD FEDERATIVA, SEGÚN SU GRADO DE MARGINACIÓN 2010	8
TABLA 4 GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL AGUA POR REGIÓN HIDROLÓGICA ADMINISTRATIVA	16
TABLA 5 COBERTURA EN EL SERVICIO DE AGUA POTABLE POR AÑOS CENSALES	17
TABLA 6 VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS CON AGUA ENTUBADA Y SU DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN DOTACIÓN DE AGUA POR ENTIDAD FEDERATIVA, 2010	18
TABLA 7 OCUPANTES EN VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA, ÍNDICE Y GRADO DE MARGINACIÓN 2010 POR ESTADOS	19
TABLA 8 CANTIDAD DE AGUA DOMICILIARIA, NIVEL DE SERVICIO, ACCESO, NECESIDADES ATENDIDAS E IMPACTOS EN LA SALUD	20
TABLA 9 PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL (MM) MENSUAL POR REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA, PERIODO 1971-2000. FUENTE: CONAGUA 2014. ATLAS DEL AGUA EN MÉXICO 2014.	25
TABLA 10 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL MUNDO	28
TABLA 11 ESTRATIFICACIÓN DE LA MUESTRA.....	41
TABLA 12 DATOS DE PRECIPITACIÓN, CONSUMO Y CAPTACIÓN PARA DIFERENTES ÁREAS EN EL MUNICIPIO DE HUEHUETÁN, CHIAPAS	49
TABLA 13 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA EL SCALL TIPO DEL MUNICIPIO DE HUEHUETÁN, CHIAPAS	50
TABLA 14 RESULTADOS RESUMIDOS PARA ÁREAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTOS PARA CADA UNO DE LOS MUNICIPIOS SELECCIONADOS.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 MUNICIPIOS CON UNA PROPORCIÓN MAYOR AL 40% DE HABITANTES SIN AGUA ENTUBADA	10
FIGURA 2 NÚMERO DE SCALL POR ESTADO DE ACUERDO CON LA PROPUESTA DE SEDESOL	11
FIGURA 3 COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO MEXICANO (VALORES MEDIOS ANUALES)	13
FIGURA 4 ESQUEMA DE LOS COMPONENTES DE UN SCALL	31
FIGURA 5 NÚMERO DE MUNICIPIOS EN LA MUESTRA POR ENTIDAD FEDERATIVA	40
FIGURA 6 MUNICIPIOS CON NIVEL DE COBERTURA MUY BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN MUY ALTO (DE 2000 A 4000 MM)	45
FIGURA 7 VOLÚMENES DE AGUA PLUVIAL CAPTADA EN RELACIÓN A LA ALTURA DE PRECIPITACIÓN Y AL ÁREA DE CAPTACIÓN	47
FIGURA 8 DIFERENCIAS ENTRE LOS VOLÚMENES OFERTADOS Y DEMANDADOS DURANTE EL AÑO	50
FIGURA 9 DIFERENCIAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA ACUMULADA	51
FIGURA 10 DATOS EXPERIMENTALES AJUSTADOS A UNA TENDENCIA	53

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1 PRINCIPIOS DE DUBLÍN	22
CUADRO 2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA	34

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1 DIVISIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	5
MAPA 2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL 1903-2011	5
MAPA 3 REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS.....	7
MAPA 4 GRADO DE MARGINACIÓN POR MUNICIPIO.....	9
MAPA 5 CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO Y LA REGIÓN HIDROLÓGICA A LA QUE PERTENECEN.....	15
MAPA 6 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN REALIZADA	42
MAPA 7 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN REALIZADA	43
MAPA 8 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN REALIZADA.....	44

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 INTRODUCCIÓN

El desabasto de agua provoca problemas de salud en las personas, dificulta las labores domésticas y tenerla requiere de gran cantidad de trabajo familiar. La falta de agua es el eje del círculo vicioso de pobreza, vulnerabilidad e inseguridad alimentaria provocando rezagos en el desarrollo de las comunidades que padecen esta situación y cualquier propuesta de solución a dicho problema requiere de un análisis previo donde considere su viabilidad, incluyendo a la captación de agua de lluvia, bajo este pensamiento se parte para la realización de esta tesis.

La investigación surge a partir del conocimiento de la Licitación Pública Nacional Mixta a Plazos Reducidos No. LA-020000999-N20-2014 emitida por la Dirección General de Recursos Materiales a través de la Dirección de Adquisiciones y Contratos de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) que contemplaba en la primera de sus tres partidas *la adquisición, distribución e instalación de “sistemas para la captación de agua pluvial para uso doméstico”* contemplando la entrega de 29,016 unidades de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) que serían distribuidos en 25 entidades de la República Mexicana y en un total de 260 municipios de acuerdo a la relación que se presenta en el Anexo 1 de dicho documento.

La licitación fue declarada desierta en cada una de sus tres partidas el día tres de julio de 2014, las otras dos partidas consistían en *la adquisición, distribución e instalación de “sistemas de baño húmedo con fosa séptica prefabricada autolimpiable”* y *adquisición y distribución de “paquetes de 31.72 m² de área útil de lámina de fibrocemento, para techos fijos”*.

Estas acciones tenían como objetivo el planteamiento de alternativas relacionadas con las formas de atender las carencias, con un impacto directo en los resultados de los indicadores de rezago social. De acuerdo con lo establecido dentro de la misma “La persistencia de rezagos, asociados fundamentalmente a la ausencia de redes para la distribución de agua y los sistemas de drenajes con tratamiento de agua negra, obedece en gran parte a las dificultades técnicas para trabajar en terrenos montañosos y a los elevados costos de la obras de infraestructura de esos lugares”.

La captación de agua de lluvia constituye un método opcional para el suministro de agua a los hogares, puede ser muy útil en comunidades marginadas de acuerdo con Herrera, 2010, de hecho, el autor establece que la captación de agua de lluvia para consumo humano es recomendada en primera instancia para zonas rurales o urbano marginales, con niveles de precipitación pluviométrica que hagan posible el adecuado abastecimiento de agua de la población beneficiada y que no cuentan con acceso a fuentes superficiales cercanas, y donde el nivel freático de las aguas subterráneas sea muy bajo, recomienda también hacer provecho de la captación de agua en todas las zonas pobladas aunque exista un sistema de abastecimiento; considerando así a la captación de agua como un sistema alternativo o complementario de distribución de agua.

Por ser un método alternativo de aplicación local esta técnica parece ser la solución ideal, sin embargo, como el autor remarca los niveles de precipitación tienen que hacer posible un cierto nivel de abastecimiento, entendido cualitativamente como “adecuado”, asegurar de manera inmediata que una comunidad por ser marginada es susceptible de abastecerse con agua de lluvia es erróneo, de no hacer un análisis de los alcances de dicha técnica como alternativa de solución es probable que el problema no

CAPÍTULO 1

sea resuelto o sólo se resuelva parcialmente y a la larga provoque un mayor costo que beneficio al generar infraestructura innecesaria o ineficiente.

El artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos garantiza que “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.”

Se entiende entonces que el objetivo de la partida número uno de la licitación LA-020000999-N20-2014, siendo ésta una de las garantías que el Estado debe de ofrecer a los ciudadanos, era el dar acceso al agua a las personas cubriendo un servicio básico en sus viviendas, pero más allá del hecho de que cualquier cantidad de agua captada sería un beneficio para las personas que carecían de acceso a ella, no existe un análisis que determine si el volumen obtenido sería suficiente para cubrir sus necesidades en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible como lo marca esta ley.

Debido al fallo de la licitación este proyecto no se realizará, sin embargo, existe la inquietud por conocer que hubiera sucedido de haber continuado con él, acaso las localidades en donde se pretendían instalar tenían un régimen de lluvias tal que el volumen captado sería capaz de cubrir las necesidades de las personas durante todo el año o sólo en parte del mismo.

Si el gobierno de la nación contempla planes para la reducción de rezagos en los servicios básicos de las comunidades marginadas del país esos planes deben de inspeccionar la viabilidad de las soluciones que se proponen, sus alcances y limitaciones, y la falta de un criterio que ayude a realizar ese fin provoca la ejecución de planes, que pueden o no resolver el problema, que generan un gasto en el erario son una solución o se convierten en soluciones parciales.

Es por ello que el problema que se pretende tratar en esta investigación versa sobre la falta de criterios técnicos existentes para la designación de lugares adecuados o propicios para la instalación de un SCALL y la creciente necesidad de mejorar el abastecimiento de agua en comunidades marginadas.

La motivación del trabajo radica en la responsabilidad social de un ingeniero civil, quien es el profesional encargado de planear el uso más conveniente de los recursos naturales y humanos para la resolución de los problemas y necesidades de una sociedad, también de la necesidad existente en las comunidades marginadas de fuentes de agua cercana, salubre, asequible y suficiente.

El presente trabajo se estructura en cinco capítulos; en el primero de ellos se describe el problema a tratar definiendo el contexto nacional en materia de acceso al agua partir de los escenarios físicos, administrativos, social y cultural, además de la delimitación del problema

El segundo capítulo muestra la teoría involucrada en la realización de este trabajo los antecedentes que existen sobre el tema y el marco teórico general en el que se desarrolla, en él se definirán las variables involucradas, los conceptos utilizados y el enfoque de la investigación además de resultados obtenidos de trabajos similares, a partir de todo esto se definieron los objetivos planteados, además de la justificación para la elaboración del mismo, los beneficios que se esperan de este trabajo y la enumeración de sus alcances y limitaciones.

El tercer capítulo plasma la metodología seguida para la elaboración del presente documento, se describe el enfoque que se siguió y los métodos utilizados para la recolección de datos, además de la definición de la población de estudio y la muestra con la que se trabajó para la obtención de los resultados.

En el cuarto capítulo se incluye el análisis de los resultados obtenidos en donde se darán respuestas a las preguntas de investigación realizadas y se demostrará o refutará la hipótesis planteada, a la luz de este contenido se elaborará el último de los capítulos consistente en las conclusiones que se obtuvieron con la realización del trabajo y una serie de recomendaciones para mejorar el método de estudio para futuras investigaciones y acciones que se podrían llevar a cabo en vista de los resultados obtenidos. Además se presentan una serie de anexos donde se describe con mayor detalle las técnicas utilizadas en la metodología y se amplía la información con la que se trabajó.

1.2 CONTEXTO

1.2.1 ESCENARIO FÍSICO Y ADMINISTRATIVO

México se ubica en el hemisferio norte, entre los meridianos 118°22' y 86°42' de longitud oeste y entre las latitudes 14°32' y 32°43' norte, por su ubicación geográfica la parte sur del país está situada en la zona intertropical y la parte norte en la zona templada, esta situación, aunada al relieve abrupto que existe en el país, decreta la variedad de climas existentes en el mismo e inciden en la disponibilidad de agua (CONGUA, 2014). México se compone de 32 entidades de los cuales, 31 son estados que están constituidos por 2441 municipios, y un Distrito Federal formado por 16 delegaciones, para un total de 2457 municipios y delegaciones (INEGI, 2010). El detalle de esta información se presenta en la tabla 1 y el mapa 1.

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS

Clave	Entidad federativa	Población a mediados de 2013 (habitantes)	Superficie continental (km ²)	Densidad de población 2013 (hab/km ²)	Municipios o delegaciones del D.F. (número)
01	Aguascalientes	1 252 265	5 618	222.9	11
02	Baja California	3 381 080	71 446	47.3	5
03	Baja California Sur	718 196	73 922	9.7	5
04	Campeche	880 229	57 924	15.2	11
05	Coahuila de Zaragoza	2 890 108	151 563	19.1	38
06	Colima	698 295	5 625	124.1	10
07	Chiapas	5 119 186	73 289	69.8	118
08	Chihuahua	3 635 966	247 455	14.7	67
09	Distrito Federal	8 893 742	1 486	5 987.0	16
10	Durango	1 728 429	123 451	14.0	39
11	Guanajuato	5 719 709	30 608	186.9	46
12	Guerrero	3 523 858	63 621	55.4	81
13	Hidalgo	2 806 334	20 846	134.6	84
14	Jalisco	7 742 303	78 599	98.5	125
15	México	16 364 210	22 357	732.0	125
16	Michoacán de Ocampo	4 529 914	58 643	77.2	113
17	Morelos	1 874 188	4 893	383.1	33
18	Nayarit	1 178 403	27 815	42.4	20
19	Nuevo León	4 941 059	64 220	76.9	51
20	Oaxaca	3 959 042	93 793	42.2	570
21	Puebla	6 067 607	34 290	177.0	217
22	Querétaro	1 943 889	11 684	166.4	18
23	Quintana Roo	1 484 960	42 361	35.1	10
24	San Luis Potosí	2 702 145	60 983	44.3	58
25	Sinaloa	2 932 313	57 377	51.1	18
26	Sonora	2 851 462	179 503	15.9	72
27	Tabasco	2 334 493	24 738	94.4	17
28	Tamaulipas	3 461 336	80 175	43.2	43
29	Tlaxcala	1 242 734	3 991	311.4	60
30	Veracruz de Ignacio de la Llave	7 923 198	71 820	110.3	212
31	Yucatán	2 064 151	39 612	52.1	106
32	Zacatecas	1 550 179	75 539	20.5	58
	Total	118 395 054	1 959 248	60.4	2 457

Fuente: INEGI 2008. Marco Geoestadístico Nacional y CONAPO 2014. Proyección de la Población 2010-2050.

MAPA 1 DIVISIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



Fuente: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad; Portal de Geoinformación.

La precipitación en el país es variable, la zona noreste y centro del país, cubriendo dos terceras partes del territorio, se considera árida o semiárida, con precipitaciones anuales menores a los 500 milímetros, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 milímetros por año (CONAGUA, 2014), como se muestra en el mapa 2.

MAPA 2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL 1903-2011



Fuente: Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS).

CAPÍTULO 1

En México, el organismo encargado de administrar y preservar las aguas nacionales es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que además de ser un órgano administrativo también cumple con funciones normativas, técnicas y consultivas.

Para fines de administración y preservación de las aguas nacionales, a partir de 1997 el país se ha dividido en trece Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, pero sus límites respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica (CONAGUA, 2014). La tabla 2 muestra los datos generales de las trece RHA existentes en México.

TABLA 2 DATOS ASOCIADOS A LAS REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS

Clave	RHA	Ciudad sede	Población 2013 (millones de habitantes)	Superficie continental (km ²)	Densidad de población 2013 (hab/km ²)	Municipios y delegaciones (número)
I	Península de Baja California	Mexicali, Baja California	4.29	145 385	29.5	11
II	Noroeste	Hermosillo, Sonora	2.76	205 218	13.5	78
III	Pacífico Norte	Culiacán, Sinaloa	4.42	152 013	29.1	51
IV	Balsas	Cuernavaca, Morelos	11.56	119 248	97.0	420
V	Pacífico Sur	Oaxaca, Oaxaca	4.99	77 525	64.3	378
VI	Río Bravo	Monterrey, Nuevo León	12.00	379 552	31.6	144
VII	Cuencas Centrales del Norte	Torreón, Coahuila	4.47	202 562	22.0	78
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	Guadalajara, Jalisco	23.60	190 367	123.9	332
IX	Golfo Norte	Ciudad Victoria, Tamaulipas	5.19	127 166	40.8	148
X	Golfo Centro	Jalapa, Veracruz	10.40	104 790	99.2	432
XI	Frontera Sur	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	7.48	101 231	73.9	137
XII	Península de Yucatán	Mérida, Yucatán	4.43	137 753	32.2	127
XIII	Aguas del Valle de México	México, Distrito Federal	22.82	16 438	1 388.0	121
Total			118.40	1 959 248	60.4	2 457

Fuente: CONAGUA 2014, Atlas del Agua en México 2014.

Los municipios que conforman cada una de esas RHA se indican en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los organismos de cuenca publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 1 de abril de 2010, el mapa 3 muestra la extensión de cada una de las RHA.

MAPA 3 REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS



Fuente: CONAGUA 2007.

1.2.2 ESCENARIO SOCIOCULTURAL

En México, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), de los 2457 municipios y delegaciones existentes en la república Mexicana, 2411 de los municipios cuentan con servicio de agua potable, 43 de ellos no cuentan con dicho servicio y en los 3 municipios restantes no se cuentan con información al respecto de su situación.

De acuerdo con el Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2010) en México existen un total de 25 360 800 viviendas particulares habitadas que cuentan con el servicio de agua potable¹ y que el 8.63% de la población en México habita en viviendas que no cuenta con acceso al agua entubada, siendo las comunidades marginadas las más afectadas.

El Consejo Nacional de Población (CONAPO), encargado de medir las carencias de la población y las consecuencias que esto acarrea, define a la marginación como “un fenómeno multidimensional y estructural originado, en última instancia, por el modelo de producción económica expresado en la desigual distribución del progreso, en la estructura productiva y en la exclusión de diversos grupos sociales, tanto del proceso como de los beneficios del desarrollo” (CONAPO, 2011).

Para lograr plasmar el fenómeno de la marginación en una escala fácil de usar y entender el CONAPO creó el Índice de Marginación el cual describe de la siguiente manera “el índice de marginación es una medida-resumen que permite diferenciar entidades y municipios del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la

¹ Cobertura de agua potable incluye a las personas que tienen agua entubada dentro de su vivienda; fuera de la vivienda pero dentro del terreno, de la llave pública, o bien de otra vivienda.

CAPÍTULO 1

residencia en localidades pequeñas” (CONAPO, 2011). El Índice de Marginación mide el grado de atraso en cuatro dimensiones estructurales, estas son: educación, vivienda, distribución de la población e ingresos por trabajo, en total se cuenta con nueve formas de exclusión. La tabla 3 muestra los resultados del Índice de Marginación 2010, expresados cuantitativamente como Grado de Marginación para los municipios de cada entidad federativa, también véase el mapa 4.

TABLA 3 MUNICIPIOS POR ENTIDAD FEDERATIVA, SEGÚN SU GRADO DE MARGINACIÓN 2010

Entidad federativa	Total	Grado de Marginación				
		Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Aguascalientes	11	—	—	4	5	2
Baja California	5	—	—	—	—	5
Baja California Sur	5	—	—	—	2	3
Campeche	11	—	2	7	1	1
Coahuila de Zaragoza	38	—	—	5	17	16
Colima	10	—	—	2	4	4
Chiapas	118	48	39	29	1	1
Chihuahua	67	11	3	12	26	15
Distrito Federal	16	—	—	—	1	15
Durango	39	5	—	23	8	3
Guanajuato	46	1	2	30	7	6
Guerrero	81	43	18	16	4	—
Hidalgo	84	7	14	35	19	9
Jalisco	125	4	1	48	51	21
México	125	2	10	39	36	38
Michoacán de Ocampo	113	9	8	75	17	4
Morelos	33	—	—	20	8	5
Nayarit	20	3	—	8	5	4
Nuevo León	51	—	1	6	20	24
Oaxaca	570	216	144	171	28	11
Puebla	217	38	62	102	12	3
Querétaro	18	—	4	8	3	3
Quintana Roo	9	—	—	3	3	3
San Luis Potosí	58	4	16	31	5	2
Sinaloa	18	1	1	8	4	4
Sonora	72	—	1	18	28	25
Tabasco	17	—	—	12	4	1
Tamaulipas	43	1	2	22	7	11
Tlaxcala	60	—	—	21	30	9
Veracruz de Ignacio de la Llave	212	38	56	88	20	10
Yucatán	106	10	23	68	4	1
Zacatecas	58	—	1	33	21	3
Nacional	2 456	441	408	944	401	262

Fuente: CONAPO 2011. Índice de Marginación 2010.

MAPA 4 GRADO DE MARGINACIÓN POR MUNICIPIO



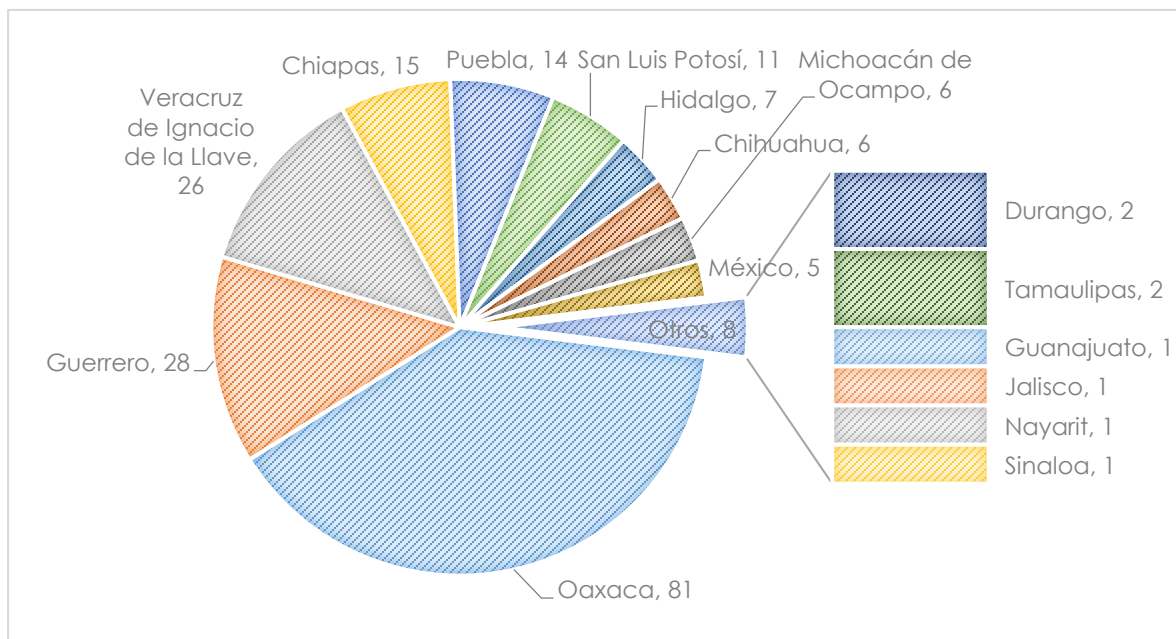
Fuente: CONAPO, 2011.

En el apartado de vivienda se cuenta con una forma de exclusión llamada *viviendas particulares habitadas sin agua entubada* y el indicador que se estima es el *porcentaje de ocupantes en viviendas particulares habitadas sin agua entubada*, la carencia en este indicador reduce la calidad de vida de los habitantes pues como lo indica este mismo organismo; “la ausencia de agua entubada perjudica la salud y potencia la presencia de enfermedades gastrointestinales, dérmicas y respiratorias; y además dificulta las labores domésticas; así mismo, la necesidad de allegarse del recurso desde grandes distancias puede consumir grandes cantidades de trabajo familiar” (CONAPO, 2004).

Realizando las consideraciones respecto a esta medida (deficiencia en abastecimiento/acceso al agua entubada) y el grado de marginación se desprende que del total de municipios en México, existen 207 con una proporción mayor al 40% de habitantes sin agua entubada con grados de marginación alto y muy alto, estos municipios se sitúan en los Estados que se indican en la figura 1.

CAPÍTULO 1

FIGURA 1 MUNICIPIOS CON UNA PROPORCIÓN MAYOR AL 40% DE HABITANTES SIN AGUA ENTUBADA



Fuente: Elaboración propia con datos de Índice de Marginación 2010 (CONAPO 2011).

De esta figura se desprende que la distribución se concentra en los estados de Oaxaca con 81 municipios, Guerrero con 28, Veracruz con 26 y Chiapas con 15, todos ellos situados al sureste del país zona considerado como húmeda con precipitaciones promedio que superan los 2000 mm por año, mientras que el promedio nacional es de 760 mm (CONAGUA, 2014), ello indica que en principio, el agua que precipita en los municipios de estos estados podría ser aprovechada como un método alternativo de abastecimiento y así subsanar las deficiencias existentes de este servicio.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La falta de agua en las comunidades es un problema de carácter humano ya que además de incidir directamente en la salud de las personas genera problemas adicionales tales como: altos costos sociales², aumento de la pobreza rural, migración de habitantes, avance de las fronteras agrícolas y en consecuencia una mayor afectación ambiental.

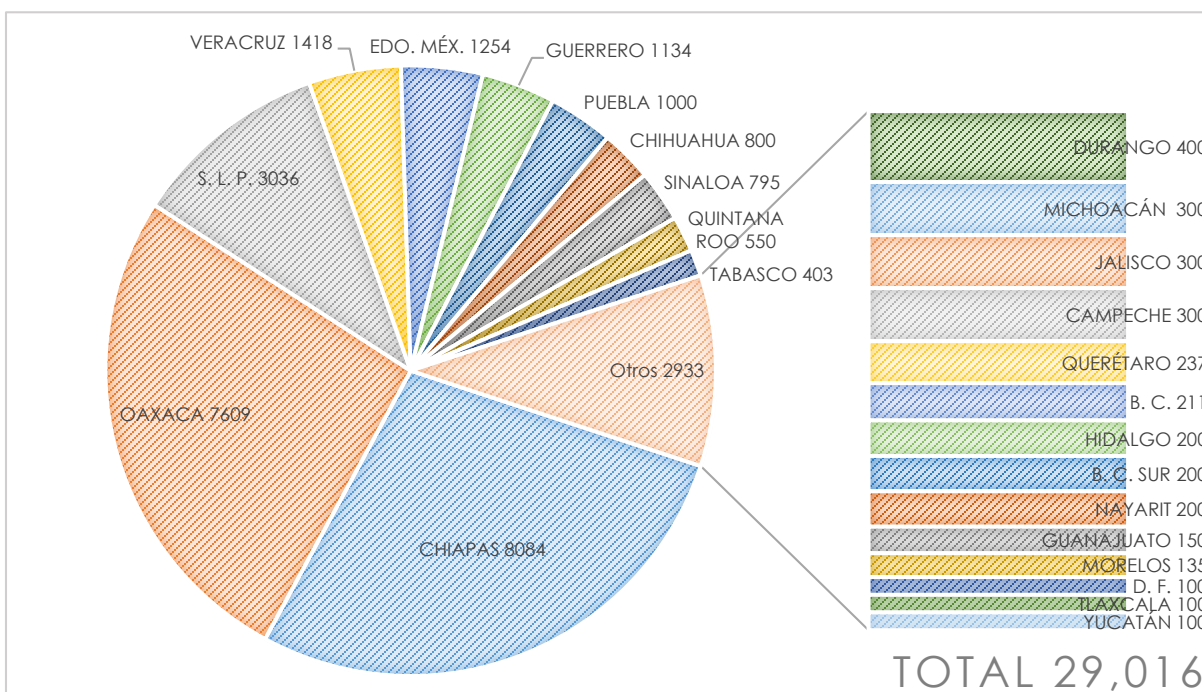
Si bien han existido intentos oficiales de implementación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, SCALL, con el objetivo de aminorar la escasez de agua y facilitar el acceso de la misma a las personas que habitan en comunidades marginadas (SEDESOL Licitación Pública Nacional Mixta a Plazos Reducidos No. LA-020000999-N20-2014) existen interrogantes sobre la efectividad de este método que necesitan resolverse, existe incertidumbre sobre la localización de las comunidades más aptas y la cantidad y características necesarias de los sistemas a instalar, la falta de un análisis técnico sobre la

² Concepto macroeconómico que consiste en el beneficio que deja de percibir la sociedad o el gravamen que ella sufre por la ejecución de una determinada actividad económica proveniente del Estado o de los particulares.

efectividad de los SCALL resta credibilidad a una técnica que probablemente pueda resarcir las deficiencias que aún existen en el país en materia de agua potable.

De la lista de comunidades que se dio a conocer en el Anexo 1 de la Licitación No. LA-020000999-N20-2014 se puede observar que la mayor concentración de sistemas de captación (véase figura 2) se encuentra en la región sur y sureste del país, que aunque presenta la mayor cantidad de recursos hídricos también presenta la mayor cantidad de comunidades marginadas del país.

FIGURA 2 NÚMERO DE SCALL POR ESTADO DE ACUERDO CON LA PROPUESTA DE SEDESOL



Fuente: Elaboración propia con datos de Licitación Pública Nacional Mixta a Plazos Reducidos No. LA-020000999-N20-2014.

Sin un análisis técnico que respalde la designación de estos sitios como favorables para la implementación de SCALL como fuente de abastecimiento esta técnica quedará relegada por carecer de sustento, aun si el resultado hubiese sido favorable debido a los altos niveles de precipitación presentes en la zona sur y sureste del país.

El problema queda entonces reducido a la falta de lineamientos a seguir para determinar la utilidad de un sistema de captación de agua de lluvia, se puede creer que por ser un método alternativo será exitoso en cualquier comunidad, sin embargo, se pierde de vista que la captación de agua de lluvia en los techos es posible, no hay duda, en la medida que siempre es posible captarla y almacenarla, pero la cuestión es si es conveniente como forma de suministro generalizada desde el punto de vista económico, así como la aceptación de este método por la población una vez considerandos los beneficios socioeconómicos y ambientales que pueda generarles este método de abastecimiento.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

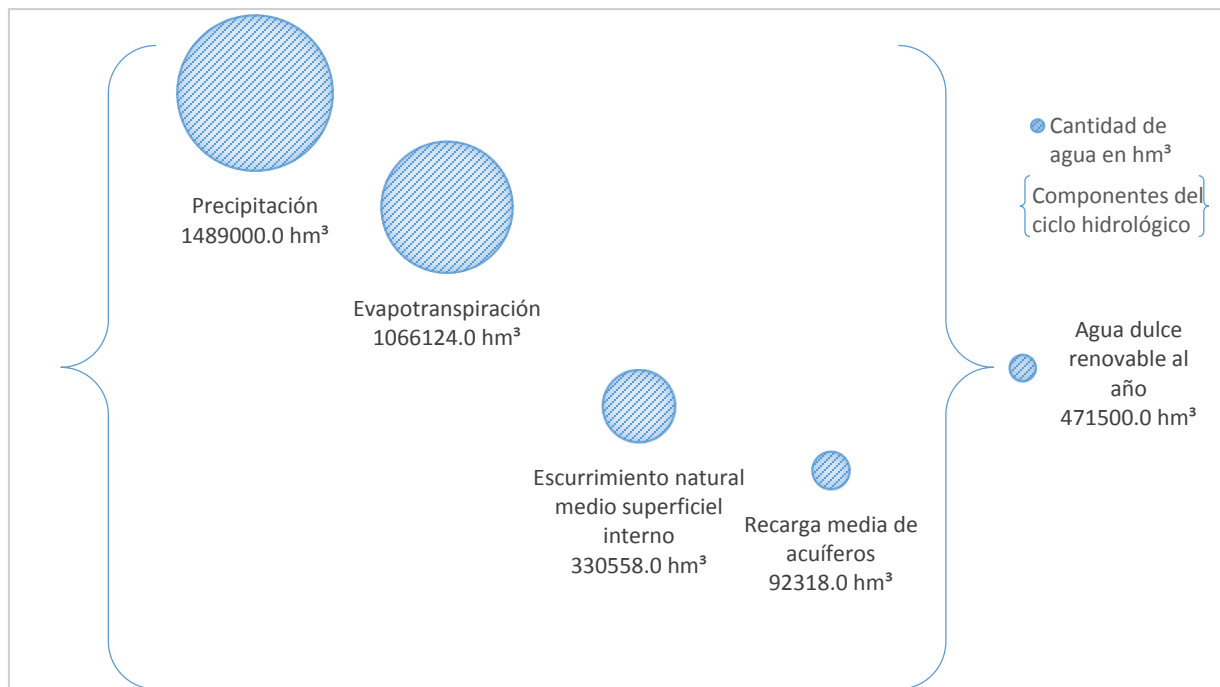
2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MÉXICO

La disponibilidad de agua depende de la dinámica del ciclo hidrológico³ pues refleja un balance de los procesos de evaporación, precipitación, transpiración y escurrimiento, los cuales dependen del clima, las características del suelo, la vegetación y la ubicación geográfica.

El concepto de disponibilidad de agua se refiere al volumen total de líquido que hay en una región, anualmente México recibe alrededor de 1 489 000 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. Se estima que el 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera. El 22.2% escurre por ríos y arroyos, donde adicionalmente se tienen entradas y salidas con los países vecinos. El 6.2% restante se infiltra y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las entradas y salidas de agua con países vecinos, se cuenta con 471.5 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable al año, a lo que se denomina también disponibilidad natural media (CONAGUA, 2014), véase la figura 3.

FIGURA 3 COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO MEXICANO (VALORES MEDIOS ANUALES)



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2014. Atlas del Agua en México 2014.

³ De acuerdo con el Glosario Hidrológico Internacional (OMM/UNESCO, 2012) el ciclo hidrológico se define como: Sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la Tierra y en su retorno a la misma: evaporación del agua del suelo, del mar y de las aguas continentales, condensación en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación.

CAPÍTULO 2

Para saber la cantidad existente para cada habitante, el volumen de agua es dividido entre el número de personas de una población, este valor se conoce como agua renovable per cápita, este valor es inversamente proporcional al número de habitantes.

De acuerdo con el Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2010) el cálculo de la disponibilidad natural media de agua, debe analizarse desde tres perspectivas:

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL.

En México existen grandes variaciones de agua renovable a lo largo del año debido principalmente a que la mayor parte de lluvia acontece en verano, mientras que el resto del año es comparativamente seco.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.

En algunas regiones del país ocurre precipitación abundante mientras que en otras sucede lo opuesto. La variabilidad en la distribución espacial también se observa en la dinámica del escurrimiento natural, (volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica). El escurrimiento superficial con mayor intensidad ocurre hacia la región de la Frontera Sur, mientras que la menor captación se ubica en la península de Baja California.

ANÁLISIS DEL SITIO.

La problemática del agua y su atención es predominantemente de tipo local. Los indicadores calculados a gran escala esconden las fuertes variaciones que existen a lo largo y ancho del país.

En función de la disponibilidad natural de agua y la población, en México se pueden identificar dos grandes zonas; la primera de ellas que comprende el sur y sureste; y la segunda el norte, centro y noroeste. La disponibilidad natural en la primera de ellas es siete veces mayor que en el resto del país, pero concentra sólo el 23% de la población y genera sólo el 13% del PIB, también en esta zona sucede el 69% del agua renovable.

2.1.1.1 Cuencas

Una cuenca hidrográfica es una unidad morfográfica superficial, que se encuentra delimitada por el curso de un río y sus afluentes (ríos secundarios que alimentan el principal). Abarca desde la zona donde nace el río hasta el lugar donde desemboca (lagos, lagunas y/o el mar). Las cuencas, en general, son delimitadas por cadenas montañosas. Dichas delimitaciones reciben el nombre de parteaguas debido a que ante la presencia de lluvias en esa zona, el agua se precipitará para cada uno de los dos lados, hacia dos cuencas distintas. Las cuencas hidrográficas son consideradas la unidad del territorio fundamental para la planeación y el manejo de los recursos naturales.

La cuenca está conformada por componentes biofísicos (suelo, agua), biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, institucionales, culturales) que están interrelacionados de manera equilibrada, de modo que al verse afectado uno de ellos se ocasiona un desbalance de todo el sistema.

Los criterios establecidos para la delimitación de las cuencas hidrográficas en México fueron señalados en conjunto por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el Instituto Nacional de Ecología y la Comisión Nacional del Agua siendo estos:

1. Las cuencas como unidades morfográficas se delimitaron únicamente por variables topográficas e hidrográficas, presentando consistencia y homogeneidad para todo el territorio nacional.
2. Se delimitaron a partir del tipo de desembocadura que presenta su sistema de cauces habiéndose identificado principalmente tres: exorreica, endorreica y arreica.

- Endorreica: se caracteriza porque todas sus aguas son descargadas hacia un cuerpo de agua interior.
- Exorreica: los escurrimientos confluyen y desembocan en el mar o en un sistema lagunar costero.
- Arreica: no tiene salida hacia el mar ni tampoco drena hacia un cuerpo de agua colector observable (la única cuenca de este tipo en el país se localiza en la península de Yucatán).

2.1.1.2 Regiones Hidrológicas (RH) y Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA)

De acuerdo con la CONAGUA las regiones hidrológicas son áreas territoriales conformadas en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la que se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos. Su finalidad es el agrupamiento y sistematización de la información, análisis, diagnósticos, programas y acciones en relación con la ocurrencia del agua en cantidad y calidad, así como su explotación, uso o aprovechamiento. Normalmente una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas. Los límites de la región hidrológica son, en general, distintos a la división política por estados, Distrito Federal y municipios, véase el mapa 5.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) agrupó las regiones hidrológicas y delimitó trece regiones hidrológico-administrativas con la finalidad de facilitar la administración del agua. Debido a la necesidad de coordinación de la acción gubernamental, los límites de estas trece regiones se ajustaron a límites municipales.

En resumen en México se han identificado 1471 cuencas hidrográficas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el Instituto Nacional de Ecología y la Comisión Nacional del Agua, que para el cálculo de disponibilidad se han agrupado o subdividido en 728 cuencas hidrológicas. Las cuencas se agrupan en 38 regiones hidrológicas, éstas a su vez en 13 regiones hidrológico-administrativas.

MAPA 5 CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO Y LA REGIÓN HIDROLÓGICA A LA QUE PERTENECEN



Fuente: CONAGUA 2007.

CAPÍTULO 2

2.1.2 PRESIÓN SOBRE EL RECURSO

El agua es un recurso vital, a medida que la población y la economía van creciendo aumenta la demanda de agua lo que se ve reflejado en la presión que se ejerce sobre la misma, el grado de presión sobre los recursos hídricos es cuantificado al dividir la extracción del recurso entre el agua renovable o disponible. Para alcanzar metas de sustentabilidad el volumen de agua que se utiliza ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales o de otros tipos (proveniente tanto del escurrimiento superficial como de los mantos acuíferos) no debiera sobrepasar ciertos límites de acuerdo a la disponibilidad existente en cada lugar.

El concepto de presión sobre los recursos hídricos, véase la tabla 4, propuesto por la Comisión para el Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas, es utilizado para cuantificar la proporción de agua utilizada para usos consuntivos respecto a su disponibilidad, las siguientes categorías son utilizadas para clasificar el grado de presión:

- A. Escasa presión, cuando se extrae menos del 10% del agua disponible
- B. Presión moderada, cuando se extrae del 10 al 19%
- C. Presión media fuerte, cuando se extrae del 20 al 40%
- D. Fuerte presión, cuando se extrae del 41 al 100% del agua disponible
- E. Muy fuerte cuando se extrae más del 100%

TABLA 4 GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL AGUA POR REGIÓN HIDROLÓGICA ADMINISTRATIVA

Clave	RHA	Volumen total de agua concesionado (hm ³ /año)	Agua renovable* 2011-2018 (hm ³ /año)	Grado de presión (%)	Clasificación del grado de presión	Recarga media total de acuíferos* (hm ³ /año) 2011-2018
I	Península de Baja California	3 434	4 999	68.7	Alto	1 658
II	Noroeste	6 317	8 325	75.9	Alto	3 251
III	Pacífico Norte	10 228	25 939	39.4	Medio	3 290
IV	Balsas	10 702	22 899	46.7	Alto	5 842
V	Pacífico Sur	1 510	32 351	4.7	Sin estrés	1 551
VI	Río Bravo	9 145	12 757	71.7	Alto	5 900
VII	Cuencas Centrales del Norte	3 761	8 065	46.6	Alto	2 320
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	15 012	35 754	42.0	Alto	9 749
IX	Golfo Norte	5 777	28 115	20.5	Medio	3 969
X	Golfo Centro	4 931	95 124	5.2	Sin estrés	4 705
XI	Frontera Sur	2 241	163 845	1.4	Sin estrés	22 718
XII	Península de Yucatán	3 814	29 856	12.8	Bajo	25 316
XIII	Aguas del Valle de México	4 779	3 468	137.8	Muy alto	2 357
Total nacional		81 651	471 498	17.3	Bajo	92625

* Los cálculos de agua renovable se refieren a valores históricos de acuerdo con la disponibilidad de estudios hidrológicos. El cálculo de agua renovable correspondiente al 2011 consideró un ciclo completo de actualización de datos hidrológicos, por lo que se mantendrá constante para el periodo 2011-2018.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA 2014. Atlas del Agua en México 2014. CONAGUA 2013. Estadísticas del Agua en México Edición 2013.

Se puede observar que el mayor grado de presión sobre los recursos hídricos en el país (137.8%) se presenta en la RHA Aguas del Valle de México, al contar con la menor cantidad de agua renovable de las 13 regiones (3 468 millones hm³/año) y una recarga de agua en acuíferos de 2 357 millones de hm³/año.

A nivel nacional, México experimenta un grado de presión del 17.3% (CONAGUA, 2014), lo cual se considera bajo; no obstante, este valor de presión está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país. Cabe destacar que el cálculo de este indicador a nivel nacional oculta importantes variaciones sub nacionales.

2.1.3 COBERTURA

La CONAGUA considera que la cobertura de agua potable incluye a las personas que tienen agua entubada dentro de su vivienda; fuera de la vivienda pero dentro del terreno, de la llave pública, o bien de otra vivienda. En México el responsable del servicio de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de agua residual recae en los municipios.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, el 90.9% de la población tenía cubierto el servicio de agua potable en ese año, de 1990 a 2010 el abastecimiento de agua potable avanzó en un 12.5%, como se muestra en la tabla 5.

TABLA 5 COBERTURA EN EL SERVICIO DE AGUA POTABLE POR AÑOS CENSALES

Fecha	Disponen de agua entubada en el terreno (%)	Otra forma de abastecimiento (%)	Total (%)
12/03/1990	75.40	3.00	78.40
05/11/1995	83.00	1.60	84.60
14/02/2000	83.30	4.50	87.80
17/10/2005	87.10	2.10	89.20
25/06/2010	87.60	3.30	90.90

Fuente: CONAGUA 2014. Atlas del Agua en México 2014.

El concepto cobertura de agua potable no especifica la periodicidad del servicio, de acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda 2010 del total de viviendas con agua entubada a nivel nacional (25 360 800) sólo poco más del 73% cuenta con este servicio diariamente, mientras que un 14.77% accede al agua cada tercer día, 8.22% lo hace una o dos veces por semana y de manera esporádica un 3.59%, para observar los valores estatales véase la tabla 6.

CAPÍTULO 2

TABLA 6 VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS CON AGUA ENTUBADA Y SU DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL SEGÚN DOTACIÓN DE AGUA POR ENTIDAD FEDERATIVA, 2010

Entidad federativa	Viviendas particulares habitadas con agua entubada	Dotación de agua (%)				
		Diaria	Cada tercer día	1 o 2 veces por semana	Esporádica	No especificado
Aguascalientes	286491	90.69	6.46	1.84	0.85	0.16
Baja California	823813	97.42	1.09	0.38	0.34	0.78
Baja California Sur	168260	49.45	37.35	10.86	1.84	0.51
Campeche	187795	78.83	12.90	4.52	3.56	0.18
Coahuila de Zaragoza	705988	78.56	18.67	1.60	0.78	0.39
Colima	174855	91.33	6.92	1.26	0.39	0.10
Chiapas	806076	44.00	28.65	19.59	7.42	0.34
Chihuahua	901023	95.42	3.37	0.53	0.50	0.18
Distrito Federal	2367139	82.04	8.20	6.55	2.89	0.31
Durango	380757	87.75	7.21	2.87	1.90	0.28
Guanajuato	1175900	83.86	11.65	3.23	1.03	0.23
Guerrero	519867	28.81	25.48	25.62	19.40	0.69
Hidalgo	593739	52.45	28.01	15.91	3.40	0.22
Jalisco	1700804	86.60	8.35	3.48	1.25	0.32
México	3409154	60.75	21.46	11.92	5.53	0.35
Michoacán de Ocampo	955602	56.19	33.32	7.77	2.41	0.31
Morelos	418773	36.45	41.16	18.72	3.25	0.42
Nayarit	262670	60.59	31.77	4.25	3.19	0.20
Nuevo León	1150575	98.13	0.71	0.19	0.25	0.72
Oaxaca	666699	42.15	21.86	22.13	13.40	0.46
Puebla	1148386	34.55	26.07	30.80	8.15	0.42
Querétaro	414263	84.33	9.57	3.81	1.99	0.29
Quintana Roo	326755	95.75	2.54	0.27	0.49	0.95
San Luis Potosí	545321	68.69	19.47	7.74	3.93	0.18
Sinaloa	662040	94.63	3.02	0.82	1.21	0.31
Sonora	691308	93.45	2.85	2.32	1.01	0.36
Tabasco	429166	88.01	5.34	1.60	4.46	0.60
Tamaulipas	839034	95.80	2.32	0.55	0.95	0.39
Tlaxcala	265653	50.70	31.11	12.14	5.76	0.28
Veracruz de Ignacio de la Llave	1564550	70.06	16.22	9.33	3.88	0.51
Yucatán	469540	94.69	2.69	0.75	1.54	0.34
Zacatecas	348804	60.61	23.56	10.41	5.23	0.19
Estados Unidos Mexicanos	25360800	73.04	14.77	8.22	3.59	0.38

Fecha de actualización: martes 20 de noviembre de 2012

Fuente: INEGI 2010. Censo de Población y Vivienda, 2010.

Combinando los datos del Índice de Marginación 2010, generados por el Consejo Nacional de Población, con los datos más actualizados en cuanto a cobertura en el servicio de agua potable y alcantarillado (Semarnat y CONAGUA, 2014), a diciembre de 2013 se registró una cobertura nacional de agua potable del 92.3 por ciento y 90.9 en alcantarillado, se observa que los estados con peor cobertura en cuanto al servicio de agua potable coinciden con grados de marginación altos o muy altos, véase la tabla 7.

TABLA 7 OCUPANTES EN VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA, ÍNDICE Y GRADO DE MARGINACIÓN 2010 POR ESTADOS

Entidad Federativa	Población total 2013*	Población sin servicio		Índice de Marginación escala 0 a 100	Grado de marginación
		Habitantes	%		
Aguascalientes	1 252 024	5 911	0.5	15.23	Bajo
Baja California	3 345 827	183 143	5.6	10.35	Muy Bajo
Baja California Sur	716 006	67 683	9.7	20.14	Bajo
Campeche	869 616	62 490	7.3	43.93	Alto
Chiapas	5 034 748	1 050 248	21.2	84.14	Muy Alto
Chihuahua	3 544 785	146 331	4.3	23.59	Bajo
Coahuila de Zaragoza	2 877 535	60 587	2.1	10.35	Muy Bajo
Colima	696 915	23 424	3.4	18.06	Bajo
Distrito Federal	8 798 081	70 680	0.8	3.04	Muy Bajo
Durango	1 700 760	60 017	3.6	35.8	Medio
Guanajuato	5 676 047	182 205	3.2	35.97	Medio
Guerrero	3 481 166	875 463	25.3	88.72	Muy Alto
Hidalgo	2 800 953	210 009	7.6	48.79	Alto
Jalisco	7 711 396	288 157	3.8	17.08	Bajo
México	16 070 786	1 006 008	6.4	22.86	Bajo
Michoacán de Ocampo	4 481 450	190 454	4.3	45.9	Alto
Morelos	1 860 288	128 064	7.0	28.87	Medio
Nayarit	1 166 759	69 592	6.0	37.28	Medio
Nuevo León	4 912 549	168 284	3.5	5.16	Muy Bajo
Oaxaca	3 903 761	741 797	19.2	80.48	Muy Alto
Puebla	6 013 561	659 913	11.1	49.88	Alto
Querétaro	1 939 915	100 443	5.2	29.04	Medio
Quintana Roo	1 482 721	171 005	11.7	25.76	Medio
San Luis Potosí	2 681 568	327 211	12.3	46.72	Alto
Sinaloa	2 865 254	82 600	2.9	29.13	Medio
Sonora	2 813 969	79 227	2.9	19.67	Bajo
Tabasco	2 326 203	386 325	16.8	44.76	Alto
Tamaulipas	3 421 241	104 886	3.2	19.28	Bajo
Tlaxcala	1 232 830	33 862	2.8	31.48	Medio
Veracruz de Ignacio de la Llave	7 872 160	1 266 027	16.3	57.63	Alto
Yucatán	2 050 778	52 214	2.6	43.7	Alto
Zacatecas	1 540 720	55 917	3.7	36.89	Medio
Estados Unidos Mexicanos	117 142 374	8 910 178	7.7		

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO 2011. Índice de Marginación por entidad federativa y municipios 2010 y Semarnat y CONAGUA 2014. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento Edición 2014.

* De acuerdo con las proyecciones de población con tasas de crecimiento del Consejo Nacional de Población 2010

CAPÍTULO 2

El agua es un recurso de interés esencial para la sociedad, tiene carácter de bien público; por otra parte, debido a que es utilizada en muchos procesos productivos, se vuelve un insumo y un bien básico en la generación de valor. Ambas condiciones con frecuencia entran en controversia y son motivo de conflicto.

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho humano al agua y saneamiento. También reconoció que el agua potable y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos, situación que se requiere resolver en aquellos lugares en donde los sistemas de abastecimiento son deficientes o inexistentes.

2.1.4 LA CANTIDAD DE AGUA DOMICILIARIA Y LA SALUD

La cantidad de agua que se suministra y que se usa en las viviendas es un aspecto sustancial de los servicios de abastecimiento de agua dado que influye en la higiene y, por lo tanto, en la salud pública. La deficiencia en el estado de salud coligada a los déficits de agua y saneamiento aqueja a la productividad y al crecimiento económico, reforzando las desigualdades que caracterizan a los actuales modelos económicos y perpetuando ciclos de pobreza en los hogares vulnerables.

Expertos de la Organización Mundial de la Salud indican que: si bien la necesidad básica de agua incluye el agua que se usa en la higiene personal, no resulta significativo establecer una cantidad mínima ya que el volumen de agua que usen las viviendas dependerá de la accesibilidad, la que se determina principalmente por la distancia, el tiempo, la confiabilidad y los costos potenciales (Howard y Bartram, 2003). Tomando en cuenta estos elementos, estos dos autores decidieron categorizar la accesibilidad en términos del nivel de servicio. La tabla 8 resume el grado en el que los diferentes niveles del servicio pueden atender los requisitos para mantener una buena salud.

TABLA 8 CANTIDAD DE AGUA DOMICILIARIA, NIVEL DE SERVICIO, ACCESO, NECESIDADES ATENDIDAS E IMPACTOS EN LA SALUD

Nivel del Servicio	Medición del Acceso	Necesidades Atendidas	Nivel del Efecto en la Salud
Sin acceso (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/hab · día)	Más de 1000 m o 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo.- no se puede garantizar Higiene.- no es posible (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
Acceso básico (la cantidad promedio no puede superar 20 l/hab · día)	Entre 100 y 1000 m o de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo.- se debe asegurar Higiene.- el lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible; es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente	Alto
Acceso intermedio (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/hab · día)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m o 5 minutos del tiempo total de recolección)	Consumo.- asegurado Higiene.- la higiene básica personal y de los alimentos está asegurada; se debe asegurar también la lavandería y el baño	Bajo
Acceso óptimo (cantidad promedio de 100 l/hab · día y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo.- se atienden todas las necesidades Higiene.- se deben atender todas las necesidades	Muy bajo

Fuente: Howard y Bartram 2003. Domestic water quantity, service level and health, OMS 2003.

De acuerdo con estos autores, los beneficios a la salud pública que ofrece el uso de mayores volúmenes de agua generalmente dan como resultado dos mejoras principales. La primera se refiere a la superación de la falta de acceso básico debido a las distancias y al tiempo de recolección del agua que dan lugar al uso de volúmenes inadecuados para la higiene básica personal y para el consumo humano. La segunda mejora significativa para la salud ocurre cuando se dispone de agua en la vivienda.

Otros beneficios derivados de mejorar el acceso incluyen la disposición de más tiempo, por ejemplo, para el cuidado de niños y la preparación de alimentos, actividades productivas, educación, y muchas otras que pueden ser importantes para el desarrollo.

En relación al acceso al agua potable en los grupos sociales más afectados Howard y Bartram concluyen que: “En la práctica no es fácil distinguir en el nivel domiciliario entre el uso casero del agua y el uso productivo, principalmente en las comunidades urbanas pobres. El uso casero del agua forma parte de las estrategias de supervivencia de los pobres en el nivel domiciliario. El aseguramiento de la calidad adecuada del servicio para mantener el uso productivo de pequeña escala también puede generar beneficios sociales y de salud significativos, por ejemplo, en la producción de alimentos. Por lo tanto, el acceso al agua de calidad adecuada para la actividad productiva de pequeña escala en tales áreas es importante en la lucha contra la pobreza y puede dar lugar a beneficios indirectos pero significativos para la salud”.

De acuerdo con la división de Agua Saneamiento y Salud (ASS) de la Organización Mundial de la Salud se consideran sistemas mejorados de abastecimiento de agua a: conexiones domiciliarias, fuentes públicas de agua, pozos protegidos o fuente protegida y recolección de agua de lluvia. El abastecimiento de agua no mejorado significa tener pozos sin protección, fuentes no protegidas, abastecimiento de agua a través de vendedores o agua embotellada.

Mientras que la cantidad de agua recibida es un aspecto fundamental la calidad del agua que se recibe no puede dejarse de lado, según informes de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud la mala calidad del agua y el saneamiento irregular afectan gravemente el estado sanitario de la población; sólo el consumo de agua contaminada causa cinco millones de muertes al año (UNESCO, 2006).

Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable; enfermedades como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua; la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua; el ahogamiento y otros daños, y enfermedades como la legionelosis transmitida por aerosoles que contienen microorganismos.

El acceso a agua potable y servicios de saneamiento adecuados ha demostrado ser una de las maneras más eficaces de mejorar la salud humana. La Organización Mundial de la Salud ha estimado los costos económicos evitados por diversos niveles de inversión en servicios de agua y saneamiento: cada 1 USD⁴ invertido en la mejora de abastecimiento de agua y saneamiento arroja ganancias de 4 a 12 USD, dependiendo del tipo de intervención.

La baja calidad del agua incurre en muchos costos económicos: la degradación de los servicios ambientales de los ecosistemas; costos relacionados con la salud; impactos en actividades económicas

⁴ USD; código de caracteres para dólares estadounidenses de acuerdo con el estándar internacional ISO 4217

CAPÍTULO 2

como la agricultura, la producción industrial y el turismo; aumento de los costos de tratamiento de agua; y la reducción de los valores de propiedad, entre otros.

El acceso al agua potable y a servicios de saneamiento adecuados es vital para la salud humana, pero tiene otros beneficios significativos que van desde los fácilmente identificables y cuantificables (costos evitados o ahorro de tiempo) a la más intangible (comodidad, bienestar, dignidad, la privacidad, la seguridad, etcétera).

2.1.5 MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La sustentabilidad del manejo del agua se entiende como el reto de definir, de la manera más adecuada, cuáles son los umbrales y límites de disponibilidad y las formas de intervención en los ecosistemas de agua dulce y en los acuíferos para satisfacer la necesidad de agua de la sociedad, sin afectar las posibilidades de bienestar de las generaciones futuras, garantizando un correcto funcionamiento de los ecosistemas naturales.

Una de las principales bases en la construcción de este concepto hacia la sustentabilidad fueron los principios de Dublín, véase el Cuadro 1, emanados de la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente en 1992. Dichos principios se produjeron durante el debate más grande ocurrido en el mundo sobre la vinculación entre el desarrollo y el medio ambiente, culminando en la Cumbre de Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en 1992 en donde se acordó la llamada Agenda XXI que consistía en un plan de acción exhaustivo que habría de ser adoptado universal, nacional y localmente por organizaciones del Sistema de Naciones Unidas, Gobiernos y Grupos Principales de cada zona en la cual el ser humano influya en el medio ambiente.

CUADRO 1 PRINCIPIOS DE DUBLÍN

1. El agua dulce es un recurso vulnerable y finito, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
2. El desarrollo y manejo del agua debe estar basado en un enfoque participativo que involucre a usuarios, planificadores y realizadores de política en todos los niveles.
3. La mujer desempeña un papel central en la provisión, el manejo y la protección del agua.
4. El agua posee un valor económico en todos sus usos competitivos y debería ser reconocido como un bien económico.

Fuente: Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), Dublín 1992.

A partir de los principios de Dublín y de la Agenda XXI, y durante el transcurso de las siguientes reuniones mundiales se fueron consolidando las orientaciones para la formulación de estrategias y la ejecución de acciones para el manejo sustentable del agua, lo cual ha dado origen al concepto de Manejo integral de los recursos hídricos.

El manejo integral de los recursos hídricos (MIRH) no es un concepto finalizado ni tiene una definición única, y cada nación lo va adoptando y concretando en función de sus condiciones particulares. La Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) lo define como un proceso que promueve el manejo y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

De acuerdo con Carabias y Landa, 2005 “La importancia del MIRH radica en que reconoce todos los componentes de la sustentabilidad: el ambiental, el social y el económico. Se incluyen varias dimensiones: la interacción del ciclo hidrológico con los demás recursos naturales y ecosistemas; la integración en el ciclo hidrológico del agua superficial, subterránea y costera; la vinculación entre el agua que circula por la biomasa de la vegetación y se evapotranspira, y la que fluye por cauces de agua y acuíferos; la interdependencia del sistema humano y el natural; la relación entre la disminución de la calidad del agua y su disponibilidad jurídica; la integración de las variables sociales, económicas y ambientales; la interacción de los intereses de los usuarios aguas arriba con los de aguas abajo, o los de un país con otros con los que comparte cuencas, y la integración de los diferentes sectores involucrados: salud, alimentación, desarrollo económico y social, entre otros.”

2.1.6 CLIMA Y PRECIPITACIÓN EN MÉXICO

De acuerdo con García de Miranda, 1988 el *clima* es un aspecto del ambiente general al cual una especie animal o vegetal es inevitablemente expuesta todo el tiempo, cuyos principales elementos son la temperatura, la precipitación y humedad, dirección y fuerza del viento, radiación solar y nubosidad, y la presión atmosférica. En el país existen una gran diversidad de climas, los cuales, de manera muy general de acuerdo con esta misma autora pueden clasificarse según su temperatura, en cálido, templado y frío; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en húmedo, subhúmedo y seco.

La importancia de la precipitación, como componente del clima, reside en su correlación inmediata con la disponibilidad de agua. Es por medio de la lluvia, y los procesos asociados al ciclo hidrológico, que año con año se dispone de agua en el país para la mayoría de las actividades que realizamos, esta agua disponible es esencial en la determinación de la productividad asociada a actividades como la agricultura, la generación de energía eléctrica, la industria y para situaciones de carácter social relacionadas principalmente con la disponibilidad para uso domiciliario y el abastecimiento público de la misma.

El clima de la República Mexicana es de tipo monzónico, es decir, exhibe dos estaciones claramente diferenciadas, una cálida y húmeda, (de mayo a octubre) y otra fría y seca (de noviembre a abril). En la mayor parte del país, el 80% de la lluvia sucede en verano y el resto en el invierno, mientras que en el extremo noroeste del territorio nacional el régimen de precipitación es de tipo mediterráneo en el cual las lluvias más importantes se presentan durante los meses de invierno.

De acuerdo con Madery y Carrillo, 2005 la precipitación aumenta con una dirección norte-sur, sin embargo, el relieve produce un efecto muy importante en el resultado de esta distribución. La altura media anual de la lluvia varía de menos de 50 mm a más de 4000 mm.

De acuerdo con el Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2010) la distribución de la precipitación en el país se da de la siguiente manera:

En el territorio nacional se distinguen cuatro áreas con precipitación mayor de 4000 mm al año: la región situada inmediatamente al norte del paralelo 20° N (laderas de las sierras de Teziutlán y Zacapoaxtla, en Puebla), la situada al sur del paralelo 18° N (sierras de Juárez y de Villa Alta en Oaxaca), sobre las pendientes de la Sierra de los Tuxtlas que se inclina al Golfo de México y en la vertiente de las montañas del norte de Chiapas (...) La precipitación con valor medio de 1100 mm que llega a máximos de 3000 mm, se registra en la zona costera del Golfo de México, en la porción comprendida entre el puerto de Tampico y la ciudad de Campeche, desde la orilla del mar hasta alcanzar las cimas altas de la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre de Oaxaca y Meseta Central de Chiapas.

Por otro lado, la porción noreste de la llanura costera del Golfo de México recibe entre 350 y 850 mm de lluvia al año, es considerablemente más seca que la parte sur de la llanura costera debido a la naturaleza divergente del aire que domina sobre el área (...) La precipitación es más abundante, en general, del lado del Golfo que del lado del Pacífico, pues mientras la costa del Golfo tiene en una gran extensión precipitaciones mayores de 2000 mm, la del Pacífico recibe menos de 2000 mm. Hay, sin embargo, otra zona de lluvia muy abundante (mayor de 3500 mm) situada en la vertiente del Pacífico, la de la porción sureste de la Sierra Madre de Chiapas; aquí la precipitación tan abundante está asociada a la influencia de los ciclones tropicales tanto del Pacífico como del Golfo de México y, en parte, a la presencia en verano de la Zona Intertropical de Convergencia que alcanza a esta porción del país.

La parte norte de la Altiplanicie es una zona enorme de escasa precipitación (...) la zona más árida, con menos de 300 mm de lluvia al año, se extiende en la parte norte central de esta región y abarca desde la frontera con Estados Unidos hasta las inmediaciones del paralelo 24° N. La precipitación aumenta ligeramente sobre las laderas de las sierras que limitan a la Altiplanicie, como son las vertientes interiores de las sierras Madre Occidental y Oriental, en donde se registran entre 400 y 600 mm anuales, lo mismo que las sierras transversales; en las sierras aisladas que surcan la Altiplanicie llega hasta unos 400 o 500 mm. La parte sur de la Altiplanicie Mexicana es menos seca, tiene de 600 a 1000 mm de lluvia al año; en general, son lluvias de convección y orográficas.

La parte más seca del país es la porción noroeste de la llanura costera del Pacífico en los estados de Sonora y Sinaloa, tiene una altitud inferior a 200 m y sus vientos dominantes son descendentes y secos, hay zonas como la próxima al Río Colorado con menos de 50 mm de lluvia al año. La Península de Baja California es otra de las porciones del país con escasa precipitación ya que tiene menos de 300 mm al año, exceptuando las partes más altas de las sierras que la recorren en toda su longitud en donde caen entre 400 y 600 mm al año. La temporada lluviosa en la vertiente del Pacífico al norte del paralelo 26° N es durante el invierno (...)

En la región centro del país existen contrastes muy marcados de humedad entre los valles y las partes altas de las montañas, predominan precipitaciones del orden de 800 a 1000 mm anuales en el Bajío y en el fondo de las cuencas del Eje Volcánico. La lluvia aumenta hacia el sur al aumentar la altitud: en las sierras Nevada, de las Cruces y Ajusco se reciben más de 1200 mm anuales; en estas sierras los movimientos convectivos del aire y el ascenso orográfico favorecen dicho aumento. Sobre las partes más elevadas de las montañas del centro, oeste y sur del país la precipitación es, en general, mayor de 1000 mm al año.

2.1.7 PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL

Para conocer el valor medio de la precipitación en el país la CONAGUA utiliza el concepto de precipitación pluvial normal, cuya definición oficial es “la precipitación normal es el promedio calculado de un periodo uniforme con al menos 30 años de registro de información. Para el periodo 1971-2000, la precipitación normal promedio del país fue 760 milímetros anuales (CONAGUA, 2014).”

La distribución en las RHA es bastante irregular, siendo las regiones III, IV, V, VIII, IX, X, XI, y XII las que presentan una distribución por arriba del promedio nacional, siendo áreas muy húmedas en las vertientes del Pacífico sur y Golfo de México al suroeste, sur y sureste. Mientras que por debajo de la media nacional se encuentran las regiones I, II, VI, VII y en menor medida la XIII, véase la tabla 9.

TABLA 9 PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL (mm) MENSUAL POR REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA, PERIODO 1971-2000

Clave	RHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
I	Península de Baja California	23	22	17	4	1	1	9	23	24	12	12	21	169
II	Noroeste	25	23	13	5	5	18	111	107	56	28	20	33	445
III	Pacífico Norte	27	12	5	5	8	62	188	193	136	54	29	28	747
IV	Balsas	15	5	6	14	52	186	198	192	189	83	16	7	963
V	Pacífico Sur	9	8	8	20	78	244	205	225	249	111	21	9	1 187
VI	Río Bravo	16	12	10	16	31	50	75	81	81	36	15	17	438
VII	Cuencas Centrales del Norte	16	6	5	12	27	59	87	86	72	32	13	15	430
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	22	6	3	6	23	131	201	185	150	59	18	12	816
IX	Golfo Norte	27	17	21	40	76	142	145	130	176	82	30	29	914
X	Golfo Centro	45	34	30	41	85	226	255	253	281	161	88	61	1 558
XI	Frontera Sur	60	52	38	52	135	278	219	266	332	222	114	77	1 846
XII	Península de Yucatán	48	31	29	38	83	172	158	173	212	147	76	52	1 218
XIII	Aguas del Valle de México	10	8	13	28	56	105	115	104	98	50	13	7	606
Total nacional		25	17	13	18	41	105	136	140	136	70	31	27	760

Fuente: CONAGUA 2014. Atlas del Agua en México 2014.

De acuerdo con la misma fuente el déficit de precipitación se acentúa principalmente en la parte centro norte en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango Nuevo León, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Zacatecas y en mayor medida el noroeste del país en Sonora y las Baja Californias, con promedios oscilantes de los 56 mm a los 200 mm anuales de precipitación acumulada anual.

La precipitación, su cantidad y su distribución en el tiempo y el espacio, se convierten en el factor más importante para la captación del agua de lluvia, pues este no puede ser controlado o diseñado a diferencia de la superficie destinada a captación o el sistema que almacenará el agua captada.

2.2 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

2.2.1 DEFINICIÓN

La literatura reporta distintas definiciones sobre lo que es y para qué se usa un sistema de captación de agua de lluvia, en términos generales un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) constituye un medio para interceptar la precipitación con el objetivo de obtener agua, almacenarla y poder disponer de ella para darle un determinado uso, con o sin un tratamiento previo.

De acuerdo Kincade-Levario, 2007 los sistemas de cosecha de agua SCALL pueden ser clasificados como activos y pasivos. Los sistemas activos son aquellos que recolectan la lluvia, la filtran y la almacenan para reusarla (son fácilmente identificables debido a sus componentes; tanques y cisternas, bombas y filtros, etcétera). Los sistemas pasivos son aquellos que no tienen componentes mecánicos para recolectar, limpiar y almacenar el agua, la idea principal en estos sistemas es recolectar el agua en zonas específicas en la topografía para que pueda ser absorbida por el suelo de forma natural (reúso indirecto).

Los SCALL también pueden ser clasificados por su uso, entre las distintas categorías que pueden existir se encuentran: los sistemas para uso humano, sistemas para uso agrícola, acuícola o ganadero, sistemas para recarga de agua hacia los acuíferos, entre otros.

El presente trabajo se enfoca en los sistemas para uso humano, de acuerdo con la Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural de la Organización Panamericana de la Salud “En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan complementar su dieta.” (UNATSABAR, 2001)

La misma fuente aclara que la captación del agua para uso agrícola necesita de mayores superficies de captación, por ello para dichos casos se necesitan implementar amplias superficies impermeables para recolectar la mayor cantidad posible de agua.

2.2.2 RESEÑA HISTÓRICA

De acuerdo con Ballén, Galarza y Ortíz, 2006 diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente (a partir de los 90). Con base en la distribución de restos de estructuras de captación de agua de lluvia en el mundo y el continuo uso de estas obras en la historia, se puede concluir que las técnicas de captación de agua de lluvia cumplen un papel importante en la producción agrícola y en satisfacer las necesidades domésticas, con un uso intensivo en las regiones áridas o semiáridas del planeta.

Colectar y almacenar el agua de lluvia no es una idea nueva o reciente, civilizaciones de distintas culturas han utilizado esta técnica a lo largo de milenios, los ejemplos más antiguos datan de hace poco más de 4000 años en el Desierto de Negev, actualmente en Israel y Jordania, estos sistemas consistían en el desmonte de lomeríos para aumentar el escurrimiento superficial, que era canalizado a predios agrícolas en las zonas bajas (Ballén, Galarza y Ortíz, 2006).

Civilizaciones antiguas, como aquellas que se desarrollaron en partes altas de Yemen ya contaban en el año 1000 a.C. con edificaciones diseñadas con patios y terrazas para la captación y almacenamiento de

agua de lluvia. En la provincia de Gansu, China, existían pozos y jarrones para la captación de agua lluvia desde hace más de 2000 años y en Irán los *Abarbans*, son sistemas tradicionales locales muy antiguos usados para la captación y almacenamiento de agua de lluvia. (Ballén, Galarza y Ortíz, 2006)

Quizás el ejemplo más representativo corresponde a la civilización Romana, durante la República (siglos III y IV a.C.), durante esa etapa la ciudad de Roma consistía casi en su totalidad de viviendas unifamiliares, las cuales contaban con un espacio principal a cielo abierto denominado *Atrio*, en el que se instalaba un reservorio central para recoger el agua lluvia llamado *Impluvium*, el agua de lluvia ingresaba por un orificio en el techo denominado *Compluvium*.

En cuanto a la captación de agua de lluvia en México el libro *Semblanza Histórica del Agua en México* (CONAGUA, 2011) menciona que:

La recolección y el almacenamiento de agua pluvial fueron prácticas comunes en Mesoamérica desde tiempos muy antiguos, fuera en recipientes en depósitos subterráneos, o a cielo abierto. El agua se captaba mediante canales y zanjas, aprovechando el agua rodada (en patios y casas, o en el campo, en jagüeyes, mediante bordos, entre otros), o bien, conduciéndola desde los techos de las viviendas y edificios por medio de canoas o canchilones de madera o pencas o canalitos, a los depósitos. En las viviendas el agua se almacenó en recipientes de barro, enterrados o no, así como en pilas o piletas de barro, cal y canto, piedra, excavados en el suelo, recubiertos o no con piedra o argamasa y estuco.

Entre las tecnologías de almacenamiento subterráneo de agua de lluvia utilizadas en México destacan por su antigüedad; los de San José Mogote (1000 a.C.) y Tierras Largas (1000-900 a.C.), en el estado de Oaxaca. Los *Chultunes* o cisternas mayas, son otro tipo de depósitos subterráneos, los cuales se cuentan por miles en la península de Yucatán y que de acuerdo con el investigador René Zapata (1982) fueron vitales para los asentamientos prehispánicos y que persisten hasta el presente.

Dentro de los depósitos pluviales a cielo abierto se destacan los *Jagüeyes*, que florecieron muy comúnmente en el centro y sur de México, especialmente en zonas áridas y semiáridas donde el nivel freático estaba muy bajo o el suelo era rocoso y resultaba muy difícil alcanzarlo mediante la excavación de pozos. El agua que se canalizaba hacia los *Jagüeyes* provenía de corrientes pluviales o de los escurrimientos de los cerros y techos aledaños.

Tiempo después el aprovechamiento del agua de lluvia menguó a causa de la imposición de métodos y obras para la utilización del agua superficial y subterránea, como ejemplo en la península de Yucatán se dejó de utilizar el agua lluvia ya que la colonización española en el siglo XIV introdujo sistemas de agricultura, animales domésticos, plantas y métodos de construcción europeos.

Situaciones similares se vivieron en el mundo debido a las colonizaciones lo que obligó a los nativos a abandonar las metodologías tradicionales. El incremento poblacional experimentado en el mundo durante los siglos XIX y XX generó un gran crecimiento de las ciudades, las cuales en su mayoría optaron por realizar el suministro de agua a la población por medio de la acumulación de agua superficial para luego ser distribuida por una red centralizada, en otros casos, como la Ciudad de México en una primera instancia, se optó por la explotación del agua subterránea. Sea cual fuere el caso se relegó la posibilidad de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia u otros sistemas alternativos como métodos de abastecimiento para la población.

2.2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

La implementación de un SCALL obedece a la necesidad de agua, la demanda, a los recursos disponibles, la precipitación y el dinero necesario para su construcción principalmente y condiciones locales de cada región. Cuando no existe una red establecida de distribución de agua potable o el suministro es caro o deficiente se busca un método de abastecimiento alternativo. A continuación se muestra un resumen de acciones que se han emprendido para el aprovechamiento de SCALL como método de abastecimiento, véase la tabla 10.

TABLA 10 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL MUNDO

Continente	Acciones
<p>África</p>	<p>Debido a la baja precipitación, el reducido número y tamaño de las cubiertas impermeabilizadas y el alto costo en la construcción de los sistemas en relación a los ingresos familiares (la falta de disponibilidad de cemento y arena, eleva el precio de las instalaciones) esta técnica no se aprovecha en todo su potencial, sin embargo, la recolección de agua lluvia es muy difundida con grandes proyectos en Botswana, Togo, Mali, Malawi, Sudáfrica, Namibia, Zimbabwe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania.</p> <p>Uno de los proyectos más adelantados es el de "Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia de Muy Bajo Costo" el cual se desarrolló con el concurso de varias organizaciones Africanas y el apoyo de Development Technology Unit (Inglaterra).</p> <p>Las prácticas convencionales en muchos países de África de aprovechamiento de agua lluvia son de carácter informal lo que permite tener costos reducidos; obteniendo también una muy baja calidad del agua y una eficiencia del sistema muy baja. Los sistemas formales son promovidos por agencias subsidiarias o adoptadas por familias de clase media con grandes volúmenes de almacenamiento que intenta satisfacer toda la demanda de la casa.</p>
<p>Asia</p>	<p>En respuesta al desabasto de agua la India ha decidido aprovechar las lluvias generadas por el monzón, el monzón es un diluvio breve, allí se dan aproximadamente 100 horas de lluvia por año, durante estas 100 horas debe captar y almacenar el agua para las otras 8,660 horas que constituyen un año.</p> <p>En Bangladesh, la recolección de agua lluvia se ve como una alternativa viable para el suministro de agua segura en áreas afectadas por contaminación con arsénico. Desde 1977, cerca de 1000 sistemas de aprovechamiento de agua lluvia fueron instalados en el país por la ONG <i>Forum for Drinking Water Supply & Sanitation</i>. El agua lluvia almacenada se usa para beber y cocinar, ésta es aceptada como segura y cada vez es más utilizada por los usuarios locales.</p> <p>En la provincia de Gansu, China, donde el agua es muy escasa y la única fuente posible es la lluvia el gobierno local ha implementado el proyecto llamado "121" para captación de agua lluvia, apoyando económicamente a cada familia para construir un campo de recolección de agua, dos almacenamiento y un terreno adecuado para cultivar. Suministrando agua a 1.2 millones de personas (260,000 familias) y 1.18 millones de cabezas de ganado.</p> <p>En Singapur alrededor del 86% de la población vive en edificios departamentales. Los techos de estos edificios son utilizados para la captación de aguas lluvias. El agua lluvia es almacenada en cisternas separadas del agua potable, para darle usos diferentes al de consumo humano.</p> <p>En la ciudad de Tokio, Japón, el aprovechamiento de agua lluvia es promovido para mitigar la escasez de agua, controlar las inundaciones y asegurar agua para los estados de emergencia. A nivel comunitario se implementaron instalaciones en la vía pública que reciben el agua lluvia del techo de la casa, la cual es almacenada en un pozo subterráneo, para extraer el agua se utiliza una bomba manual, el agua colectada es utilizada para el riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, combatir incendios y como agua de consumo en situaciones de emergencia.</p>

Continente	Acciones
	<p>En Tailandia el almacenamiento de agua lluvia proveniente del escurrimiento de los techos en vasijas de arcilla es un sistema apropiado y económico para obtener agua de alta calidad. Las vasijas se consiguen para diferentes volúmenes, desde 1000 hasta 3000 litros y están equipadas con tapa, grifo y un dispositivo de drenaje. El tamaño más popular es 2.000 litros, esta vasija tiene un costo de U\$ 20 y puede suministrar agua lluvia suficiente para una casa con seis personas durante el periodo seco.</p>
<p>América</p>	<p>En Brasil, en la región semiárida del noreste el gobierno y una ONG iniciaron un proyecto para construir un millón de tanques para la recolección de agua lluvia en un periodo de 5 años, para beneficiar a 5 millones de personas. La mayoría de estos tanques fueron hechos con estructuras de concreto prefabricado o concreto reforzado con mallas de alambre.</p> <p>En los barrios Israel Norte y Villa Nueva de Tegucigalpa, Honduras, se pueden encontrar viviendas acondicionadas con precarios sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, algunos faltos de mantenimiento y limpieza. Estos sistemas aún con sus deficiencias logran mejorar el nivel de vida de los habitantes que ponen en práctica las metodologías para aprovechar el agua lluvia.</p> <p>En EUA los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son usados en los siguientes 15 Estados y territorios de los Estados Unidos: Alaska, Hawaii, Washington, Oregon, Arizona, Nuevo México, Texas, Kentucky, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, North Carolina, Virginia, West Virginia y las Islas Vírgenes. Se estima que más de medio millón de personas en los Estados Unidos utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia abasteciéndose de agua para usos doméstico o propósitos agrícolas, comerciales o industriales.</p> <p>En Vancouver, Canadá se provee de un subsidio para la compra de barriles para el aprovechamiento del agua lluvia, como parte de un programa piloto para la conservación del agua.</p>
<p>Europa</p>	<p>En octubre de 1998, los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia fueron introducidos en Berlín, Alemania como parte de un redesarrollo urbano a gran escala, DaimlerChrysler Potsdamer Platz, con el fin de controlar las inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor microclima.</p>
<p>Oceanía</p>	<p>En Australia se utiliza el aprovechamiento de agua lluvia se utiliza como una solución muy común al problema de suministro de agua. En 1994 el Australian Bureau of Statistics realizó un estudio mostrando que el 30.4% de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5% de los hogares en las ciudades utilizan algún sistema de aprovechamiento de agua lluvia, también se indica en el estudio que el 13% de las casas donde se ha implementado un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, el agua se utiliza para beber y cocinar.</p> <p>La mayoría de las pequeñas islas en el planeta tienen un vegetación exuberante y climas cálidos con mucha humedad, pero las corrientes de agua superficial suelen ser escasas, por ello las poblaciones ubicadas en dichos territorios tienen problemas de abastecimiento de agua potable por ello utilizan los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia como su forma de suministro, es te el caso de: Los Estados Federados de Micronesia, Rapa-Nui, Bermudas, Islas Vírgenes, Hawái, San Andrés entre otras.</p>

Fuente: Adaptación libre a partir de *Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia* (Ballén Suárez, Galarza García, y Ortiz Mosquera, 2006).

2.2.3.1 *Escenario legal en México*

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 27 establece que la propiedad de las tierras y las aguas comprendidas dentro del territorio nacional, corresponde originariamente a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo así la propiedad privada, en el párrafo quinto de este artículo se establece que:

“Son propiedad de la Nación las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fije (sic DOF 20-01-1960) Derecho Internacional; las aguas marinas interiores; las de las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar; las de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes; las de los ríos y sus afluentes directos o indirectos, desde el punto del cauce en que se inicien las primeras aguas permanentes, intermitentes o torrenciales, hasta su desembocadura en el mar, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional; las de las corrientes constantes o intermitentes (sic DOF 20-01-1960) y sus afluentes directos o indirectos, cuando el cauce de aquéllas en toda su extensión o en parte de ellas, sirva de límite al territorio nacional o a dos entidades federativas, o cuando pase de una entidad federativa a otra o cruce la línea divisoria de la República; la de los lagos, lagunas o esteros cuyos vasos, zonas o riberas, estén cruzadas por líneas divisorias de dos o más entidades o entre la República y un país vecino, o cuando el límite de las riberas sirva de lindero entre dos entidades federativas o a la República con un país vecino; las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de los lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, y las que se extraigan de las minas; y los cauces, lechos o riberas de los lagos y corrientes interiores en la extensión que fija la ley. Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos; el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional. Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los Estados.”

Queda entendido de acuerdo al texto anterior que el agua pluvial que precipite dentro de la República Mexicana y no alcancen los ríos y sus afluentes, lagunas, lagos o el mar no forman parte de las aguas incluidas en el listado y por ello la ley no tiene injerencia sobre el agua pluvial que se lleguen a cosechar y que éstas se consideran parte de los terrenos por donde corren.

La Ley de Aguas Nacionales es reglamentaria del artículo 27 constitucional, fue publicada en 1992 y rige y reglamenta las aguas nacionales del país, es de observancia general y sus disposiciones son de orden público e interés social, en ella no se hace ninguna mención específica sobre la captación de agua de lluvia o su aprovechamiento para usos domésticos.

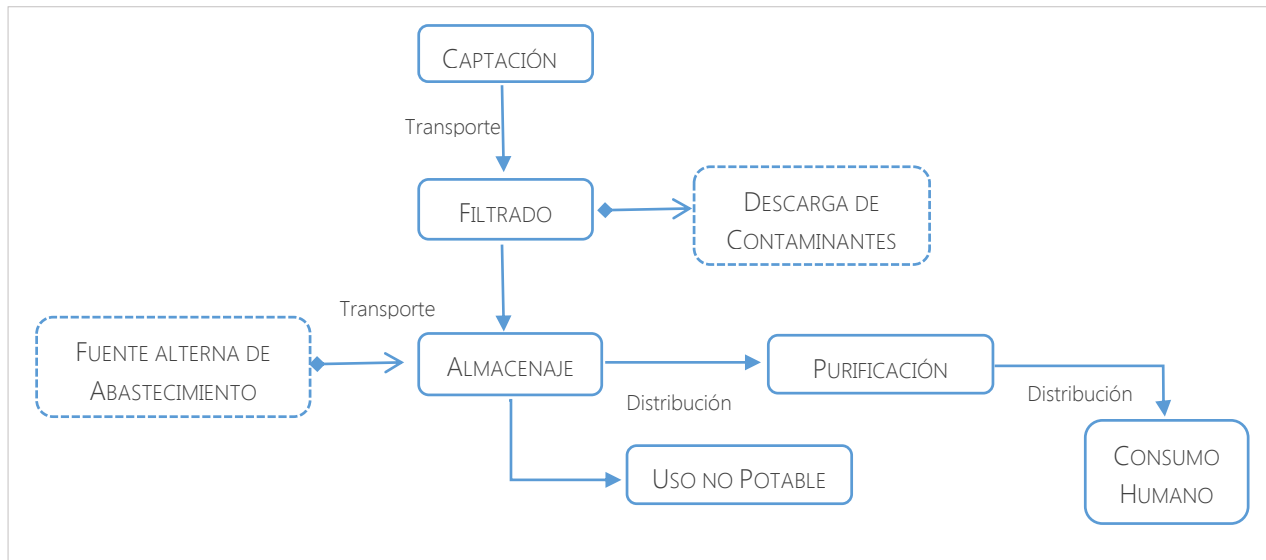
Sin llevar a cabo una búsqueda más exhaustiva se puede notar que la legislación federal no contempla alguna regulación sobre la captación de agua de lluvia en domicilios particulares y se puede entender entonces que no existe un impedimento legal para llevar a cabo captación domiciliaria del agua de lluvia.

2.2.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

De acuerdo con Kinkade-Levario, 2007 los componentes de un sistema SCALL son *Captación, Transporte, Filtración, Almacenaje, Distribución y Purificación*.

El *Área de Captación* es la superficie en donde la lluvia cae, puede ser un techo o una superficie impermeable en el pavimento incluyendo alteraciones topográficas. El *Sistema de Transportación* son artefactos que conducen el agua desde la superficie de captación a la de almacenaje. El *Sistema de Filtrado* remueve contaminantes y basura antes de llegar al área de almacenaje. Posterior a esto, está el *Almacenaje* que puede ser mediante tanques y cisternas. Cuando es requerida el agua, la *Distribución* abastece mediante equipos de bombeo o bien por gravedad. Por último, el *Sistema de Purificación* destila, filtra y desinfecta.

FIGURA 4 ESQUEMA DE LOS COMPONENTES DE UN SCALL



Fuente: Adaptado de Kinkade-Levario 2007. *Design for water, rainwater harvesting, stormwater catchment and alternate water reuse.*

SUPERFICIE DE CAPTACIÓN. Es el área de la superficie, comúnmente una azotea, donde el agua de lluvia se recibe y eventualmente es recolectada.

Para fines no potables el agua de lluvia recolectada puede ser captada por una superficie de cualquier material. En el caso de usos potables los mejores materiales son el concreto y el barro. Es muy importante tomar en cuenta que para consumo humano no se deben de usar techos que contengan recubrimientos de zinc, cobre, asbestos o componentes de asfalto ni que hayan sido pintados con productos fabricados con plomo.

El agua de lluvia es ligeramente ácida, lo que significa que disolverá y acarreará minerales desde el área de captación al sistema de almacenaje. Es necesario tomar en cuenta este detalle para saber que componentes tienen que ser removidos por el sistema de filtrado antes del almacenamiento o conducidos hacia el sistema de drenaje antes del filtrado.

El potencial de cosecha es la cantidad de agua que puede ser efectivamente captada. Sólo un máximo de 90% de la precipitación puede ser captada por un SCALL. La calidad del agua recolectada depende de la textura del material utilizado para captar, el agua incrementa su calidad con materiales de superficie

CAPÍTULO 2

más impermeables. La calidad del agua recolectada también es determinada por la frecuencia de las lluvias, la duración de una tormenta, la cantidad de lluvia y el tiempo transcurrido entre una tormenta y otra son factores que afectan la captación.

SISTEMA DE TRANSPORTE. Son los componentes que llevan el agua desde la superficie de captación al primer filtro y desde éste hacia el sistema de almacenaje.

Un sistema de transportación está conformado por canales y bajante. Estos elementos dirigen la lluvia desde la azotea hacia cisternas o tanques de almacenamiento. Los materiales de las canaletas y las bajantes varían desde diversos plásticos y acero galvanizado hasta aluminio, cobre y acero inoxidable.

Para fines potables, únicamente la tubería de PVC es la adecuada, ya que sólo este tipo de tubería es fabricada con materiales vírgenes o no reciclados que pudieron haber obtenido contaminantes de usos previos. Tuberías recubiertas de aluminio también son aptas para usos potables.

Para evitar el transporte de hojas y basura desde una azotea, es importante la colocación de una rejilla en que cubra toda la canal que recolectará el agua. Las rejillas son importantes ya que reducen la frecuencia en el mantenimiento, eliminan materiales combustibles de la azotea y reducen ambientes para la formación de mosquitos.

FILTRADO. Es el proceso por el cual se reduce la cantidad de basura y contaminantes solubles que pudieran entrar a un SCALL.

Las azoteas al ser áreas expuestas a la intemperie reciben basura, hojas, sedimentos y contaminantes constantemente en su superficie. El agua de lluvia arrastra estos elementos durante cualquier tormenta. El agua que cae al principio de la tormenta arrastra la más alta concentración de desechos y contaminantes. El agua de estos arrastres deberá ser desalojada hacia el sistema de drenaje.

El tamaño de los sistemas de filtrado depende del tamaño de la superficie de captación y el uso final que se la dará al agua. El agua recolectada de una azotea estará más limpia que la recolectada de un patio o pavimento, lo que significa que el filtro no tendrá que ser tan grande.

ALMACENAJE. Las cisternas y los tanques de almacenamiento son aquellos componentes que permiten guardar el agua para un futuro uso.

Los tanques de almacenamiento y las cisternas son los componentes más caros de un sistema SCALL, representan aproximadamente el 90% de la totalidad del costo del sistema. Estos sistemas pueden dividirse en tres tipos: almacenamiento a nivel de superficie, sistemas subterráneos y sistemas integrados a un edificio. Tienen tres partes: la base, las paredes y la cubierta, todas tienen que ser impermeables.

Un tanque o cisterna debe de ser duradero, resistente (empuje del agua), impermeable, limpio, con una superficie adecuada en el interior, debe de usar selladores no tóxicos y tienen que ser fáciles de operar. En zonas marginadas la mejor opción serían tanques de operación manual.

La tapa necesita sellar apropiadamente para prevenir la evaporación, la generación de mosquitos y la intrusión de insectos u otros animales. Los tanques no deben permitir que entre la luz del sol ni que propicien el crecimiento de algas.

Los factores básicos para decidir qué sistema es el mejor para cada proyecto son: las opciones que se presentan en cada localidad (material y mano de obra local), el espacio disponible, la cantidad de agua a ser almacenada (demanda), el costo de construcción y el costo de excavación.

DISTRIBUCIÓN. Es el sistema que lleva el agua desde la zona de almacenaje hasta donde va a ser usada.

El agua almacenada puede ser distribuida por medio de sistemas de bombeo o por gravedad. Es necesario esperar lo suficiente entre una tormenta y el inicio del bombeo, ya que los sedimentos tardan un tiempo en asentarse.

PURIFICACIÓN. El agua destinada para el consumo humano debe de ser purificada.

Un sistema de purificación incluye un proceso de filtración, un proceso de desinfección y algún control de pH y turbiedad. La desinfección solar es un método de tratamiento del agua de muy fácil aplicación (y muy recomendable en zonas rurales) que aprovecha la radiación solar para mejorar la calidad bacteriológica del líquido, tiene las ventajas de ser efectivo, de bajo costo y que no cambia el sabor del agua.

De acuerdo con lo reportado en experiencias en comunidades dispersas de Honduras (Organización Panamericana de la Salud y Grupo Colaborativo de Agua y Saneamiento, 2002) el método de desinfección solar que ellos aplicaron de manera efectiva se describe como:

Este método de desinfección consiste en llenar botellas transparentes con agua, agitarlas manualmente, taparlas y posteriormente colocarlas en un lugar donde reciban los rayos solares (de preferencia sobre una superficie reflectante, tal como una lámina de zinc) durante aproximadamente seis horas o en caso de días nublados, durante dos días. Durante el tiempo de exposición, la radiación ultravioleta (UVA) emitida por el sol, sumada al incremento de la temperatura del agua, elimina las bacterias patógenas presentes en ella. La desinfección solar requiere agua relativamente clara (turbiedad menor a 30 Unidades Nefelométricas de Turbiedad-NTU), por supuesto, este sistema no se recomienda para el tratamiento de grandes cantidades de agua.

De acuerdo con lo reportado en la literatura la calidad del agua de lluvia purificada generalmente es aceptable (sin embargo, existen pocos datos sobre la misma). Es muy importante que a todos los componentes de un sistema SCALL se les dé mantenimiento continuo para evitar que la basura y otros contaminantes tapen el sistema. Para un correcto funcionamiento hay que inspeccionar y reparar partes dañadas.

2.2.5 ENTORNO DE APLICACIÓN

Sobre la aplicación de la captación de agua de lluvia como sistema de abastecimiento Herrera Monroy, 2010 establece que:

La captación de agua de lluvia para consumo humano es recomendada en primera instancia para zonas rurales o urbano marginales, con niveles de precipitación pluviométrica que hagan posible el adecuado abastecimiento de agua de la población beneficiada y que no cuentan con acceso a fuentes superficiales cercanas, y donde el nivel freático de las aguas subterráneas es muy bajo, pero en la actualidad es importante hacer provecho de la captación de agua en todas las zonas pobladas aunque exista un sistema de abastecimiento; considerando así a la captación de agua como un sistema alternativo o complementario de distribución de agua.

La aplicación en grandes ciudades se vuelve muy complicada, en un estudio realizado para determinar la viabilidad de esta alternativa en la Ciudad de México Hesrat y Asociados, 2012 establecen que “la participación de la autoridad en la captación de lluvia en los techos sólo estaría justificada cuando el suministro de agua a los domicilios se hace exclusiva o fundamentalmente con pipas”, continúa discutiendo las ventajas que presenta y sus posibilidades de aplicación “la captación de agua compite en

CAPÍTULO 2

costos con esta forma de abastecimiento (pipas), se estima que en la ciudad de México existen unas 70,000 viviendas en estas condiciones”.

Este autor concluye que “como medida generalizada no está justificada la captación directa de agua de lluvia pues es una forma cara, problemática para el usuario y de alcances reducidos. Efectivamente, si se hiciera la captación de agua de lluvia en todos los techos de la ciudad se podría captar un volumen equivalente al 8% del suministro actual con una inversión, estimada en forma conservadora, de entre 30 y 40 mil millones de pesos”.

Para resumir sus resultados este autor determina que “la captación de agua de lluvia en los techos es posible, no hay duda, en la medida que siempre es posible captarla y almacenarla, y la calidad es de un agua potabilizable por sencillos métodos de tratamiento (filtración y desinfección, etc). Pero la cuestión es si es conveniente desde el punto de vista económico y como forma de suministro generalizada”.

Podemos concluir entonces que las comunidades marginadas carentes de sistemas de abastecimiento de agua potable, situados en zonas de alta precipitación constituyen a los candidatos más probables para los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia como método para garantizar el abastecimiento.

La Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural resume las ventajas y desventajas sobre la captación de agua de lluvia, véase el cuadro 2.

CUADRO 2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none">○ Alta calidad físico química del agua de lluvia,○ Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas,○ Empleo de mano de obra y/o materiales locales,○ No requiere energía para la operación del sistema,○ Fácil de mantener, y○ Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none">○ Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos, y○ La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.
--

Fuente: UNATSABAR 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia.

2.2.5.1 Factibilidad

De acuerdo con UNATSABAR, 2001 en el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales.

FACTOR TÉCNICO

Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

- a) *Producción u “oferta” de agua*; está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia

es altamente recomendable trabajar con datos suministrados por la autoridad competente y normalmente representada por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.

- b) *Demanda de agua*; A su vez, la demanda depende de las necesidades del interesado y que puede estar representada por solamente el agua para consumo humano, hasta llegar a disponer de agua para todas sus necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene de personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines.

FACTOR ECONÓMICO

Al existir una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento, se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa por otras fuentes de agua. Así mismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua.

FACTOR SOCIAL

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. Al efecto, el profesional responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Este análisis debe considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto.

2.3 OBJETIVOS

Existen muchos antecedentes de la utilización del agua de lluvia como fuente de abastecimiento, en México y en el mundo, estudios sobre las ventajas de su utilización y experiencias internacionales de su uso y un interés renovado en el uso de fuentes alternativas de abastecimiento además de compromisos para reducir las deficiencias en materia de acceso al agua potable en México por parte de las autoridades, sin embargo se carecen de estudios para su aplicación en el país, lineamientos que establezcan y fomenten su uso, es por ello que se proponen los siguientes objetivos.

2.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad del uso de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en comunidades marginadas como método de abastecimiento para disminuir el desabasto de agua y reducir la marginación generada por esta carencia.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los municipios con mayor retraso en cuanto al acceso de agua potable y determinar cuáles de ellos se encuentran en las zonas de mayor precipitación del país.

Establecimiento de criterios para garantizar el éxito de la instalación de los sistemas SCALL en las zonas rurales.

CAPÍTULO 2

Determinar la metodología para evaluar los estudios de aplicación de los SCALL para promover el uso de esta alternativa de abastecimiento de agua en comunidades marginadas.

Correlacionar la precipitación con el área de captación requerida para abastecer a una familia promedio en un modelo matemático.

2.4 JUSTIFICACIÓN

Las medidas que se tomen como parte de programas de carácter nacional para combatir la pobreza, el rezago y la marginación de las personas en comunidades aisladas deben de ir acompañadas de un análisis exhaustivo sobre su efectividad pues éstas generaran gastos hacia el erario público y los resultados afectarán directamente la calidad de vida de las personas.

La realización de esta investigación producirá un protocolo que podrá ser aplicable a iniciativas similares, en donde un organismo público establezca mediante una licitación las características que han de cumplir determinados sistemas o equipos que serán instalados con el fin de ayudar a comunidades marginadas en donde el criterio de selección de los beneficiados obedezca a razones de tipo social y no de viabilidad técnica, esto en búsqueda de optimizar los beneficios que obtendrán los usuarios finales como consecuencia de una planificación que contemple los aspectos técnicos y sociales, no para disminuir los presupuestos destinados para este tipo de programa sino para aumentar los beneficios.

Con base en los resultados obtenidos se emitirán recomendaciones para promover el uso de esta alternativa de abastecimiento de agua en comunidades marginadas de manera tal que se optimice su localización o se amplíe el número de sistemas asignados a cada comunidad para beneficiar al mayor número de personas posibles.

De manera indirecta se podría mejorar la calidad de vida de las personas al obtener un método que facilite la evaluación de medidas adecuadas para obtener un fácil acceso a los recursos hídricos, de esta manera las personas podrán disponer de agua en cantidad y calidad adecuada para realizar sus actividades diarias, disminuyendo así las enfermedades derivadas de la falta de agua y una mejora en su calidad de vida derivada del ahorro de tiempo que se obtiene al no tener que recorrer grandes distancias para abastecerse de este recurso, además de poder contar con un método seguro para su almacenamiento que no provoque focos de infección y propagación de enfermedades.

El planteamiento de este proyecto cumple con el perfil profesional de un ingeniero civil pues como parte de su formación académica se cursan asignaturas que brindan los conocimientos necesarios para poder desarrollar el contenido presente en esta propuesta con un enfoque técnico e ingenieril pero orientado al beneficio social final que se ofrecerá.

2.5 BENEFICIOS ESPERADOS

La obtención de una metodología de evaluación permitirá alcanzar, en caso de hacer uso de ella, mejores resultados en programas gubernamentales de tipo social optimizando los recursos utilizados para lograr así un mayor número de personas beneficiadas y que éstas vean una mejora en su calidad de vida lo cual permitirá disminuir la marginación y el rezago que sufren las comunidades aisladas del país.

El estudio de la captación de agua de lluvia en México para uso doméstico es un tema que requiere de una mayor profundización pues debido a las condiciones geográficas y sociales del país esta fuente de abastecimiento representa una oportunidad para combatir el desabasto de agua existente e incrementar la literatura sobre el tema es un beneficio a futuro.

2.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

El contenido de este trabajo abarca solamente a la República Mexicana y se limita en primera instancia a la figura del municipio como entidad administrativa. Se hará uso de la información provista por el CONAPO para obtener una base de datos de municipios con los mayores problemas de acceso al agua potable de acuerdo con sus indicadores.

Los datos e información necesaria para la realización de cálculos se tomarán de fuentes oficiales en su versión más reciente, en caso de la inexistencia de ellos se harán consideraciones que justifiquen el uso de una estimación de ingeniería. El tema que se aborda en este trabajo es sobre la viabilidad de los sistemas de captación como sistema de abastecimiento, tomando como antecedente la propuesta realizada por la SEDESOL y la creación de una metodología para la evaluación de iniciativas semejantes más no sobre las características físicas y de funcionamiento que debería cumplir un sistema óptimo de captación de agua de lluvia.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La presente investigación es del tipo descriptiva, la cual trabaja sobre realidades de hecho, pues en ella se reseñarán rasgos y atributos de la población objeto de estudio, en este caso elementos relacionados con el acceso al agua potable, el grado de marginación, la localización geográfica y la ocurrencia y niveles de precipitación. Esta investigación también se ubica dentro de la categoría correlacional pues se estudiará el grado de relación existente entre dichos rasgos para obtener un resultado último.

Como se explicó en capítulos anteriores en esta investigación se busca conocer, de acuerdo con los criterios oficiales, los municipios en peores condiciones en materia de acceso al agua potable para posteriormente ubicarlos geográficamente dentro del contexto nacional para que, conociendo la precipitación promedio del lugar, se realicen correlaciones a partir de número de habitantes por vivienda y dotación de agua potable, con áreas de captación supuestas para determinar el volumen de almacenamiento necesario en un SCALL para abastecer de agua potable durante todo el año a una familia tipo.

El diseño de este trabajo es descriptivo y analítico, en el capítulo anterior se realizó un esbozo de la situación general en cuanto a acceso al agua potable, la marginación existente en los municipios del país y las situaciones climáticas contrastantes en materia de precipitación, mientras que la parte analítica será descrita en el presente capítulo.

El periodo de elaboración de este texto comprende desde diciembre de 2014 hasta mayo de 2015, el lugar donde se realizó fue en la División de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, UNAM.

3.1 MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La información requerida para analizar la situación de la que trata el presente trabajo se obtuvo de fuentes oficiales, la mayor parte de ella disponible en informes publicados por dependencias de gobierno y en bases de datos de libre acceso disponibles en sitios oficiales, dicha información describía de manera aislada partes diversas del objeto de estudio sin evidenciar la relación existente como causas de un problema.

Dado que se partió de una base objetiva y no del pensamiento puro el método utilizado fue el de análisis y síntesis, pues a partir de datos concernientes a la realidad se realizó una correlación de las partes previamente analizadas para obtener resultados que la a poste ayudaran a sistematizar el conocimiento.

3.1.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tomando como base el Índice de Marginación 2010 generado por el Consejo Nacional de Población se construyó una base de datos, complementada con información de la Base de Datos Climatológica Nacional (SISTEMA CLICOM) y los Prontuarios de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, que contiene las siguientes variables:

- Nombre y clave de los municipios, así como entidad federativa a la que pertenecen con su correspondiente clave.
- Población total.
- Población sin agua entubada y % Ocupantes en viviendas sin agua entubada.
- % Población en localidades con menos de 5 000 habitantes.

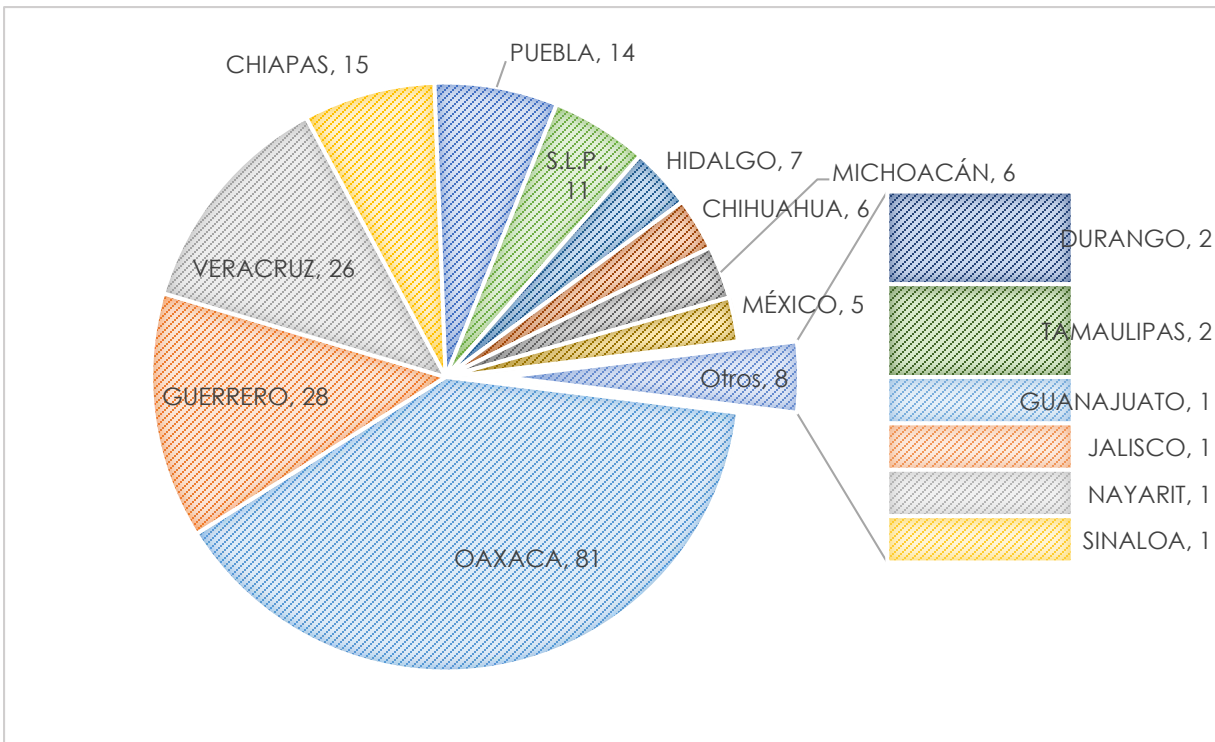
CAPÍTULO 3

- Índice de marginación escala 0 a 100, así como grado de marginación (cualitativamente como muy alto, alto, bajo y muy bajo).
- Localización del municipio en coordenadas geográficas.
- La Región Hidrológica-Administrativa, la Cuenca hidrológica y la Subcuenca a la que pertenece cada municipio.
- El intervalo de precipitación de acuerdo con los Prontuarios de Información Geográfica Municipal.
- La precipitación normal en la Región Hidrológica Administrativa (1971-2000).
- Los datos generales de las estaciones climatológicas dentro del municipio, de existir alguna.

3.1.2 DEFINICIÓN DE POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está conformada por cada uno de los 2,457 municipios que conforman a la República Mexicana, pues cada uno de ellos cuenta con datos para cada una de las variables definidas anteriormente, sin embargo, con el propósito de enfocar el estudio hacia aquellas zonas en la peor situación, la muestra se conformó bajo los siguientes criterios de inclusión: sólo se encuentran los municipios que tengan una calificación de grado de marginación con el identificador cualitativo alto o muy alto y sólo se tomaron municipios con un porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada mayor al 40% quedando así una tamaño de muestra de 207 municipios distribuidos en las entidades federativas como se muestra en la figura 5.

FIGURA 5 NÚMERO DE MUNICIPIOS EN LA MUESTRA POR ENTIDAD FEDERATIVA



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO 2011. Índice de Marginación por entidad federativa y municipios 2010.

Como se puede observar los estados de Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Chiapas concentran la mayor parte de los municipios, 150 de ellos poco más de 72% del total.

3.1.3 ESTRATIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Una vez elaborada la muestra se realizó una estratificación simple a partir de los valores cuartiles⁵ de las variables población sin agua entubada y los valores de precipitación, una vez dividida la muestra en cuatro partes iguales a cada una de ellas se le asignó una calificación cualitativa del uno al cuatro para conformar un nuevo par de variables denominados Nivel de Cobertura, con las opciones baja (calificación 1 y 2) o muy baja (calificación 3 y 4), y Niveles de Precipitación conservando valores del uno al cuatro. Para mayor detalle véase la tabla 11.

TABLA 11 ESTRATIFICACIÓN DE LA MUESTRA

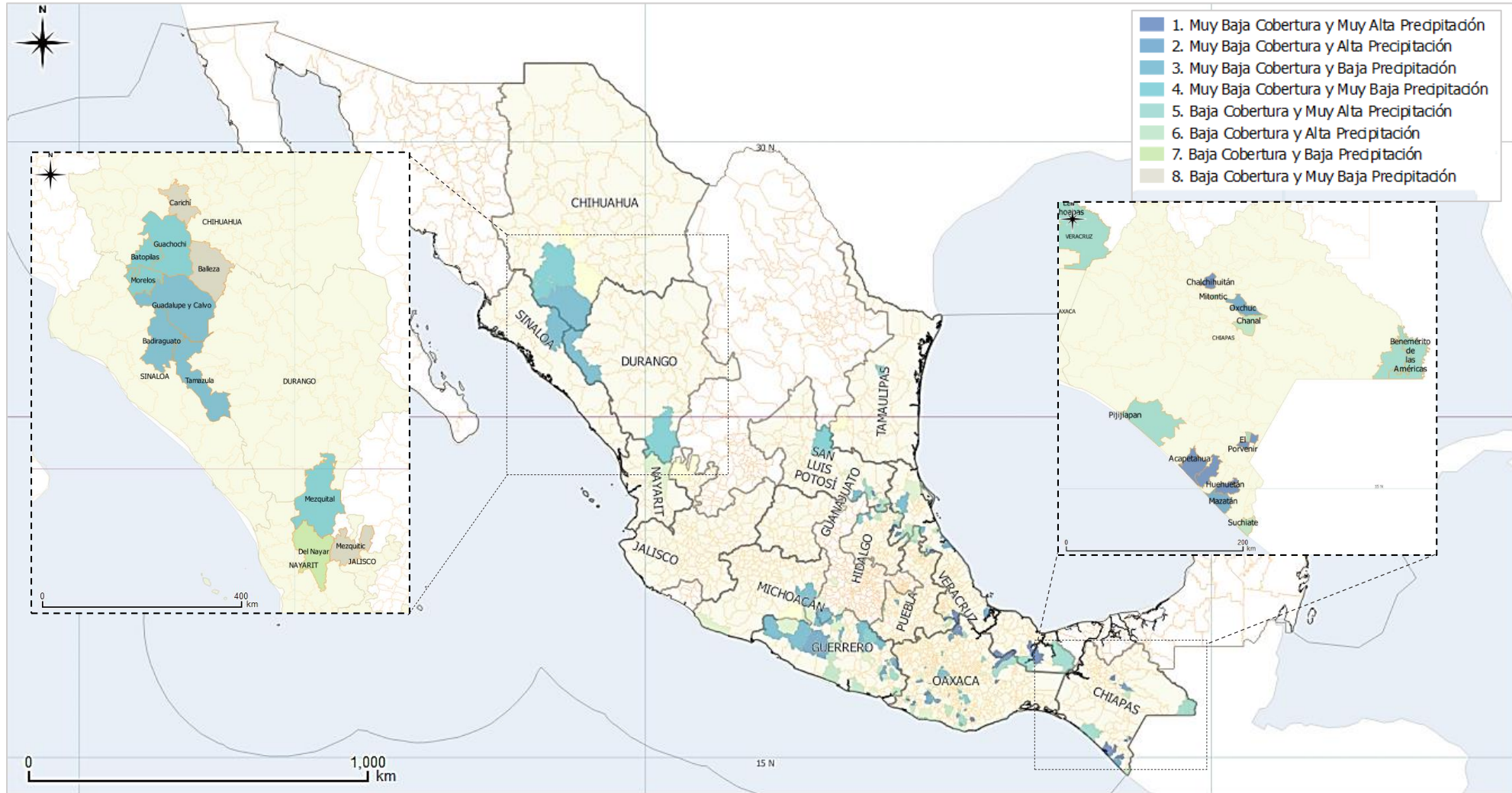
Estadística	% Ocupantes en viviendas sin agua entubada	Calificación asignada	Nivel de Cobertura	Precipitación a nivel municipal (mm)	Calificación asignada	Niveles de Precipitación
Primer Intervalo	40-45.97	1	BAJA	550 – 900	4	MUY BAJO
Segundo Intervalo	>45.97-53.5	2		900-1500	3	BAJO
Tercer Intervalo	>53.5-66.1	3	MUY BAJA	1500-2000	2	ALTO
Cuarto Intervalo	>66.1-99.7	4		2000-4,000	1	MUY ALTO
Valor mínimo	40.11			550		
Valor Máximo	99.74			4000		
Promedio	57.15			1525		
Desviación estándar	13.61			741		

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las variables Niveles de Cobertura y Niveles de Precipitación se crearon combinaciones comparativas, un total de 8 condiciones, véanse el Mapa 6, Mapa 7 y Mapa 8, para dichas condiciones se crearon gráficas comparativas que muestran para cada municipio su población total, la población sin acceso al agua potable, la precipitación media municipal y la precipitación normal de la Región Hidrológica-Administrativa que le corresponde.

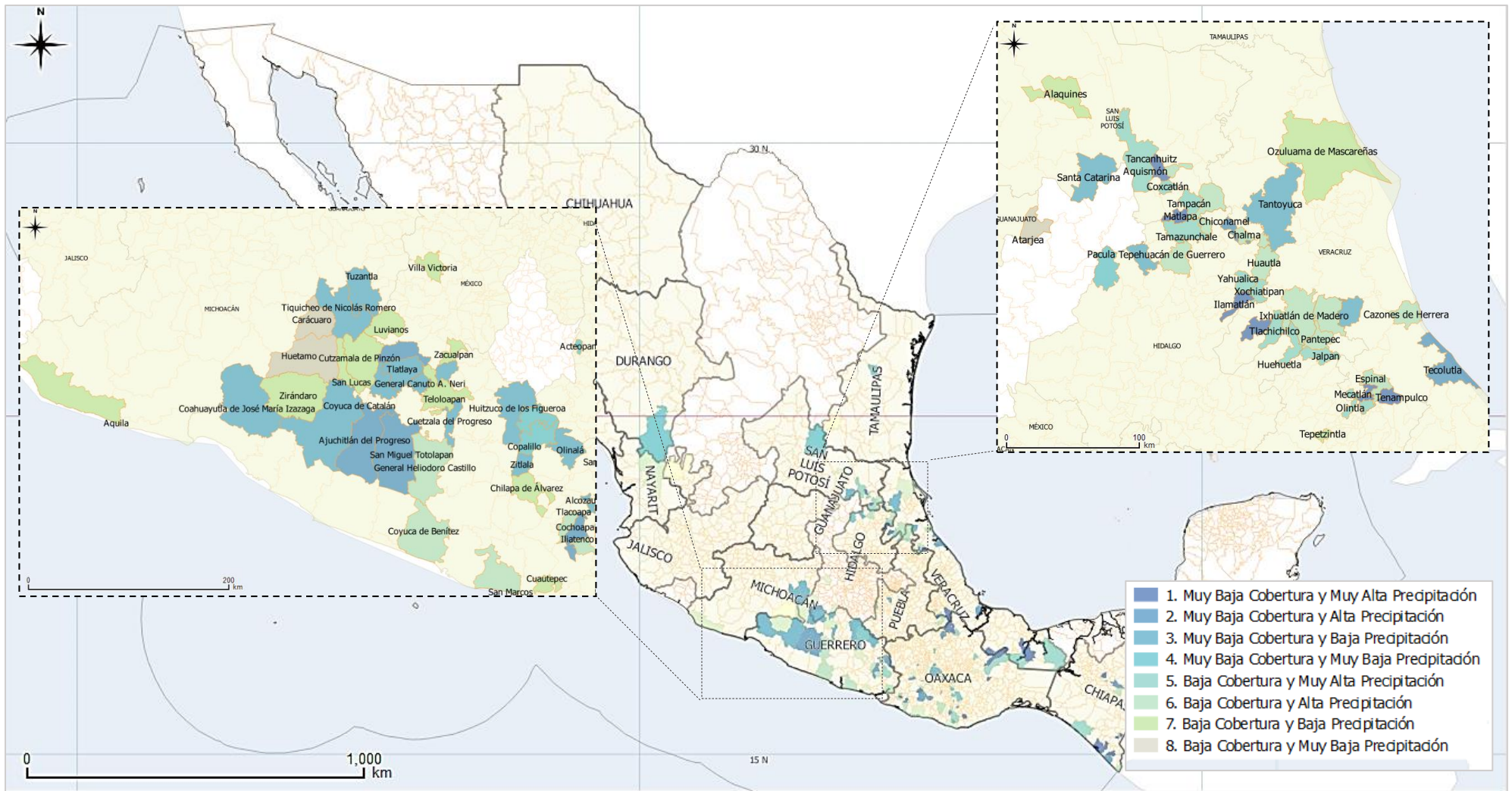
⁵ Los cuartiles son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro partes porcentualmente iguales.

MAPA 6 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN REALIZADA



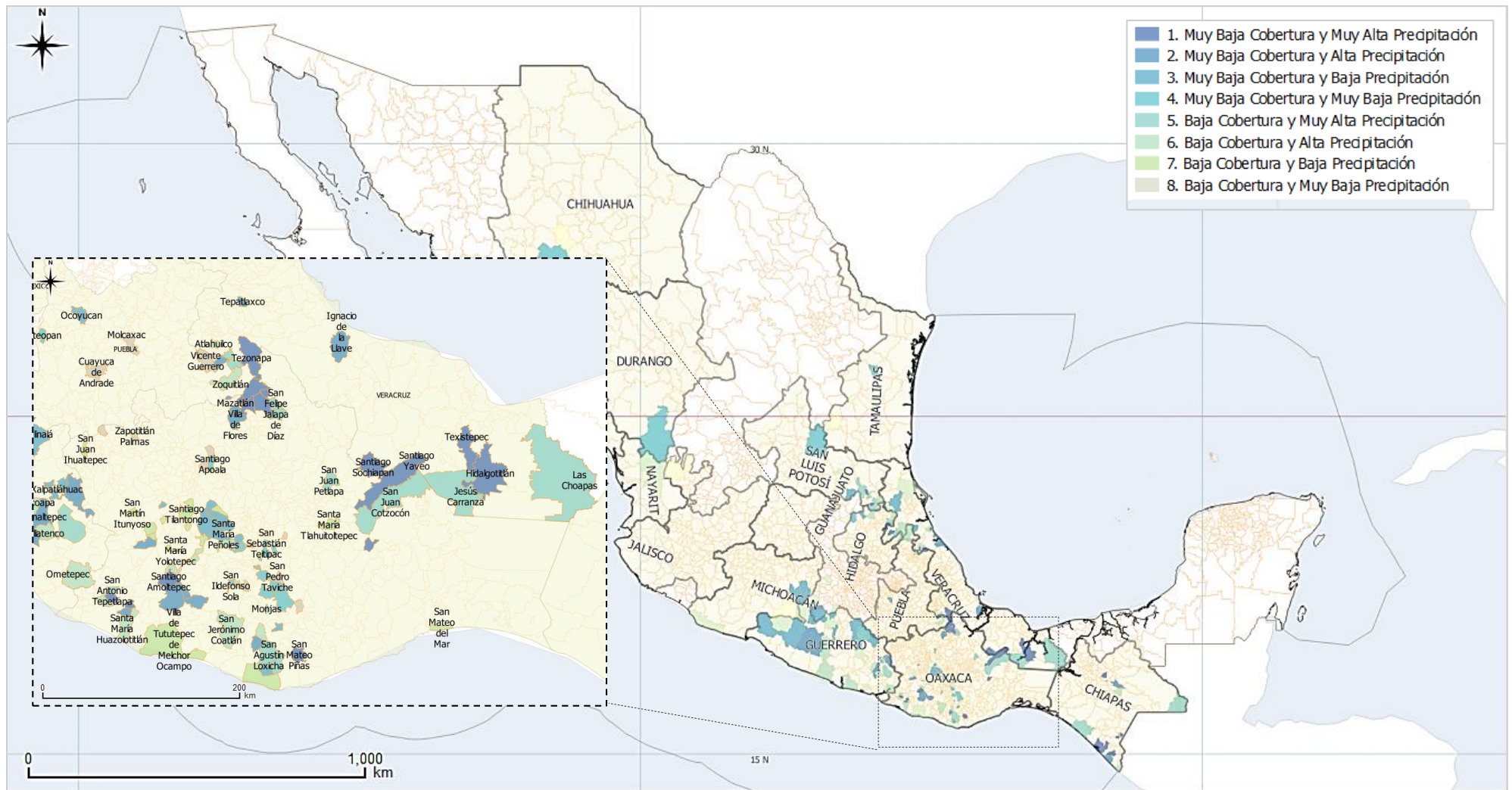
Fuente: Elaboración propia.

MAPA 7 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN REALIZADA



Fuente: Elaboración propia.

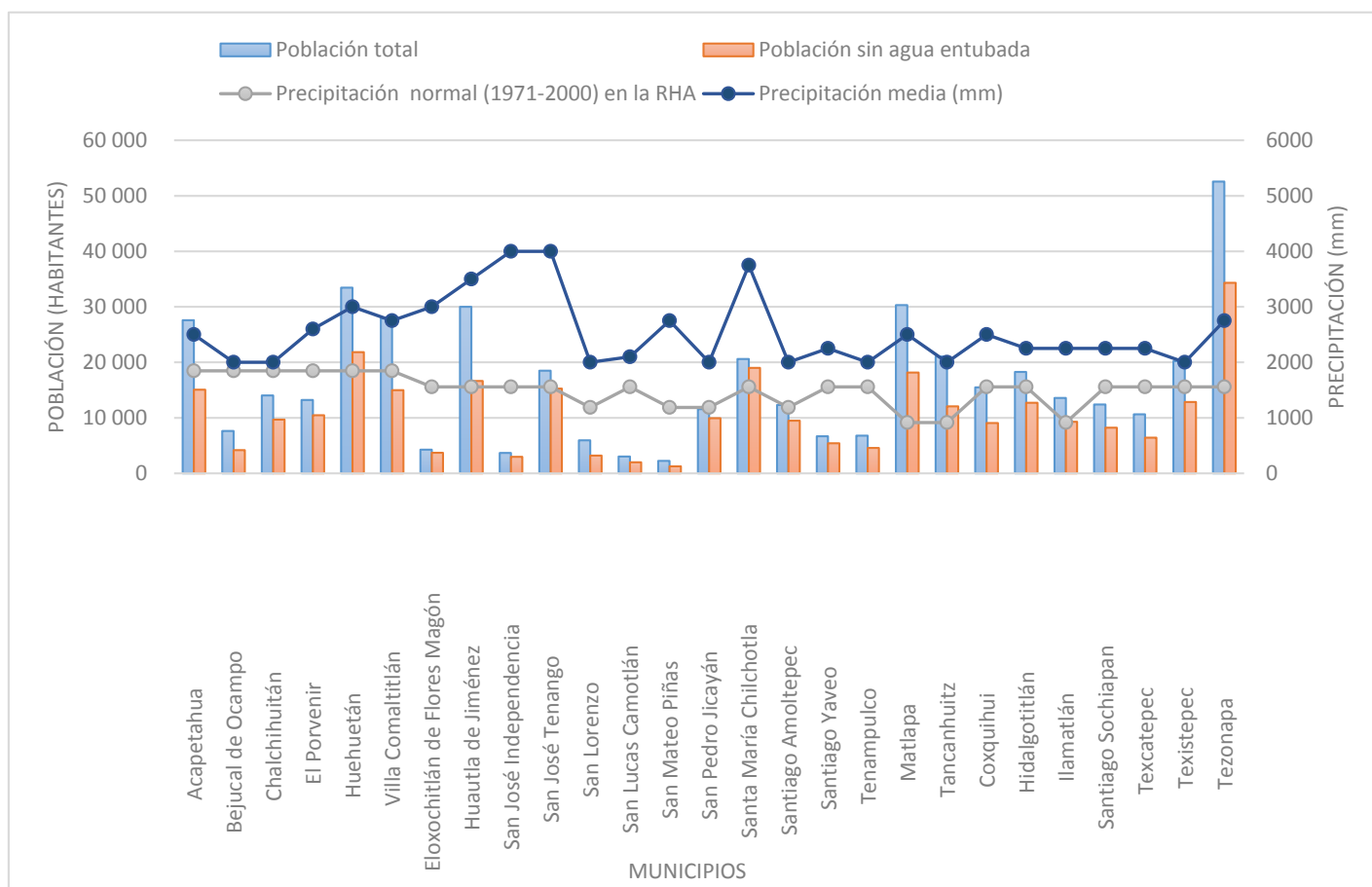
MAPA 8 DISTRIBUCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN REALIZADA



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta la gráfica correspondiente a la condición de MUY BAJA cobertura y nivel de precipitación MUY ALTO, figura 6, como se puede observar un total de 27 municipios presentan el peor escenario de cobertura de abastecimiento de agua potable y a su vez el mayor régimen de precipitación, esta situación representa una población de 292,752 habitantes sin acceso al agua potable (un 65.96% sobre el total de la población de los 27 municipios).

FIGURA 6 MUNICIPIOS CON NIVEL DE COBERTURA MUY BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN MUY ALTO (DE 2000 A 4000 mm)



Fuente: Elaboración propia.

Esta situación representa el mayor potencial para captación de agua de lluvia en los techos, potabilización y uso domiciliario considerando el déficit existente en el servicio en esos municipios y el régimen lluvias en los municipios.

De los 27 municipios de la figura 6 seis se encuentran en el estado de Chiapas, once en Oaxaca, uno en Puebla, dos en San Luis Potosí y siete en Veracruz, la mayoría de ellos se encuentran dentro de las RHA Frontera Sur y Golfo Centro.

Los 5 municipios con una mayor proporción de habitantes sin acceso al agua entubada son Santa María Chilchotla, Eloxochitlán de Flores Magón, San Pedro Jicayán, San José Tenango y Santiago Yaveo todos ellos localizados en el Estado de Oaxaca, con una población total de 61,545 habitantes, 53,334 de ellos sin acceso al agua entubada lo que significa que aproximadamente 85% de los habitantes de esos municipios carecen de acceso a un servicio básico.

CAPÍTULO 3

De la misma manera se desarrollaron las gráficas correspondientes a las otras siete posibles condiciones, para mayor detalle véase el Anexo 1, sin embargo el análisis sobre las dimensiones de los SCALL se realizó sólo para esta condición por considerarse la que mayor impacto tendría sobre las personas debido al bajo nivel de cobertura en el servicio de agua potable y al alto nivel de precipitación que se presenta en dichos municipios.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

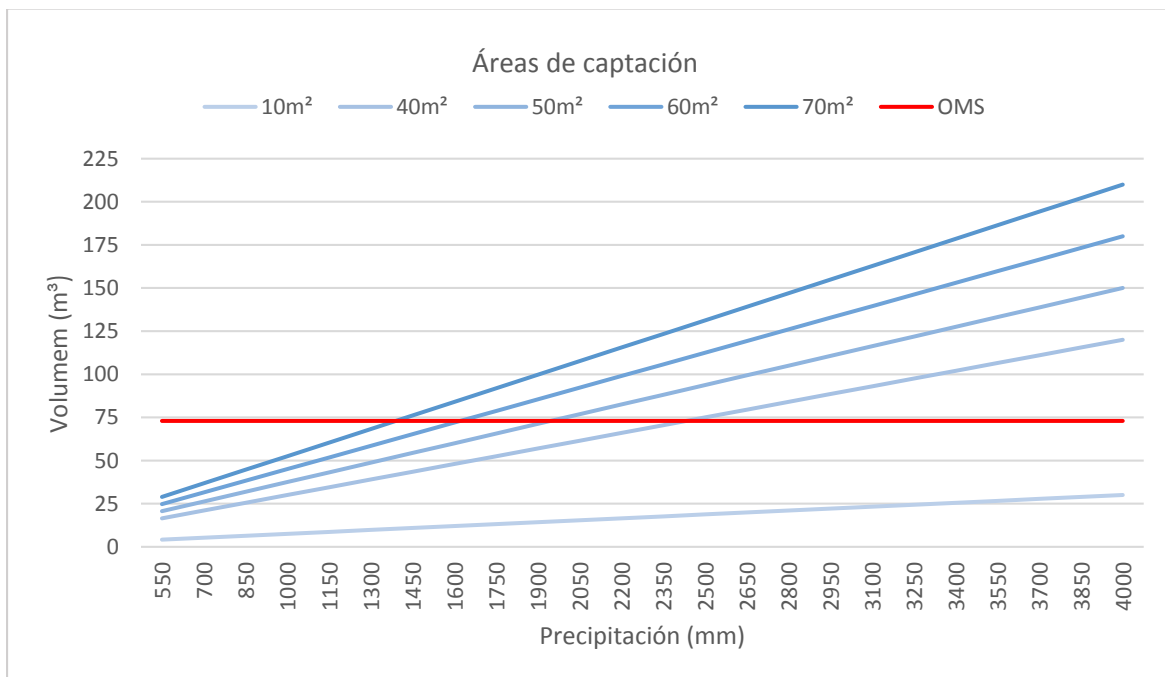
4.1 ÁREA DE CAPTACIÓN VS PRECIPITACIÓN

Se observó a partir de un análisis de las combinaciones posibles de Niveles de Cobertura y Niveles de Precipitación que al disminuir este último también se disminuye el porcentaje de personas sin acceso al agua entubada.

Para realizar un análisis sobre el funcionamiento de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia es necesario conocer además de la precipitación promedio la estacionalidad de la misma, esto se consigue analizando la precipitación pluvial normal, véase el apartado 2.1.7, para las estaciones climatológicas correspondientes a los municipios.

Debido a que no existe homogeneidad en el tipo y tamaño de las viviendas en los municipios seleccionados no se puede tener una certeza absoluta del tamaño del área de captación, en este caso los techos de las mismas, tampoco es posible conocer con certeza el coeficiente de escurrimiento correspondiente a dicho material, por ello se realiza una primera aproximación del volumen captado en relación a estos dos últimos factores y la altura de precipitación (suponiendo un coeficiente de escurrimiento de 0.8 para abarcar diversos tipos de superficies), para tener una idea de la demanda de agua requerida se toma como base el criterio de 50 l/hab·día que corresponde a un impacto en la salud bajo y al aseguramiento de agua para consumo y la de higiene básica, véase apartado 2.1.4, para una vivienda promedio de 4 habitantes lo que resulta en un volumen anual de 73 m³ como se muestra en la figura 7.

FIGURA 7 VOLÚMENES DE AGUA PLUVIAL CAPTADA EN RELACIÓN A LA ALTURA DE PRECIPITACIÓN Y AL ÁREA DE CAPTACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

4.1.1 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Una vez conocidos los valores requeridos se procedió a elaborar una hoja de cálculo para cada municipio en donde se incluían los datos básicos de vivienda, población y servicios de agua potable proporcionados por el Sistema Nacional de Información Municipal, así como las Normales Climatológicas (en su versión más reciente o en su caso más completa) proporcionadas por el Sistema Meteorológico Nacional para posteriormente guiados por el procedimiento indicado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (UNATSABAR, 2001) determinar el volumen de almacenamiento para un consumo preestablecido (50 l/hab·día) para distintas áreas de captación.

A continuación se presentan los datos, variables y ecuaciones requeridas para realizar el análisis:

PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL

Dato obtenido a partir del promedio calculado de un periodo uniforme con al menos 30 años de registro de información por el Servicio Meteorológico Nacional de la siguiente manera:

$$Ppn_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Ppn_i : Precipitación Pluvial Normal del mes i en mm

P_i : Precipitación del mes i en mm

n : Número de años evaluados

DEMANDA MENSUAL DE AGUA

Dato obtenido a partir de la asunción de una dotación de 50 l/hab·día y los datos de promedio de ocupantes por vivienda para cada municipio obtenido del Sistema Nacional de Información Municipal.

$$D_i = \frac{N_{hab} \times N_d \times Dot}{1000}$$

D_i : Demanda mensual de agua en m³

N_{hab} : Número de habitantes por vivienda

N_d : Número de días del mes analizado

Dot : Dotación de agua en l/hab·día

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN CAPTADO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO (OFERTA)

Teniendo en cuenta la precipitación pluvial normal, el coeficiente de escurrimiento (fijado en 0.8 para este caso) y el área de captación establecida para ese caso se obtiene el volumen de agua que se puede ofertar ese mes.

$$O_i = \frac{Ppn_i \times C_E \times A_C}{1000}$$

O_i : Volumen de agua ofertado por la superficie de captación en el mes i en m³

Ppn_i : Precipitación Pluvial Normal del mes i en mm

C_E : Coeficiente de escurrimiento adimensional

A_C : Tamaño del área de captación en m²

Partiendo de los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes iniciando por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular la diferencia de los

valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente. El volumen del tanque de almacenamiento es igual a la suma en valor absoluto de la máxima diferencia positiva y la máxima diferencia negativa.

$$V_{\text{almacenamiento}} = \text{Máx diferencia positiva} + |\text{Máx diferencia negativa}|$$

4.1.2 ANÁLISIS DETALLADO POR MUNICIPIO

A continuación se presenta a manera de ejemplo el desarrollo de los cálculos correspondientes al municipio de Huehuetán en el estado de Chiapas, como datos complementarios se sabe, de acuerdo con cifras oficiales, que existen 8 060 viviendas habitadas dentro del municipio, de las cuales 5 224 no disponen de agua entubada de la red de abastecimiento, aproximadamente 65% de todas las viviendas, y que el promedio de ocupantes por vivienda es de 4.2 personas, el coeficiente de escurrimiento se supondrá igual 0.8 y la dotación de 50 l/hab·día, se realizarán cálculos para encontrar el tamaño del área de captación requerida para cubrir las necesidades de los habitantes así como el volumen necesario del tanque de almacenamiento, los datos de precipitación se obtuvieron con la estación climatológica 00007075 HUEHUETAN localizada a 15°00'08" latitud Norte y 92°24'01" Longitud Este a 65 msnm y se muestran en la tabla 12 junto con los volúmenes captados para diferentes tamaños de superficie.

TABLA 12 DATOS DE PRECIPITACIÓN, CONSUMO Y CAPTACIÓN PARA DIFERENTES ÁREAS EN EL MUNICIPIO DE HUEHUETÁN, CHIAPAS

Mes/días	Precipitación (mm/mes)	Consumo (m ³ /mes)	Captación (m ³ /mes)			
			Superficie 25m ²	Superficie 30m ²	Superficie 40m ²	
Enero	31	2.2	6.2	0.044	0.0528	0.0704
Febrero	28	8.5	5.6	0.17	0.204	0.272
Marzo	31	12.2	6.2	0.244	0.2928	0.3904
Abril	30	53.8	6.0	1.076	1.2912	1.7216
Mayo	31	258.1	6.2	5.162	6.1944	8.2592
Junio	30	420.8	6.0	8.416	10.0992	13.4656
Julio	31	347.0	6.2	6.94	8.328	11.104
Agosto	31	376.3	6.2	7.526	9.0312	12.0416
Septiembre	30	510.3	6.0	10.206	12.2472	16.3296
Octubre	31	341.8	6.2	6.836	8.2032	10.9376
Noviembre	30	82.1	6.0	1.642	1.9704	2.6272
Diciembre	31	7.4	6.2	0.148	0.1776	0.2368
Anual	365	2420.5	73	48.41	58.092	77.456

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que para este caso una superficie de 40 m² es suficiente para abastecer a una familia tipo durante un año, sin embargo, para que un SCALL pueda proveer agua de manera continua durante todo el año el almacenamiento del mismo debe de funcionar como un elemento de regulación que sea capaz de retener el agua excedente durante la época de mayor precipitación para poder ser usada durante aquellos meses donde la lluvia es escasa, a continuación se presentan los cálculos resumidos para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento para una superficie de captación de 40 m² en la Tabla 13.

CAPÍTULO 4

TABLA 13 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA EL SCALL TIPO DEL MUNICIPIO DE HUEHUETÁN, CHIAPAS

Mes/días	Oferta (m³)	Demanda (m³)	Valores acumulados (m³)		
			Oferta	Demanda	Diferencias
Septiembre 30	16.3296	6	16.3296	6	10.3296
Octubre 31	10.9376	6.2	27.2672	12.2	15.0672
Noviembre 30	2.6272	6	29.8944	18.2	11.6944
Diciembre 31	0.2368	6.2	30.1312	24.4	5.7312
Enero 31	0.0704	6.2	30.2016	30.6	-0.3984
Febrero 28	0.272	5.6	30.4736	36.2	-5.7264
Marzo 31	0.3904	6.2	30.864	42.4	-11.536
Abril 30	1.7216	6	32.5856	48.4	-15.8144
Mayo 31	8.2592	6.2	40.8448	54.6	-13.7552
Junio 30	13.4656	6	54.3104	60.6	-6.2896
Julio 31	11.104	6.2	65.4144	66.8	-1.3856
Agosto 31	12.0416	6.2	77.456	73	4.456

Fuente: Elaboración propia.

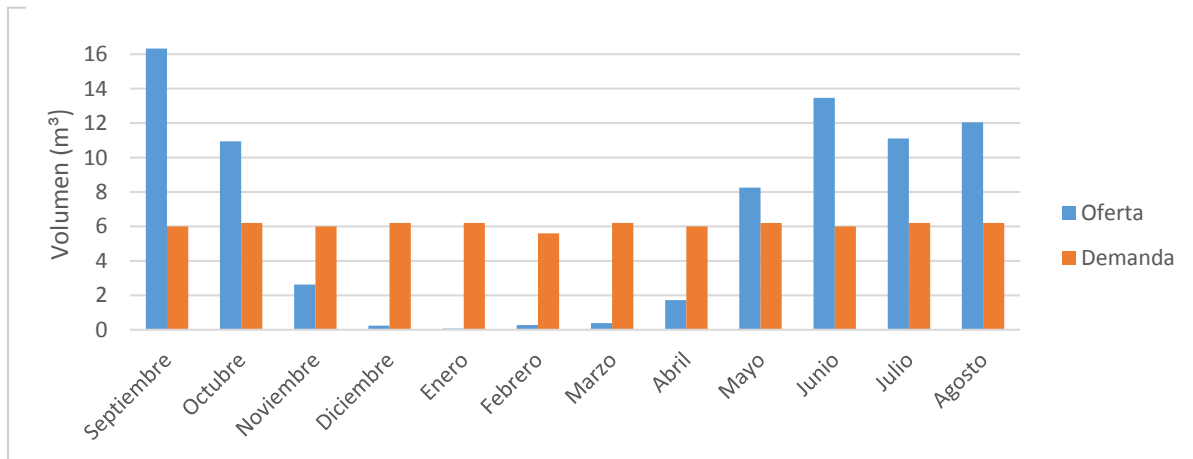
Como indica la metodología de análisis los datos obtenidos son ordenados iniciando por el mes de mayor precipitación, septiembre en este caso con 510.3 mm, para calcular el volumen acumulado, mes a mes, de oferta y demanda y se realiza la resta del volumen ofertado menos el que se demanda para cada mes, el volumen del tanque de almacenamiento se obtuvo de la siguiente manera:

$$V_{almacenamiento} = Máx\ diferencia\ positiva + |Máx\ diferencia\ negativa| = 15.07\ m^3 + |-15.8m^3|$$

$$V_{almacenamiento} = 30.88\ m^3 \approx 30\ m^3$$

Las diferencias positivas significan que para dicho mes existe un excedente de agua que requiere ser acumulado y las negativas que existe un déficit, la figura 8 ilustra las diferencias que existen entre oferta y demanda durante el año.

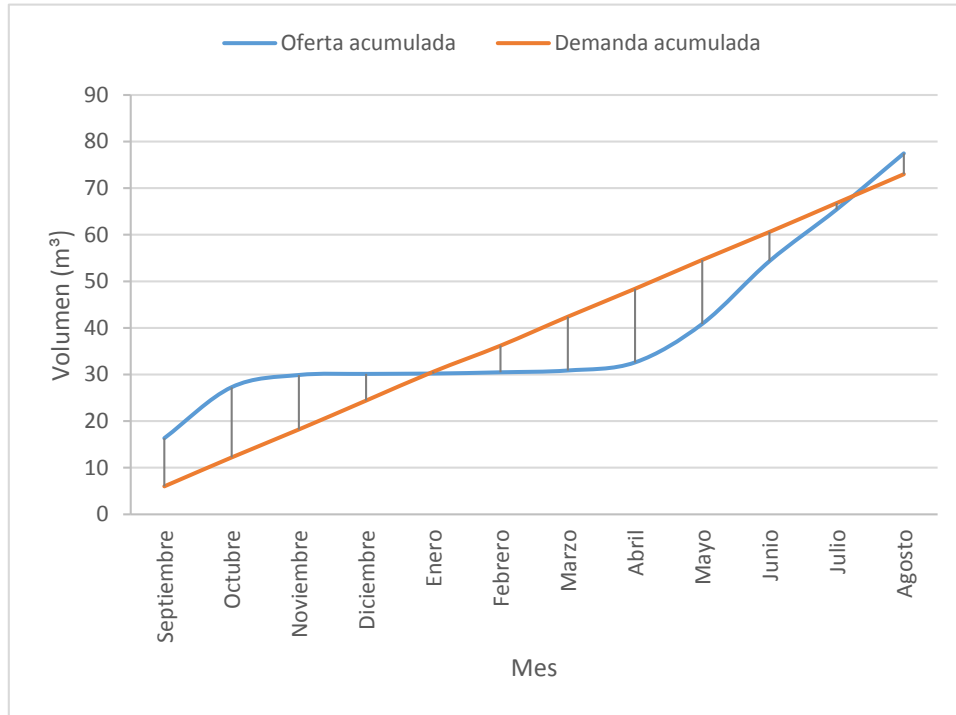
FIGURA 8 DIFERENCIAS ENTRE LOS VOLÚMENES OFERTADOS Y DEMANDADOS DURANTE EL AÑO



Fuente: Elaboración propia.

La figura 9 representa la diferencia entre la acumulación de la oferta y la demanda, en los datos de la tabla 12 se observa que el volumen captado es de 77.5 m^3 mientras que la demanda es de 73 m^3 lo que significa que existe un excedente general de agua.

FIGURA 9 DIFERENCIAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA ACUMULADA



Fuente: Elaboración propia.

En conclusión el municipio de Huehuetán en el estado de Chiapas es un buen candidato para la implementación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia pues para una familia tipo se requiere de un área de captación relativamente pequeña con la cual el suministro de agua estaría cubierto para todo el año con un tanque de almacenamiento del volumen establecido.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos para el resto de los municipios.

CAPÍTULO 4

TABLA 14 RESULTADOS RESUMIDOS PARA ÁREAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTOS PARA CADA UNO DE LOS MUNICIPIOS SELECCIONADOS

Entidad Federativa	Municipio	Viviendas			Precipitación anual calculada (mm)	Superficie de captación		Volumen de almacenamiento (m ³)	
		Totales	Sin agua	Habitantes promedio		Área (m ²)	Cobertura (%)		
CHIAPAS	Acapetahua	6 909	3 668	3.9	1837.32	50	101	30.27	
	Bejucal de Ocampo	1 325	689	5.8	1375.94	110	111	39.89	
	Chalchihuitán	8 060	5 224	4.2	1744.74	55	105	22.55	
	El Porvenir	2 182	1 713	6.1	1788.60	80	105	40.08	
	Huehuetán	8 060	5 224	4.2	2420.50	40	106	30.88	
	Villa Comaltitlán	6 607	3 498	4.2	1574.30	60	104	31.01	
OAXACA	Eloxochitlán de Flores M.	1 061	902	4.0	3114.97	30	102	26.62	
	Huautla de Jiménez	7 300	4 056	4.1	2300.80	40	101	28.27	
	San José Independencia	894	708	4.1	4162.70	25	114	19.70	
	San José Tenango	4 434	3 646	4.2	4162.70	25	114	19.70	
	San Lorenzo	1 352	756	4.4	1579.60	60	104	35.87	
	San Lucas Camotlán	651	415	4.7	598.70	70	37	57.59	
	San Mateo Piñas	599	340	3.7	1291.45	75	106	31.72	
	San Pedro Jicayán	2 344	1 987	4.9	1982.20	60	104	46.13	
	Santa María Chilchotla	4 842	4 439	4.3	4239.30	25	116	23.30	
	Santiago Amoltepec	2 415	1 860	5.1	1493.54	80	105	40.72	
	Santiago Yaveo	1 632	1 316	4.1	2160.84	45	107	25.83	
	PUEBLA	Tenampulco	1 866	1 236	3.6	1712.30	55	103	16.58
	SAN LUIS	Matlapa	6 638	3 847	4.6	1897.80	60	100	29.11
POTOSÍ	Tancanhuitz	4 678	2 601	4.5	1664.90	70	102	29.28	
VERACRUZ	Coxquihui	3 488	2 081	4.4	2204.69	45	109	16.04	
	Hidalgotitlán	4 466	3 109	4.1	2600.00	35	100	20.62	
	Ilamatlán	3 332	2 238	4.1	2109.40	45	104	23.76	
	Santiago Sochiapan	2 970	1 951	4.2	2381.08	40	104	24.18	
	Texcatepec	2 358	1 443	4.5	1961.42	50	107	23.72	
	Texistepec	5 109	3 242	4.0	2191.82	45	108	21.54	
	Tezonapa	13 071	8 273	4.0	2681.70	35	103	25.41	
		TOTAL	70 462						

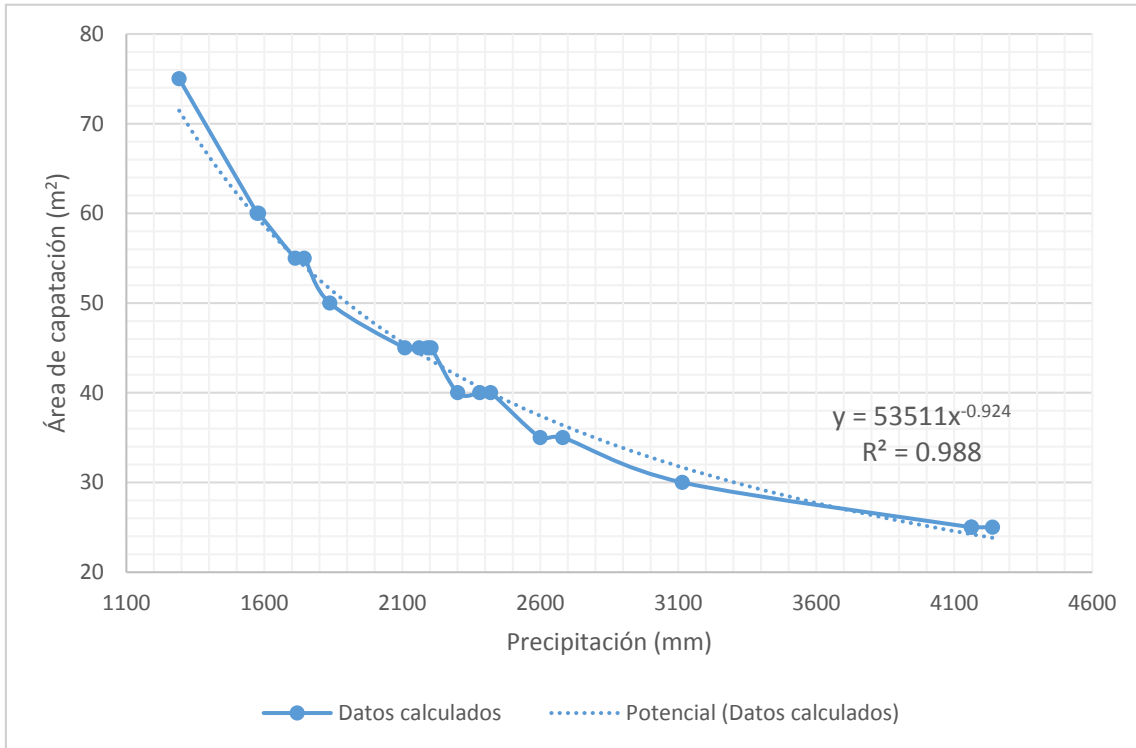
Fuente: Elaboración propia.

El número de viviendas sin acceso al agua potable, dato extrapolado a partir de lo obtenido para esta condición, se estima en poco más de 560 mil, número 18 veces mayor a la propuesta realizada por la Secretaría de Desarrollo Social en la licitación LA-020000999-N20-2014 de 29, 016 SCALL.

Aspectos importantes sobre el análisis realizado para el cálculo de la precipitación, la superficie de captación y el volumen de almacenamiento para cada uno de los municipios se explican a detalle en el Anexo 2.

A partir de los datos experimentales obtenidos se realizó un análisis para correlacionar la precipitación anual con el área de captación requerida para una familia, debido a que el área de captación se encuentra en función del número de habitantes y la precipitación sólo se tomaron en cuenta los municipios con el mismo número de habitantes promedio por vivienda en este caso cuatro personas, la función de tipo exponencial fue la que ajustó con un mejor comportamiento y un coeficiente de correlación más cercano a uno, como se muestra en la figura 10.

FIGURA 10 DATOS EXPERIMENTALES AJUSTADOS A UNA TENDENCIA



Fuente: Elaboración propia.

Con este modelo matemático se puede obtener una primera aproximación al área de captación requerida a partir de un valor conocido de precipitación lo que permitirá hacer análisis más rápidos y obtener criterios generales para la aplicación de los SCALL.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A la luz de los resultados obtenidos y del análisis y discusión realizados previamente se obtuvieron las siguientes conclusiones.

En un primer análisis sobre la viabilidad de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, basado en los criterios planteados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, se puede concluir que:

- Los SCALL son viables en el Factor Técnico, pues la demanda y la oferta de agua han sido analizadas y es un hecho que en México existen municipios con marcadas deficiencias en el abastecimiento de agua que presentan regímenes de lluvia tales que pueden ser vistos como una opción de abastecimiento.
- Los SCALL en el Factor Económico requieren de una evaluación comparativa con los modos de abastecimiento más usuales en el país, sin embargo por ser un método de abastecimiento local y al ser propuestos en primera instancia para comunidades marginadas con altos grados de dispersión, lo cual descarta la posibilidad de generar economías de escala, y por las experiencias internacionales reportadas en la literatura este método presenta múltiples ventajas en dichos entornos lo cual los hace viables también en este factor.
- Los SCALL al ser planteados en municipios marginados constituyen en primera instancia obras de ingeniería a nivel comunitario que conllevan un Factor Social importante el cual debe discutir las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, en este caso la viabilidad ha de ser decidida por los habitantes de las comunidades en donde se proponga este método de abastecimiento.

Sobre la distribución de los municipios con mayores deficiencias y las propuestas realizadas anteriormente por dependencias gubernamentales se concluye que:

- Los municipios con mayores deficiencias en materia de abastecimiento de agua potable se encuentran en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz, les siguen los estados de Puebla y San Luis Potosí, aunque en menor medida.
- El sistema de almacenamiento de los SCALL propuestos por la SEDESOL en la licitación LA-020000999-N20-2014, que consistía en un tanque de 10 m³, tenía una capacidad de menos de dos tercios del sistema de menor tamaño (municipio de Coxquihui, Veracruz con un volumen de 16.04 m³) y es aproximadamente tres veces más pequeño que el tamaño promedio obtenido para el escenario de mayor precipitación, lo que significa que dichos sistemas no serían capaces de abastecer a una vivienda durante todo el año por falta de un estudio técnico previo.

Sobre la precipitación presente en México y su relación con el volumen de almacenamiento de los SCALL:

- Los municipios que presentan lluvias de manera más uniforme durante el año conducen a tamaños de almacenamiento menores, comparados con aquellos en donde la mayor parte de la precipitación ocurre en verano, lo que los hace los mejores candidatos para utilizar SCALL como sistemas de abastecimiento.
- Debido a que la mayor parte de la precipitación ocurre en verano los SCALL requieren de volúmenes de almacenamiento del orden de 30 m³ para asegurar un acceso intermedio al agua

potable (el consumo, la higiene básica personal y de los alimentos), lo que dificulta su utilización.

- Un acceso al agua potable entre básico e intermedio (dotación mayor a 20 L/hab· día y menor a 50 L/hab· día donde el consumo y la higiene básica pueden ser aseguradas) es posible con tanques de almacenamiento de entre 10 y 15 m³, a partir de precipitaciones mayores a 1500 mm anuales y áreas de captación a partir de 25 m².
- De acuerdo con la estratificación realizada en una primera aproximación la mitad de los municipios, 105 de los 207, cumplen con la condición de precipitación mayor a 1500 mm, lo que representa una población 1, 097, 080 personas que podrían ser beneficiadas con la instalación de SCALL como sistemas de abastecimiento de agua.
- El tamaño del área de captación se encuentra relacionado directamente con la precipitación de la zona, como se demostró con la obtención del modelo potencial presentado, sin embargo el tamaño del almacenamiento depende en mayor medida de la distribución anual de la precipitación.

A partir del conocimiento adquirido y el generado durante la elaboración de este documento se hacen las siguientes recomendaciones:

- Los SCALL deben de ser utilizados en comunidades marginales dispersas, como parte de programas de mejoramiento en la calidad de vida por parte de las autoridades correspondientes o por lo menos con apoyos de su parte pues el acceso al agua es un derecho constitucional.
- El tamaño de los tanques de almacenamiento de un SCALL para cubrir un acceso intermedio es exagerado, se recomienda tener como objetivo un acceso entre básico e intermedio.
- Las soluciones de tipo comunitario, una sola área de captación y un gran tanque de almacenamiento en algún lugar de uso común dentro de la comunidad (escuelas o iglesias) pueden constituir una alternativa más sencilla si lo que se busca es garantizar el acceso al agua potable para consumo y deben de ser considerados como una opción.
- Se deben de generar estándares y normas mexicanas para la correcta utilización de esta técnica, basados en la experiencia internacional y casos de estudio exitosos dentro del país.
- Se recomienda la creación de un programa piloto demostrativo en algunos municipios, al menos 5, de los incluidos en esta muestra que sirva para la creación posterior de un programa de carácter nacional de fomento a la captación de agua de lluvia, objetivos incluidos dentro del Programa Nacional Hídrico 2013-2018 dentro de su estrategia 3.1 *Incrementar la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado*, donde se establece el fomento a las fuentes de agua alternativa y el incremento de las coberturas privilegiando a la población vulnerable.

REFERENCIAS

- Aparicio Mijares, F. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, D.F.: LIMUSA.
- Ballén Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia*. João Pessoa: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.
- Carabias, J., & Landa, R. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. México: UNAM, Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte.
- CONAGUA. (2011). *Semblanza Histórica del Agua en México*. (Semarnat, Ed.) México D.F.: Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua.
- CONAGUA. (2014). *Atlas del Agua en México 2014*. México D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- CONAPO. (2004). *Indicadores socioeconómicos e índice de marginación 1990-2000*. México D.F.: Consejo Nacional de Población.
- CONAPO. (2011). *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010*. México D.F.: Consejo Nacional de Población.
- García de Miranda, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. México D.F.: Offset Larios S.A.
- Herrera Monroy, L. A. (2010). *Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- HESRAT Asociados S.A. de C.V. (Diciembre de 2012). Factibilidad de la captación de agua de lluvia como política pública para la Ciudad de México. México D.F.
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). *Domestic water quantity, service level and health*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- INEGI. (2010). Marco Geoestadístico Nacional. D.F., México. Recuperado el 19 de Septiembre de 2014, de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/M_Geoestadistico.aspx
- Kinkade-Levario, H. (2007). *Design for water, rainwater harvesting, stormwater catchment and alternate water reuse*. Canadá: New Society Publishers.
- Maderey Rascón, L. E., & Carrillo Rivera, J. (2005). *El recurso agua en México: Un análisis geográfico*. México D.F.: Instituto de Geografía, UNAM.
- OMM/UNESCO. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Ginebra, Suiza.
- Organización Panamericana de la Salud y Grupo Colaborativo de Agua y Saneamiento. (Noviembre de 2002). Soluciones innovadoras para el suministro de agua en comunidades rurales dispersas de Honduras. *Análisis del Sector Agua Potable y Saneamiento de Honduras*. Perú: Biblos.

- Semarnat & CONAGUA. (2014). *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*. México, D.F.
- Semarnat. (2010). *Atlas Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales* (2010 ed.). México D.F.
- UNATSABAR. (2001). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- UNESCO. (2006). *2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, "El agua, una responsabilidad compartida"*. Recuperado el 30 de marzo de 2015, de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr2-2006/>

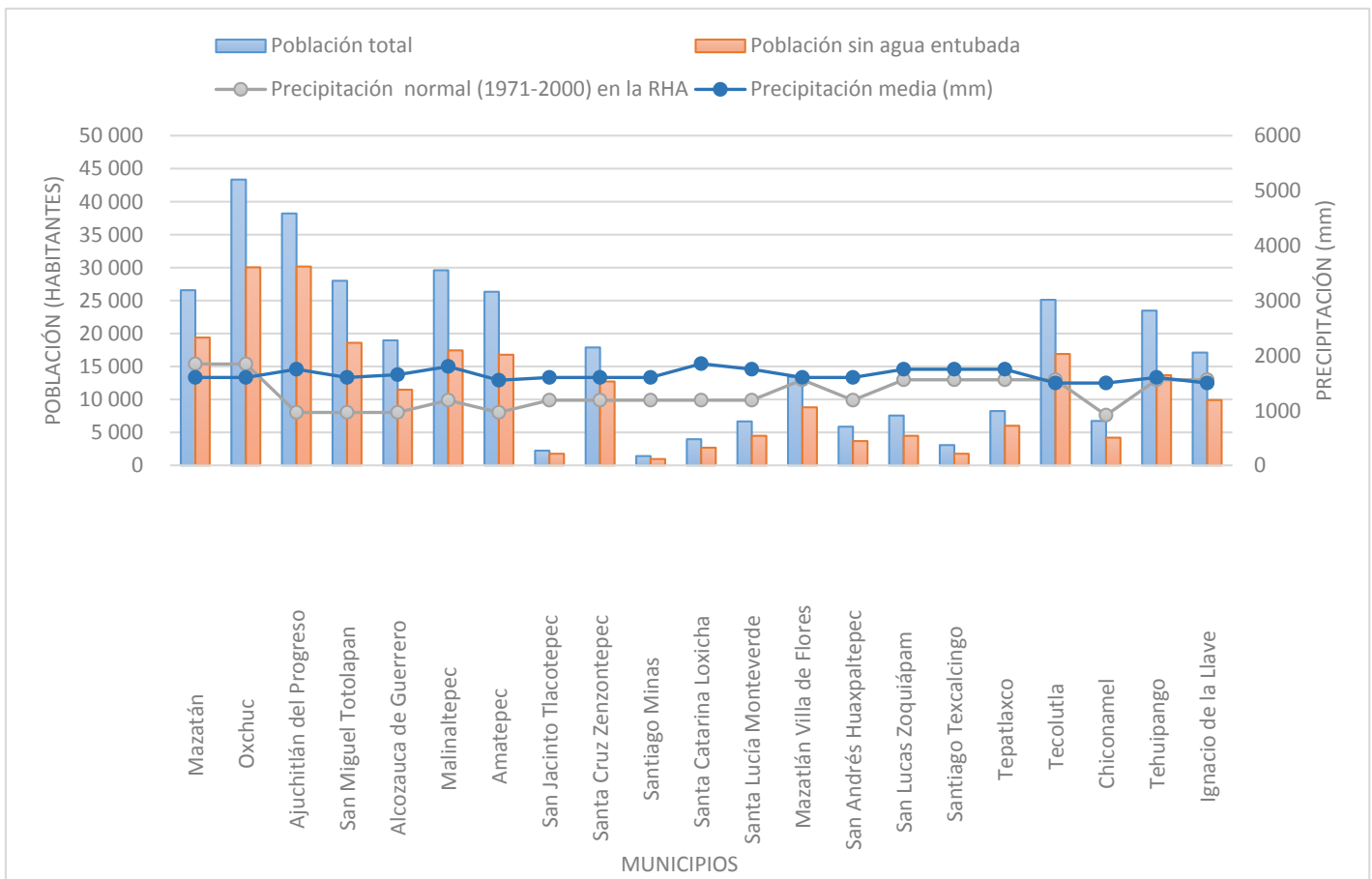
ANEXO 1

RESULTADOS DE LA ESTRATIFICACIÓN DE LA MUESTRA

A partir de las variables generadas en el apartado 3.2.3 *Estratificación de la Muestra*, Nivel de Cobertura y Niveles de Precipitación se generaron gráficas comparativas, 8 en total, de las cuales sólo se revisó una dentro de ese mismo apartado, la correspondiente a la condición óptima Muy Baja cobertura y Muy Alta Precipitación, a continuación se presenta un análisis y las gráficas correspondientes a las otras siete condiciones.

CONDICIÓN NIVEL DE COBERTURA MUY BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN ALTO

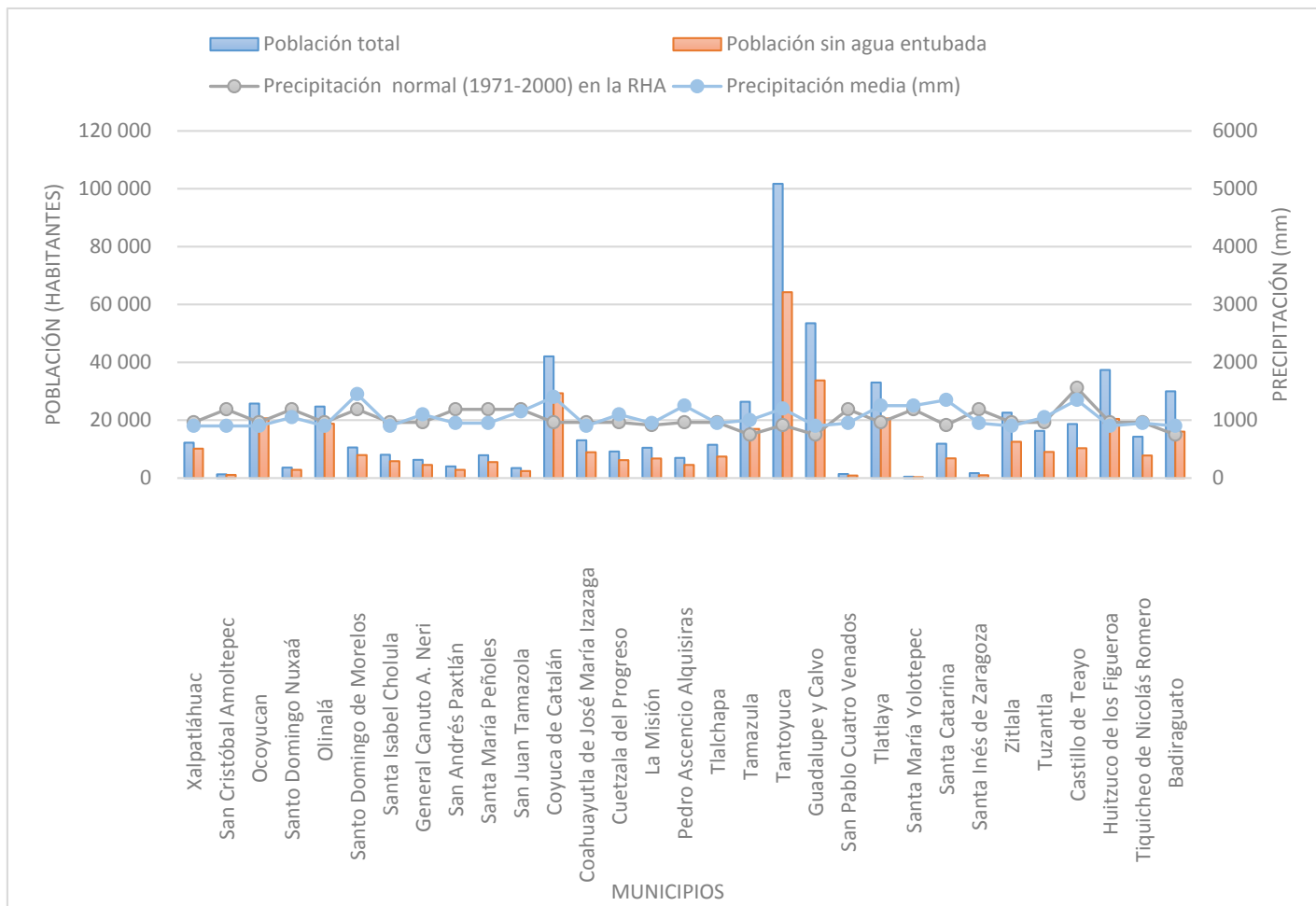
Esta condición se presenta en un total de 21 municipios cuyo escenario en abastecimiento de agua potable es similar al caso considerando óptimo, pero con un régimen de lluvia entre 1500 mm y 2000 mm. En este escenario se encuentra una población de 236,028 habitantes, 75.33% sobre el total de la población de los 21 municipios.



Para este escenario de precipitación los 5 municipios con una mayor proporción de habitantes sin acceso al agua entubada son Ajuchitlán del Progreso en Guerrero, Tepatlatxco en Veracruz, Mazatán en Chiapas y los municipios de San Jacinto Tlacotepec y Santa Cruz Zenzontepec en el estado de Oaxaca con una población total de 93,153 habitantes, 70,061 de ellos sin acceso al agua entubada (75% de los habitantes).

CONDICIÓN NIVEL DE COBERTURA MUY BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN BAJO

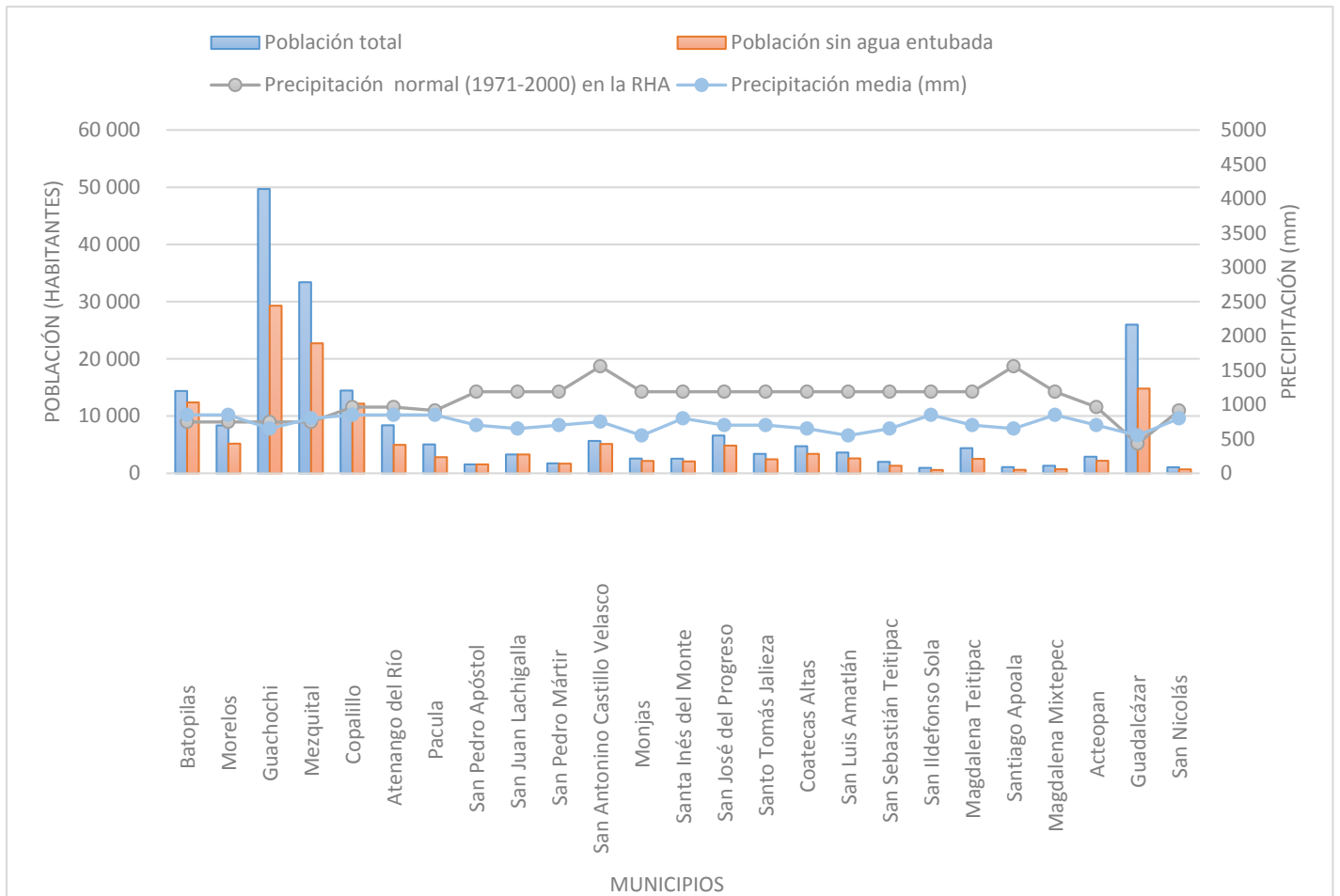
En esta condición se encuentran un total de 31 municipios que presentan el situación similar a los dos casos anteriores en relación con la cobertura de abastecimiento de agua potable pero con un régimen de lluvia entre los 900 y 1500 mm, en este caso existe una población de 366,294 habitantes sin acceso al agua entubada, 66.42% sobre el total de la población de los municipios dentro de este intervalo, una cifra mayor a los casos anteriores en el total de habitantes, sin embargo, con un nivel de precipitación máximo menor al valor inferior de la condición considerada como la óptima.



Los 5 municipios con un mayor porcentaje de población sin acceso al agua entubada son Xalpatláhuac y Olinalá en el estado de Guerrero, Ocoyucan en Puebla y en el estado de Oaxaca San Cristóbal Amoltepec y Santo Domingo Nuxaá, conformando así una población total de 67,576 hab., de los cuales 53,465 no tienen acceso al agua entubada, 79% del total.

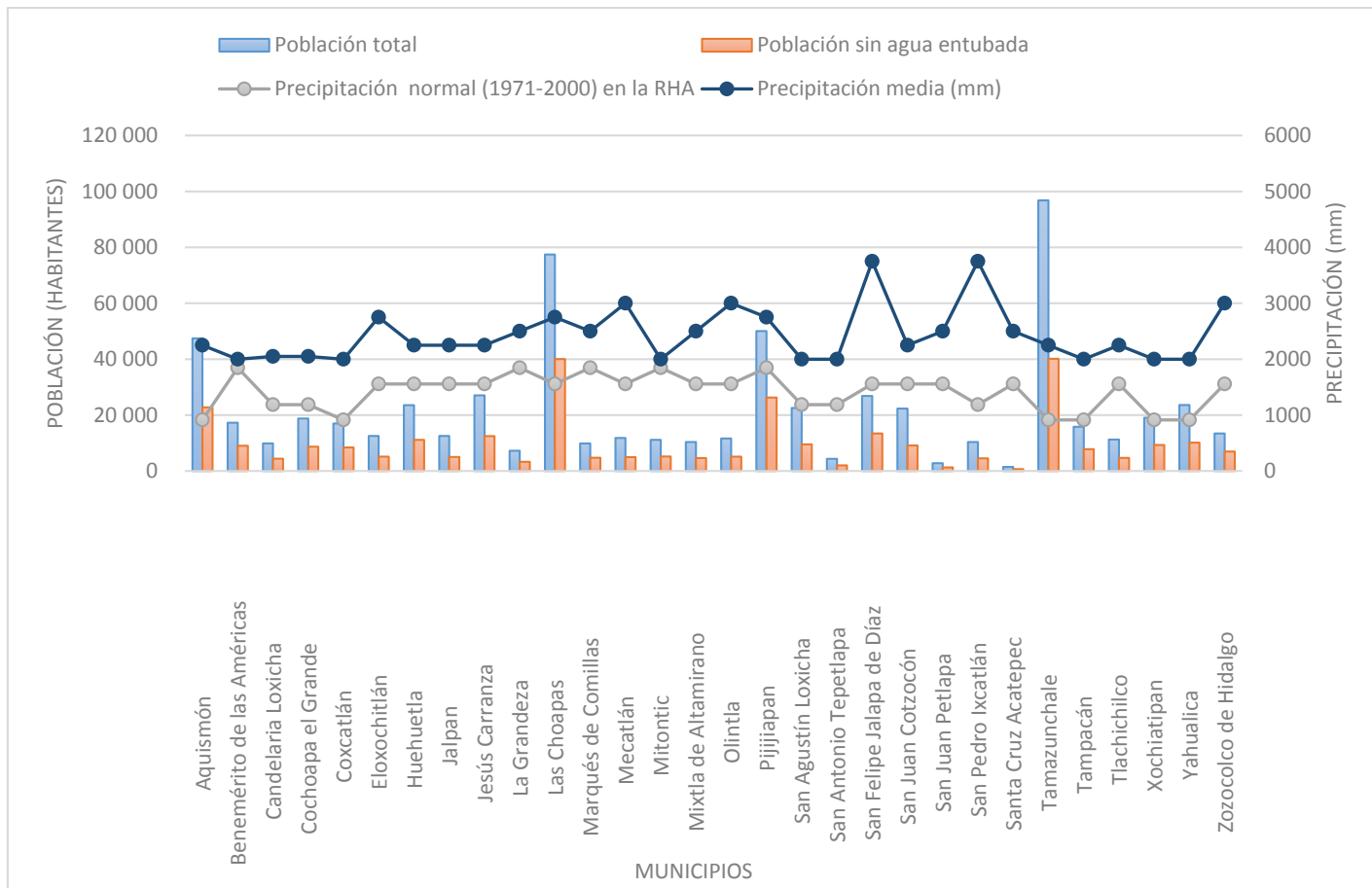
CONDICIÓN NIVEL DE COBERTURA MUY BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN MUY BAJO

Finalmente se observa que existen un total de 25 municipios correspondiente al peor escenario de cobertura de abastecimiento de agua potable y con el régimen de lluvia más bajo (550-900mm), esta condición representaría una población de 141,829 habitantes sin acceso al agua entubada (67.29% sobre el total de la población) lo que representa la menor cantidad de personas si se compara con los valores de las tres condiciones anteriores.



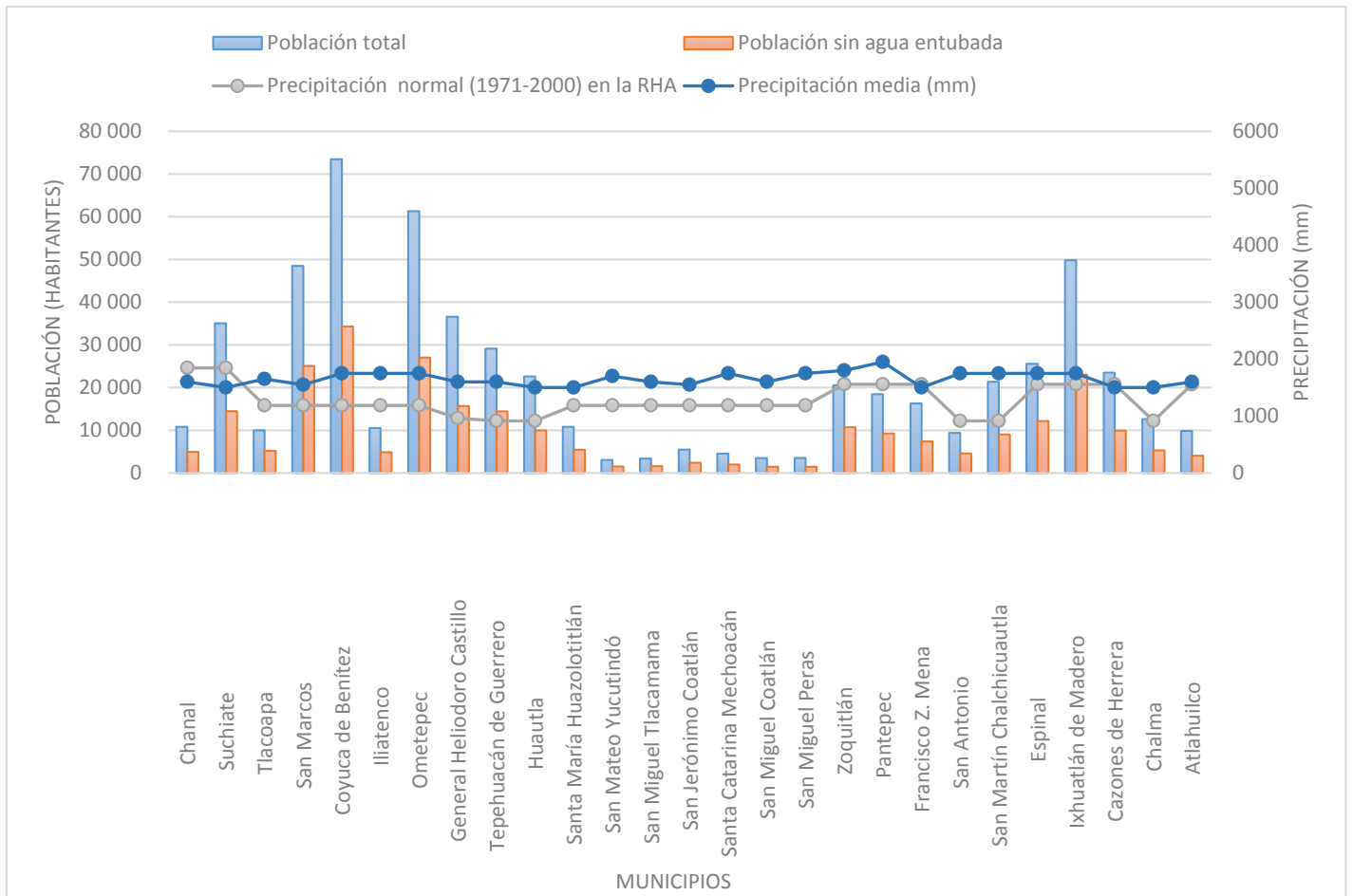
CONDICIÓN NIVEL DE COBERTURA BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN MUY ALTO

Para la condición Nivel de Cobertura Baja y el Nivel de Precipitación Muy Alto entre 2000mm y 4000mm, se observa que existen un total de 30 municipios, que representa una población de 301,367 habitantes sin acceso al agua potable, 47% del total, lo que indica un alto potencial para captación de agua de lluvia en los techos, potabilización y uso domiciliario, para aquellos municipios que aun presentan una deficiencia importante en el servicio, aunque menor en comparación con la condición anterior, el porcentaje más alto de ocupantes en viviendas sin agua entubada se presenta en los siguientes municipios de Pijijiapan y Benemerito de las Américas en Chiapas, Zozocolco de Hidalgo y las Choapas en el estado de Veracruz y en San Felipe Jalapa en Oaxaca.



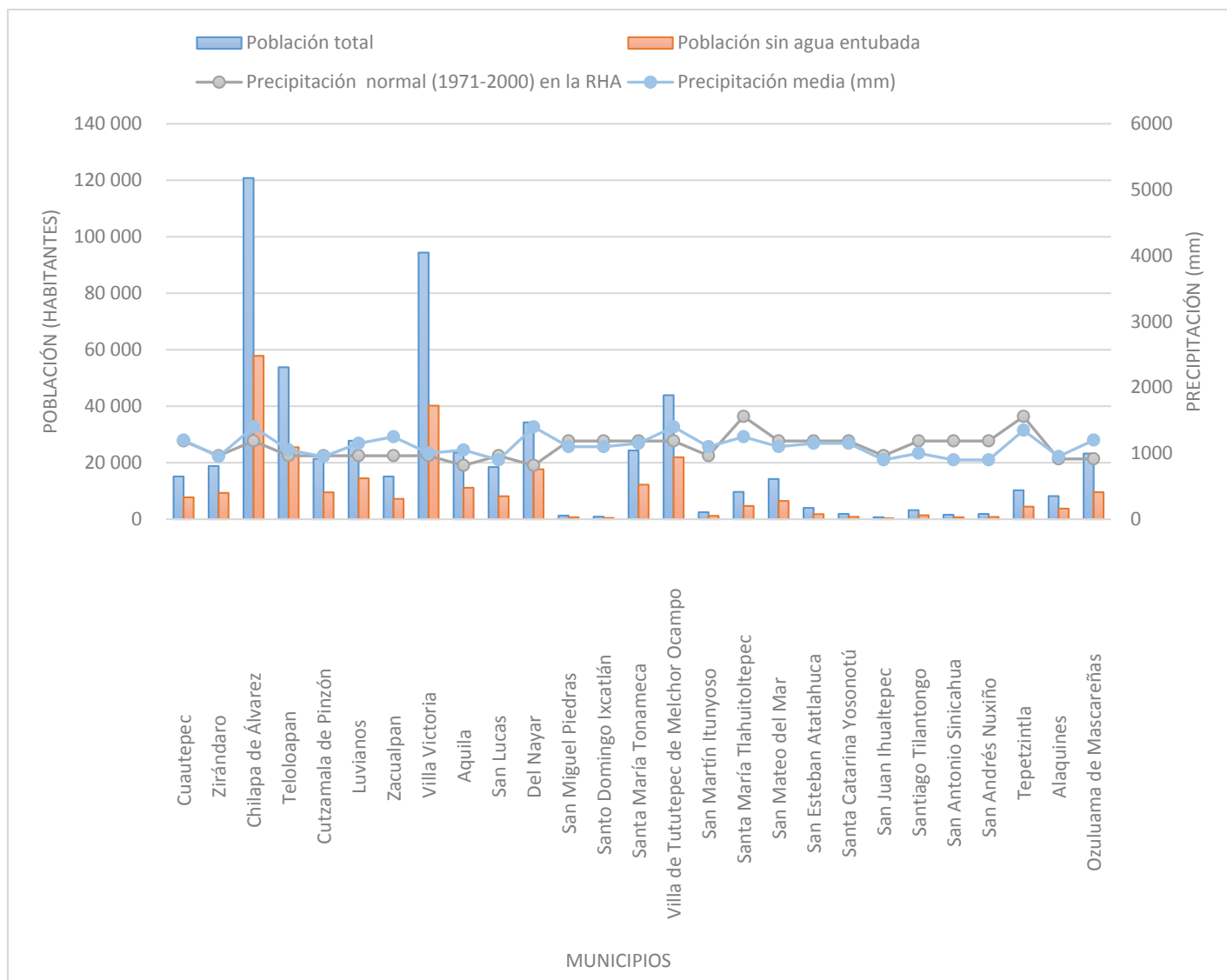
CONDICIÓN NIVEL DE COBERTURA BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN ALTO

Para el Nivel de Precipitación Alto y un Nivel de Cobertura Baja se tiene una población susceptible de impactarse con sistemas de captación de agua de lluvia como método alternativo de abastecimiento de 266, 933 hab. (46% del total) distribuidos en 27 municipios como se muestra en la siguiente gráfica.



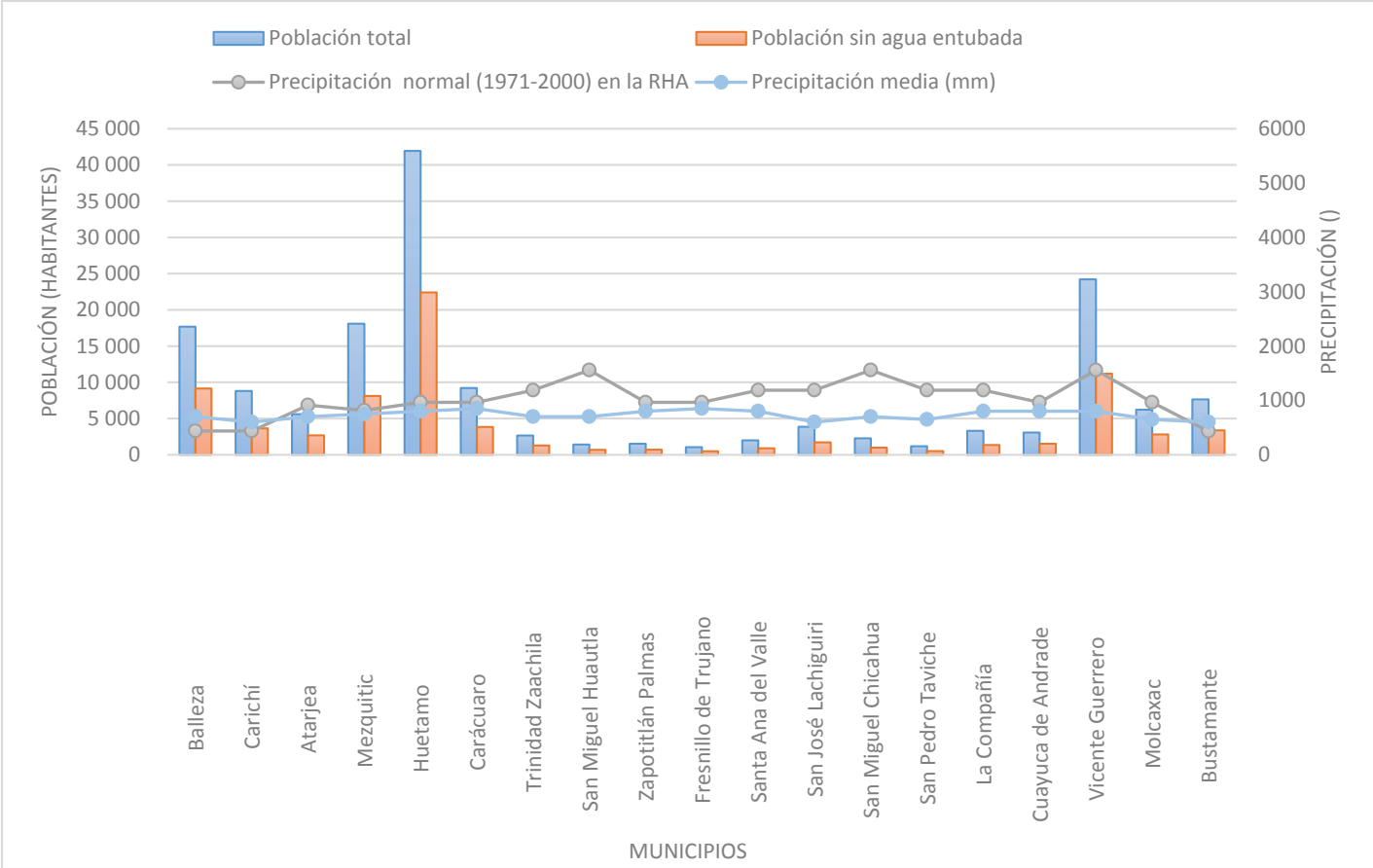
CONDICIÓN NIVEL DE COBERTURA BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN BAJO

El Nivel de Precipitación Bajo combinado con el Nivel de Cobertura Baja se presenta en 27 municipios con una población sin acceso al agua potable de 279, 874 habitantes, 47% del total, en esta figura se destacan por la alta densidad de población presente los municipios de Chilapa de Álvarez y Teloloapan en el estado de Guerrero, además del municipio de Villa Victoria en el estado de México y Villa de Tututepec en el estado de Oaxaca.



CONDICIÓN NIVEL DE COBERTURA BAJA Y NIVEL DE PRECIPITACIÓN MUY BAJO

El Nivel de Precipitación Muy Bajo combinado con el Nivel de Cobertura Baja, entendida como la condición más favorecida en cuanto abastecimiento, se presenta en tan sólo 19 municipios con una población sin acceso al agua potable de 77, 213 habitantes.



ANEXO 2

AUXILIARES DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

La metodología para la obtención de los datos correspondientes a la población total y población sin servicio de agua potable, así como la delimitación de la muestra y los niveles promedio de precipitación fueron descritos anteriormente, sin embargo la precipitación mensual necesaria para el cálculo de cada municipio se obtuvo de la siguiente manera:

PRECIPITACIÓN

La determinación de la precipitación mensual para los municipios se realizó con un análisis de las normales climatológicas de las estaciones existentes del Servicio Meteorológico Nacional, con el apoyo de un Sistema de Información Geográfica que permitió superponer la capa correspondiente al mapa generado para la estratificación de la muestra y las capas con la localización de las estaciones climatológicas para realizar el análisis de los datos mediante el método de los polígonos de Thiessen.

De acuerdo con lo establecido en el libro Fundamentos de Hidrología de Superficie (Aparicio Mijares, 1989), el método consiste en lo siguiente:

1. Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
2. Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos. Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
3. Cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca⁶. El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente.
4. La lluvia media se calcula entonces como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$\overline{Ppn}_i = \frac{1}{A_{Tm}} \sum_{i=1}^n A_i \cdot Ppn_i = \%Th_i \sum_{i=1}^n Ppn_i$$

\overline{Ppn}_i : Precipitación Pluvial Normal promedio del mes i en mm

Ppn_i : Precipitación Pluvial Normal del mes i en mm

A_{Tm} : Área total del municipio en km²

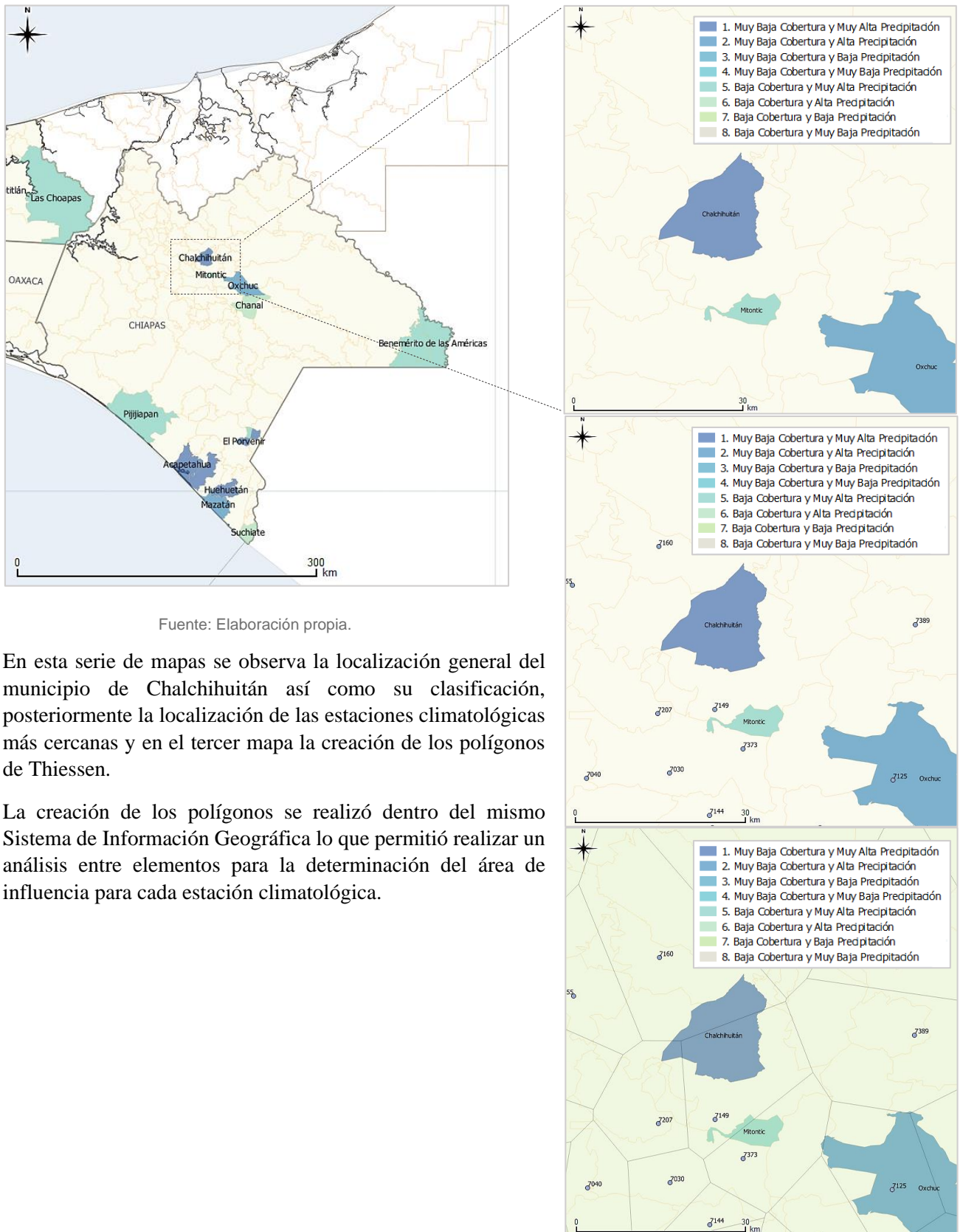
A_i : Área de influencia de la estación en km²

$\%Th_i$: Porcentaje de Thiessen equivalente a la proporción de área de influencia respecto al área total de la estación i

Véase el siguiente ejemplo para el municipio de Chalchiuitán en el estado de Chiapas con un Grado de Marginación MUY ALTO y una clasificación tipo 1 con Muy Baja Cobertura y Muy Alta Precipitación:

⁶ Para este caso este límite se considera la frontera del municipio.

CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN CORRESPONDIENTE AL MUNICIPIO DE CHALCHIHUITÁN



Fuente: Elaboración propia.

En esta serie de mapas se observa la localización general del municipio de Chalchihuitán así como su clasificación, posteriormente la localización de las estaciones climatológicas más cercanas y en el tercer mapa la creación de los polígonos de Thiessen.

La creación de los polígonos se realizó dentro del mismo Sistema de Información Geográfica lo que permitió realizar un análisis entre elementos para la determinación del área de influencia para cada estación climatológica.

Los siguientes mapas muestran el área parcial del municipio correspondiente a la estación de influencia, este proceso se realizó, al igual que el anterior, con ayuda de las capacidades del Sistema de Información Geográfica.



Con el valor del %Thiessen y el valor de la precipitación normal se realizó el cálculo para obtener la precipitación pluvial normal correspondiente al municipio de Chalchihuitán, como se muestra en la siguiente Tabla.

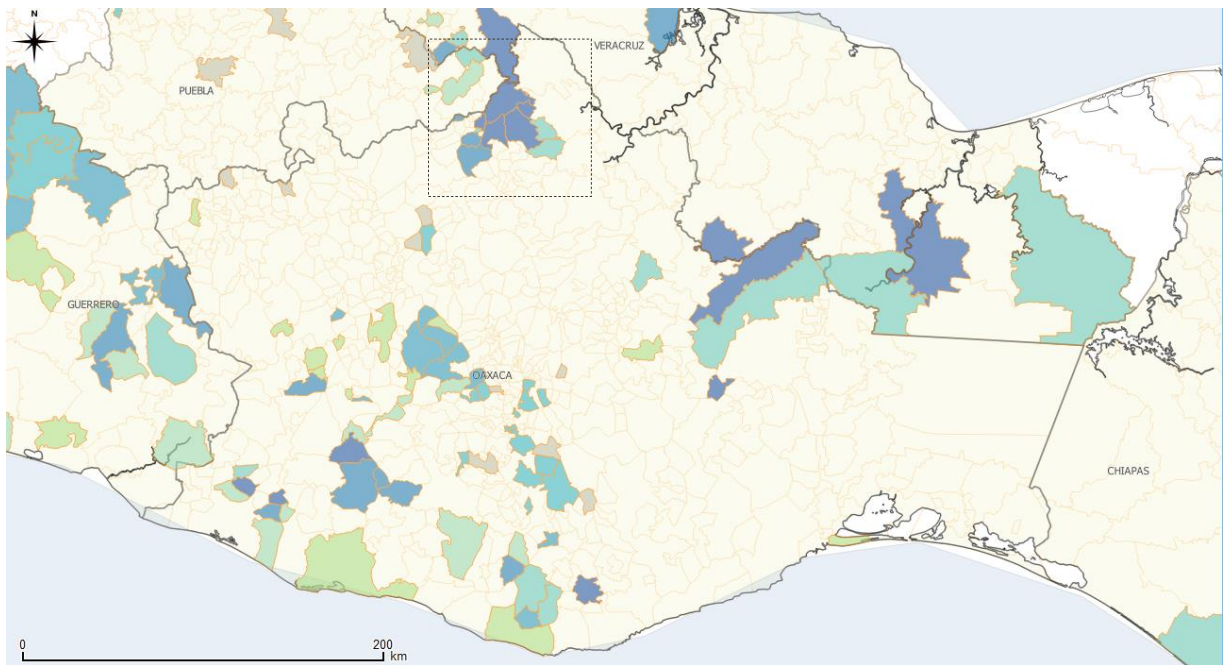
Mes	PRECIPITACIÓN "CHENALHO" PERIODO 1981-2010		PRECIPITACIÓN "LARRAINZAR" PERIODO 1981-2010		PRECIPITACIÓN "SIMOJOVEL" PERIODO 1981-2010		PONDERADO
	Normal	Días con lluvia	Normal	Días con lluvia	Normal	Días con lluvia	Precipitación
Enero	37.1	6.0	65.6	9.1	73.0	8.6	51.4
Febrero	34.1	4.7	56.8	7.2	69.2	6.4	47.9
Marzo	28.4	4.8	45.0	6.5	46.2	4.9	35.6
Abril	48.1	6.2	60.9	7.5	63.3	4.9	54.2
Mayo	99.6	10.7	139.3	13.3	151.5	10.8	120.3
Junio	271.1	18.6	253.9	20.8	338.3	19.3	294.4
Julio	202.2	17.4	193.6	19.9	253.0	17.6	220.1
Agosto	235.2	18.7	235.5	21.1	329.6	19.1	269.2
Septiembre	291.1	21.2	325.0	24.2	393.6	21.1	329.7
Octubre	153.8	15.7	171.4	18.1	225.0	15.0	180.3
Noviembre	47.0	7.8	94.0	10.9	147.1	10.2	85.4
Diciembre	36.4	6.2	60.5	9.1	88.1	8.6	56.2
Anual	1484.1	138.0	1701.5	167.7	2177.9	146.5	1744.738
%Thiessen	0.59		0.05		0.36		
	SAN PEDRO CHENALHO (CFE)		LARRAINZAR		SIMOJOVEL (DGE)		
ESTACIÓN:		7149		7207		7160	
LATITUD:		16° 53'37"		16° 53'13"		17° 08'24"	
LONGITUD:		92° 37'32"		92° 42'56"		92° 42'51"	
ALTURA (msnm):		1537		2000		660	

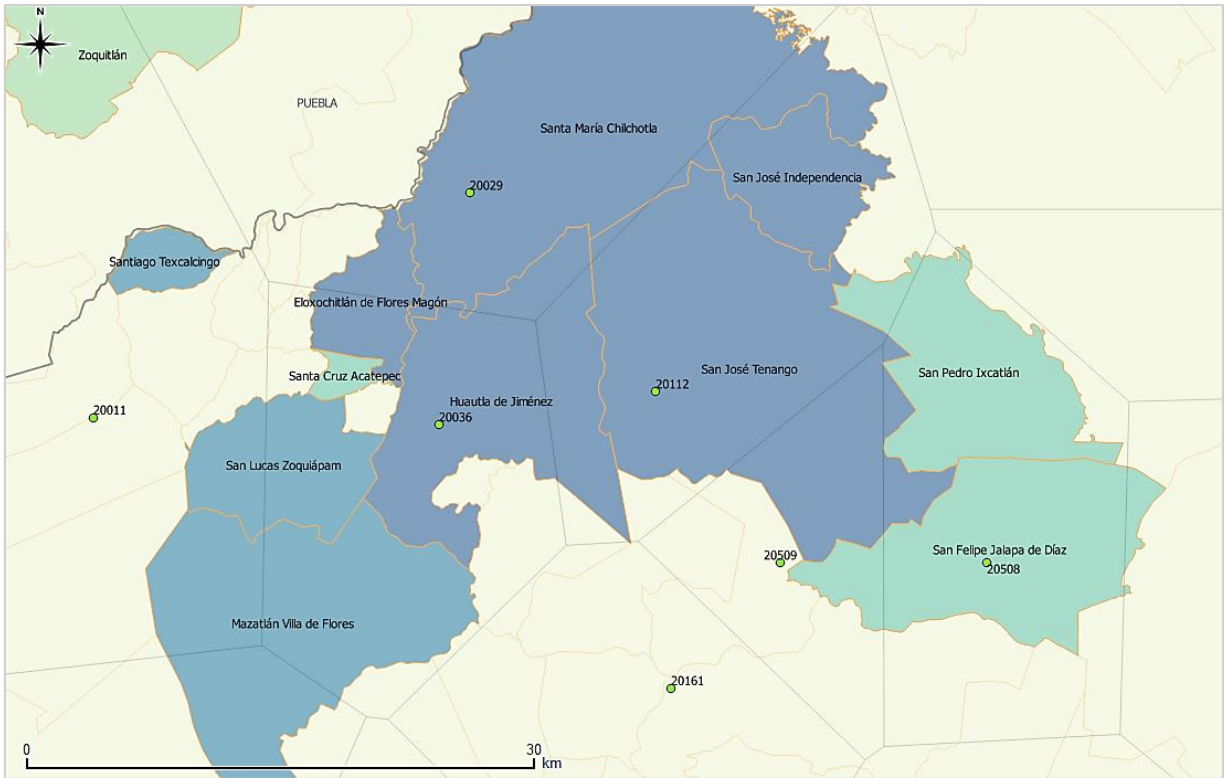
A partir de dichos valores se procedió con la metodología de análisis descrita en el apartado 4.1.1 abreviada en la siguiente tabla:

Mes/días		Oferta	Demanda	Diferencias	Oferta acumulada	Demanda acumulada	Diferencias acumuladas
Septiembre	30	14.50658	6	8.50658	14.50658	6	8.50658
Octubre	31	7.933728	6.2	1.733728	22.440308	12.2	10.240308
Noviembre	30	3.756984	6	-2.243016	26.197292	18.2	7.997292
Diciembre	31	2.473548	6.2	-3.726452	28.67084	24.4	4.27084
Enero	31	2.263756	6.2	-3.936244	30.934596	30.6	0.334596
Febrero	28	2.106324	5.6	-3.493676	33.04092	36.2	-3.15908
Marzo	31	1.568072	6.2	-4.631928	34.608992	42.4	-7.791008
Abril	30	2.385328	6	-3.614672	36.99432	48.4	-11.40568
Mayo	31	5.291836	6.2	-0.908164	42.286156	54.6	-12.313844
Junio	30	12.955008	6	6.955008	55.241164	60.6	-5.358836
Julio	31	9.682552	6.2	3.482552	64.923716	66.8	-1.876284
Agosto	31	11.844756	6.2	5.644756	76.768472	73	3.768472
Volumen del almacenamiento							22.554152

De esta manera se obtuvieron los datos de precipitación de la mayoría de los municipios, en algunos el área de influencia de una estación absorbía por completo a algún municipio por ello los datos de precipitación correspondían a las normales de precipitación de dicha estación, en algunos casos el municipio sólo tenían un área despreciable para fines de los cálculos en alguna otra área de influencia, a continuación se presentan algunos ejemplos de dichos casos.

CASO: ESTADO DE OAXACA, FRONTERA CON EL ESTADO DE VERACRUZ





En esta ampliación del mapa se pueden apreciar los diferentes casos que se presentaron al momento de realizar el análisis de precipitación:

- El municipio de San José Independencia está prácticamente contenido en el área de influencia de la estación 20112, sin embargo para fines del cálculo el área fuera de dicha área de influencia se despreció.
- El municipio de Santa Cruz Acatepec se encuentra completamente inmerso en el área de influencia de la estación 20036.
- El municipio de Mazatán Villa de Flores se encuentra en tres áreas de influencia distintas.