



POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL) EN MEXICO

16 de marzo de 2016

Dra. Alma C. Chávez Mejía
(achavezm@iingen.unam.mx)

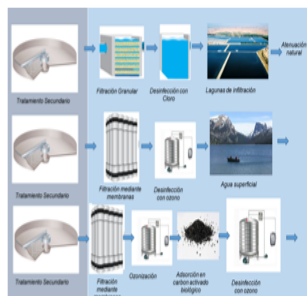
Ing. Marina Mautner
(mmautner@iingen.unam.mx)

Grupo Tratamiento y Reúso
Instituto de Ingeniería UNAM



I

IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA RECARGA NATURAL Y ARTIFICIAL, DIRECTA O INDIRECTA, DE ACUÍFEROS CON AGUA PLUVIAL Y RESIDUAL TRATADA



OBJETIVOS

- ❑ **Establecer criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales para promover la recarga natural y artificial, directa o indirecta, de acuíferos con agua pluvial y residual tratada.**
- ❑ **Evaluar la viabilidad del uso del SCALL en comunidades marginadas como único método de abastecimiento.**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❑ **Determinar los municipios con menor acceso al agua potable y zonas de mayor precipitación del país**
- ❑ **Correlacionar la precipitación con el área de captación requerida para abastecer a una familia promedio (4 hab) mediante un modelo matemático**

Uso de sistemas SCALL como única opción de abastecimiento



Escala: Nivel municipio

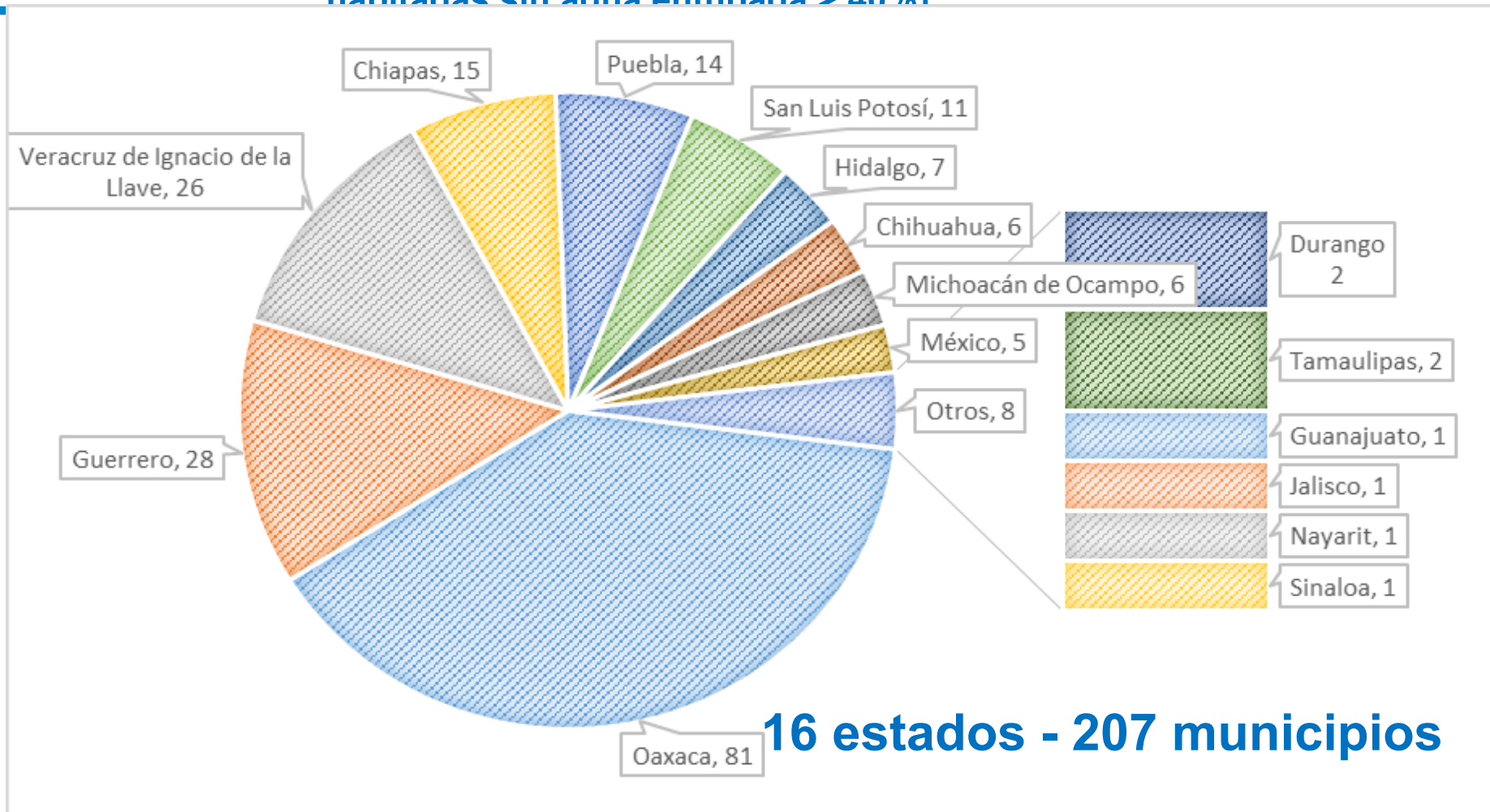
Municipios con bajo acceso recurso hídrico: > 40%
(estadísticas de la CONAPO, 2010)

Grado de marginación: Alto a Muy Alto (CONAPO, 2010)

Precipitación: > 550 mm (promedio nacional 770 mm)

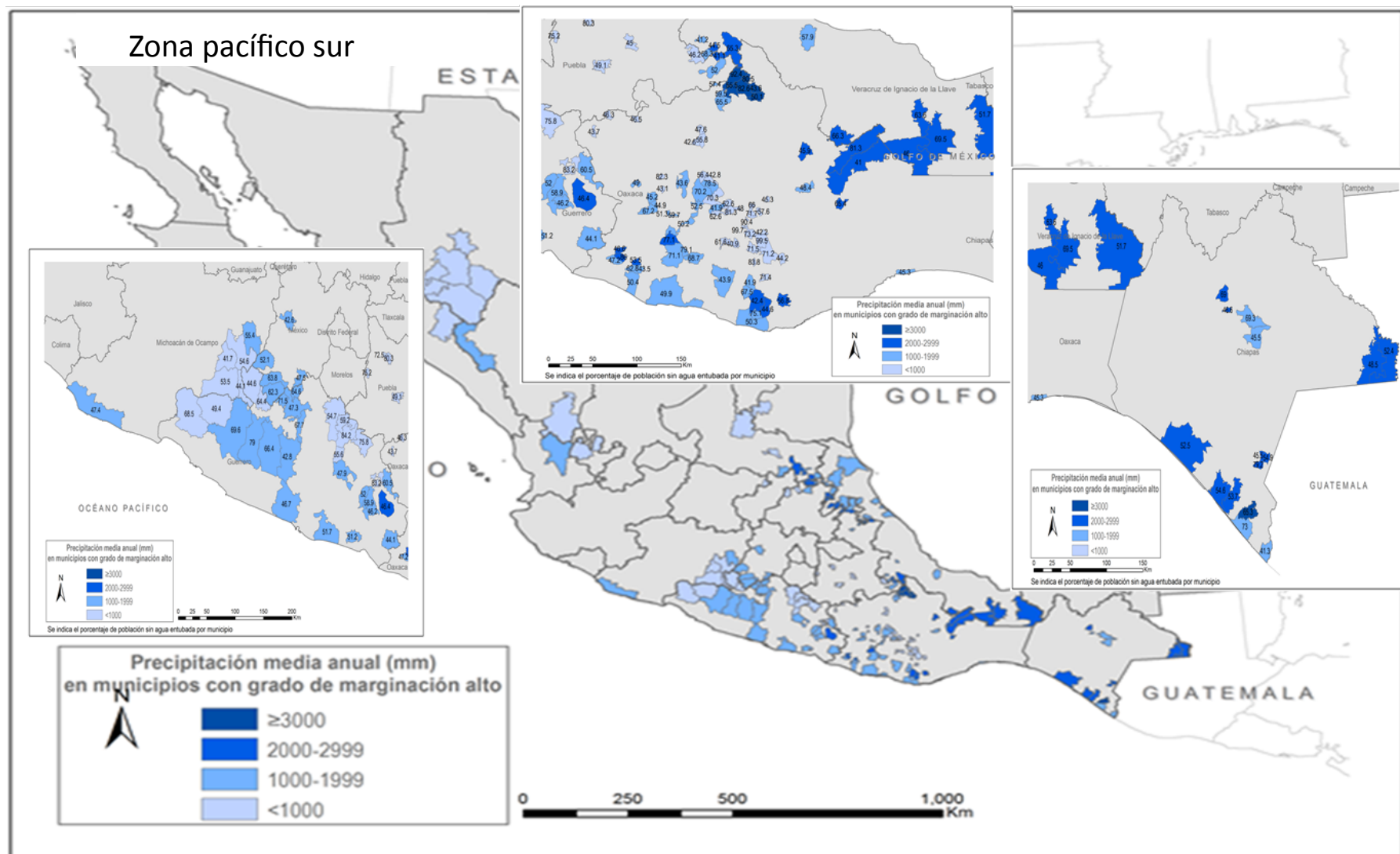
- ✓ La precipitación normal en la Región Hidrológica Administrativa (1971-2000).
- ✓ El intervalo de precipitación de acuerdo con los Prontuarios de Información Geográfica Municipal
- ✓ La Cuenca hidrológica y la Subcuenca a la que pertenece cada municipio

Municipios por entidad federativa con alta y muy alta marginación e insuficiente abastecimiento (ocupantes en viviendas particulares habitadas sin agua entubada > 40%)



3'559,529 hab, 1'962,290 habitantes < 40% de acceso al agua entubada (Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Chiapas concentran el 67%).

Precipitación media anual en municipios con grado de marginación alto zona pacífico sur

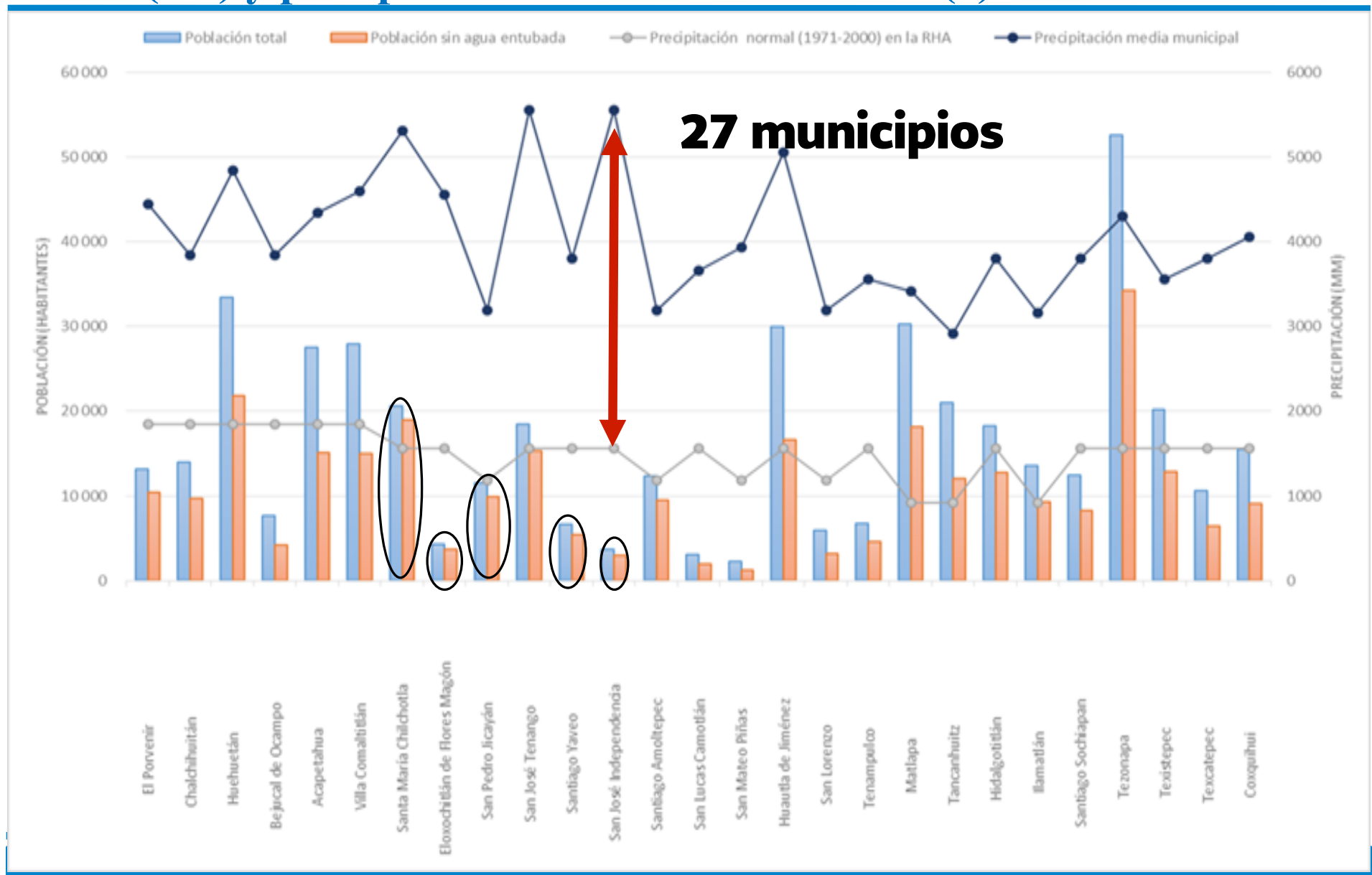


Intervalo de precipitación y % de población sin acceso al agua entubada > 40% de acuerdo al valor asignado

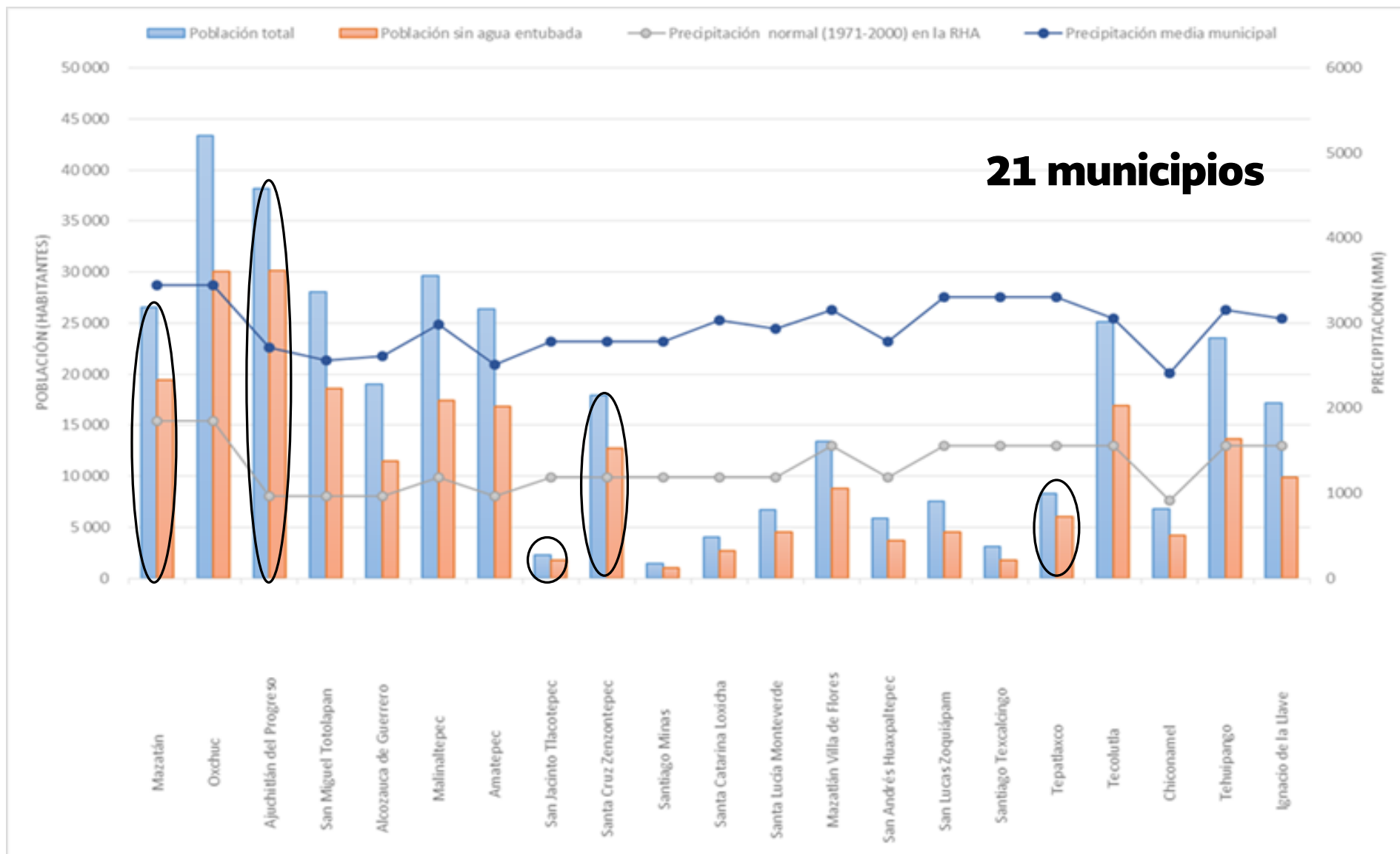
Estadística	% ocupantes en viviendas SIN AGUA entubada	Valor asignado	Nivel de cobertura	precipitación a nivel municipal (mm anual)	Niveles de precipitación
Primer Intervalo	40-46	1	baja	550 – 900	4
Segundo Intervalo	>46-53	2		900-1,500	3
Tercer Intervalo	>53-66	3	Muy baja	1,500-2,000	2
Cuarto Intervalo	>66-99.7	4		2,000-4,000	1

8 categorías

Municipios con muy baja cobertura de agua potable (3-4) y precipitación entre 2000-4000mm (1)



Municipios con muy baja cobertura de agua potable (3-4) y precipitación entre 1500-2000mm (2)



Municipios con nivel de cobertura MUY BAJO (3, 4), con mayor proporción de ocupantes en viviendas sin agua entubada.

Nivel de Precipitación	Municipio	Población total	Población sin agua entubada y %		Índice de marginación Escala 0 a 100	Precipitación normal (1971-2000) en la RHA (mm)
1 (2,000-4,000 mm)	Santa María Chilchotla, Oax.	20584	19010	81-92	56.2	1558
	Eloxochitlán de Flores Magón, Oax.	4263	3702		56.9	1558
	San Pedro Jicayán, Oax.	11555	9940		46.0	1187
	San José Tenango, Oax.	18478	15264		61.7	1558
	Santiago Yaveo, Oax.	6665	5418		41.6	1558
2 (1,500-2,000)	San Jacinto Tlacotepec, Oax.	2231	1764	73-79	45.5	1187
	Ajuchitlán del Progreso, Gro.	38203	30164		46.5	963
	Tepatlaxco, Ver.	8249	6021		40.8	1558
	Mazatán, Chis.	26573	19386		36.2	1846
	Santa Cruz Zenzontepec, Oax.	17897	12726		49.8	1187
3 (900-1,500)	Xalpatláhuac, Gro.	12240	10178	76-83	56.0	963
	San Cristóbal Amoltepec, Oax.	1283	1057		49.3	1187
	Ocoyucan, Pue.	25720	20646		36.2	963
	Santo Domingo Nuxaá, Oax.	3610	2834		48.0	1187
	Olinalá, Gro.	24723	18750		47.2	963
4 (500 - 900)	San Pedro Apóstol, Oax.	1544	1540	90-100	38.9	1187
	San Juan Lachigalla, Oax.	3285	3269		47.9	1187
	San Pedro Mártir, Oax.	1711	1675		50.0	1187
	San Antonino Castillo Velasco, Oax.	5651	5110		34.5	1558
	Batopilas, Chih.	14362	12388		72.3	747
Nivel de Precipitación	Municipio	Población total	Población sin agua entubada	% Ocupantes en viviendas	Índice de marginación Escala 0 a 100	Precipitación normal (1971-2000) en la RHA (mm)
	Oax, Gue, Ver, Chih	248827	200842	81	48.1	

Municipios con Nivel Bajo de cobertura (1 y 2) en el servicio de agua potable, con mayor proporción de

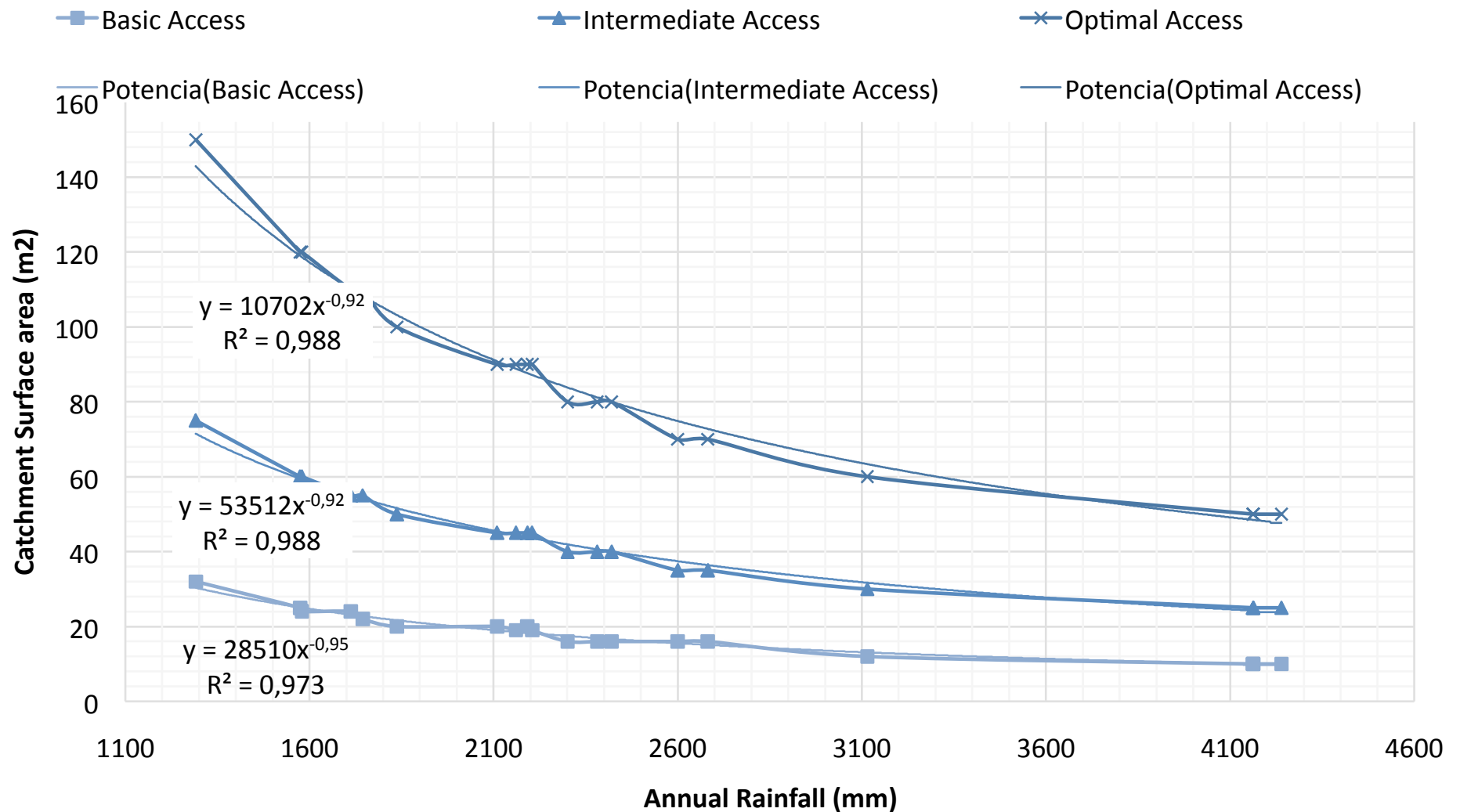
Nivel de Precipitación	Municipio	Población total	Población sin agua entubada y %		Índice de marginación escala 0 a 100	Precipitación normal (1971-2000) en la RHA
1 (2,000-4,000 mm)	Pijijiapan, Chis.	50079	26304	50-53	33.6	1846
	Benemérito de las Américas, Chi.	17282	9062		37.6	1846
	Zozocolco de Hidalgo, Ver.	13434	6994		47.7	1558
	Las Choapas, Ver.	77426	40022		36.0	1558
	San Felipe Jalapa de Díaz, Oax.	26838	13434		42.4	1558
2 (1,500-2,000)	Zoquitlán, Pue.	20529	10685	50-52	50.9	1558
	Tlacoapa, Gro.	9967	5185		54.3	1187
	San Marcos, Gro.	48501	25054		38.8	1187
	Santa María Huazolotitlán, Oax.	10794	5444		35.0	1187
	San Mateo Yucutindó, Oax.	3034	1523		44.7	1187
3 (900-1,500)	San Miguel Piedras, Oax.	1296	681	51-52	48.6	1187
	Luvianos, Méx.	27781	14484		38.0	963
	Del Nayar, Nay.	34300	17677		68.4	816
	Santo Domingo Ixcatlán, Oax.	877	451		43.4	1187
	Cuautepec, Gro.	15115	7739		43.5	1187
4 (500-900)	Huetamo, Mich.	41937	22418	48-53	32.3	963
	Balleza, Chih.	17672	9138		50.2	438
	Cuayuca de Andrade, Pue.	3062	1505		36.9	963
	Trinidad Zaachila, Oax.	2653	1275		33.5	1187
	Atarjea, Gto.	5610	2682		37.7	914
Precipitación	Municipio	Población total	Población sin agua entubada	% Ocupantes en viviendas sin agua entubada	Índice de marginación escala 0 a 100	Precipitación normal (1971-2000) en la RHA
	Chis, Pue, Ver, Oax, Guer, Nay, Mex, Mich,	428187	221757	48-53	43	1223.9

Parámetros de diseño de los SCALL

➤ Número de habitantes	– determinado por el/la usuario/a
➤ Material del techo	– determinado por el/la usuario/a
➤ Coeficiente de escurrimiento	– usando los valores reportados en la literatura
➤ Área de captación disponible	– variable o fijo dependiendo en el/la usuario/a
➤ Nivel de servicio	Literatura (WHO) – Básico (20 L), Intermedio (50 L), Óptimo (100 L) por día
➤ Volumen de la cisterna	– variable o fijo dependiendo en el/la usuario/a (>\$\$\$ \$)
➤ Precipitación anual/ mensual	determinada por ubicación geográfica

Correlations models for rainfall and

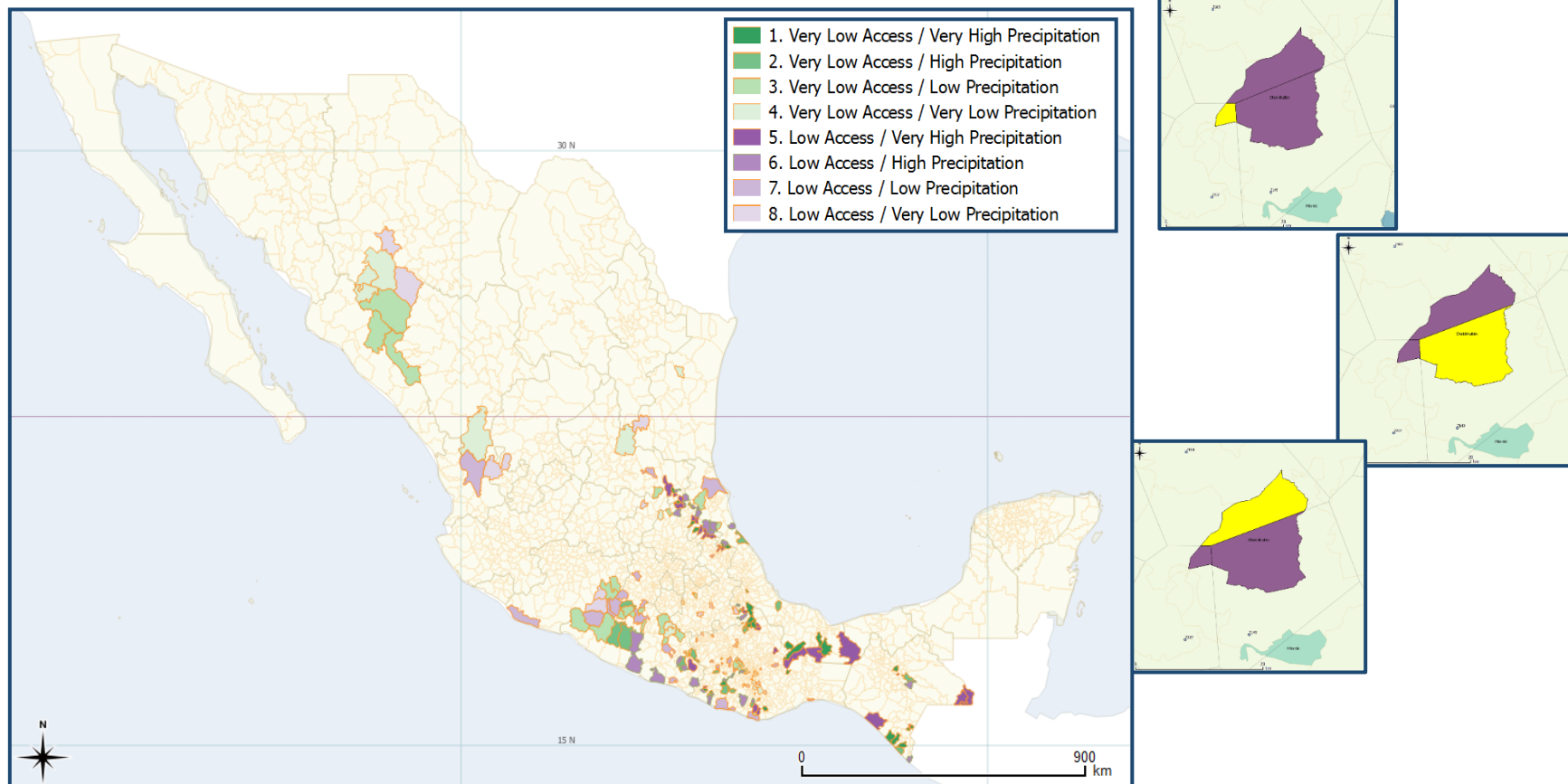
catchment surface area



Assessing Marginalized Communities in Mexico for Implementation of Rainwater Catchment Systems

Gerardo Sámano-Romero, Marina Mautner, Alma Chávez-Mejía and Blanca Jiménez-Cisneros

Received: 19 September 2015; Accepted: 11 December 2015; Published: date



Conclusiones

- ☐ el éxito en la implementación SCALL depende principalmente de la precipitación del lugar, la distribución y de las características físicas del sistema (volumen del almacenamiento)
- ☐ El nivel de precipitación mínimo requerido debe ser mayor a 1000 mm anuales, sin embargo, **se requiere realizar análisis sobre el área de captación, el volumen necesario a administrar y el tamaño de los elementos de almacenamiento para poder emitir un juicio certero sobre la viabilidad.**
- ☐ Los SCALL deben de ser utilizados en comunidades marginales dispersas.
- ☐ Los SCALL en el Factor Económico requieren de una evaluación comparativa con otros modos de abastecimiento.
- ☐ Los municipios con mayores deficiencias en materia de abastecimiento de agua potable se encuentran en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

- ☐ Los municipios que presentan lluvias de manera más uniforme durante el año conducen a tamaños de almacenamiento menores.
- ☐ 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.
- ☐ Se deben de generar estándares y normas mexicanas para la correcta utilización de esta técnica.
- ☐ El potencial de los SCALL como un método alternativo de abastecimiento en comunidades marginadas es muy alto, su implementación significaría un beneficio para las personas en peores condiciones y un método efectivo para resarcir las deficiencias existentes en cobertura de abastecimiento.

Parámetros Seleccionados

Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL)

- Número de habitantes – determinado por el/la usuario/a
 - Material del techo – determinado por el/la usuario/a
 - Coeficiente de escurrimiento – usando los valores reportados en la literatura
 - Volumen de la cisterna – variable o fijo dependiendo en el/la usuario/a
 - Área de captación – variable o fijo dependiendo en el/la usuario/a
 - Nivel de servicio – Básico (20L), Intermedio (50L), Óptimo (100L) por día
 - Precipitación anual/mensual – determinada por ubicación geográfica
-
-

Aplicación para diseñar un SCALL

ENTRADA DE PARÁMETROS

ENTRADA DE
PARÁMETROS

Estado*:

Municipio*:

Número de habitantes
en su vivienda*:

Material de su techo:

Volumen de Cisterna[†]:

Especificar área de
captación ☐ Sí ☒ No

Área de Captación / Tamaño de su Techo [†] :	Sin Especificar	Sin Especificar
	Largo (m)	Ancho (m)

Nivel de Servicio:

Confiabilidad del Sistema:	La probabilidad que llueve la cantidad de lluvia del diseño es
	5
	de cada 10 años.

Restricciones y soluciones posibles

Número de habitantes, material de techo (0.8), ubicación geográfica, y nivel de servicio fijos:

- Ninguna restricción
 - Área de captación mínimo y volumen de almacenamiento óptimo
- Área de captación
 - Volumen de almacenamiento óptimo
- Volumen de almacenamiento
 - Área de captación óptimo
- Área de captación y volumen de almacenamiento
 - Diferencia entre agua disponible y nivel elegido Y un nivel de uso sugerido

Aplicación para diseñar un SCALL

Entrada de parámetros sin especificación de Área de captación y Volumen de la cisterna

ENTRADA DE PARÁMETROS

PERSONALIZADO

IDEAL PARA SU LOCALIDAD

OFERTA

DISEÑO

OFERTA

DISEÑO

ENTRADA DE PARÁMETROS

Estado*: Chiapas

Municipio*: Bejucal de Ocampo

Número de habitantes en su vivienda*: 4.5

Material de su techo: Sin especificar

Volumen de Cisterna†: Geomembrana - Tamaño Variable

Especificar área de captación

☐ Sí ☒ No

Área de Captación / Tamaño de su Techo†:

Sin Especificar

Sin Especificar

Largo (m)

Ancho (m)

Nivel de Servicio: Intermedio

Confiabilidad del Sistema:

La probabilidad que llueve la cantidad de lluvia del diseño es

5

de cada 10 años.

Generar Diseño

Aplicación para diseñar un SCALL

Oferta Ideal sin especificación de Área de captación ni
Volumen de la cisterna

IDEAL PARA SU LOCALIDAD

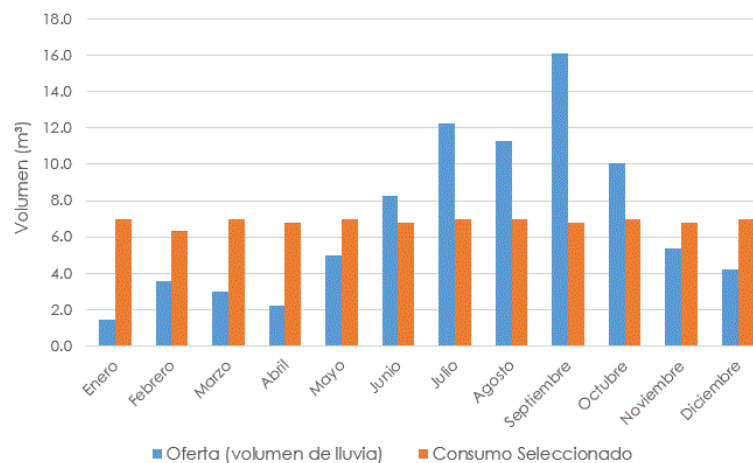
OFERTA

Su casa tendrá

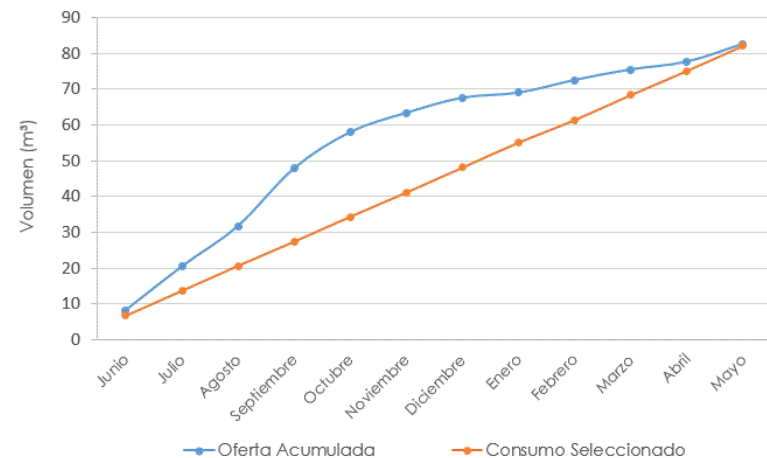
50 litros

de agua disponible por habitante
por día durante todo el año.

Volumen de oferta de lluvia y demanda de habitantes

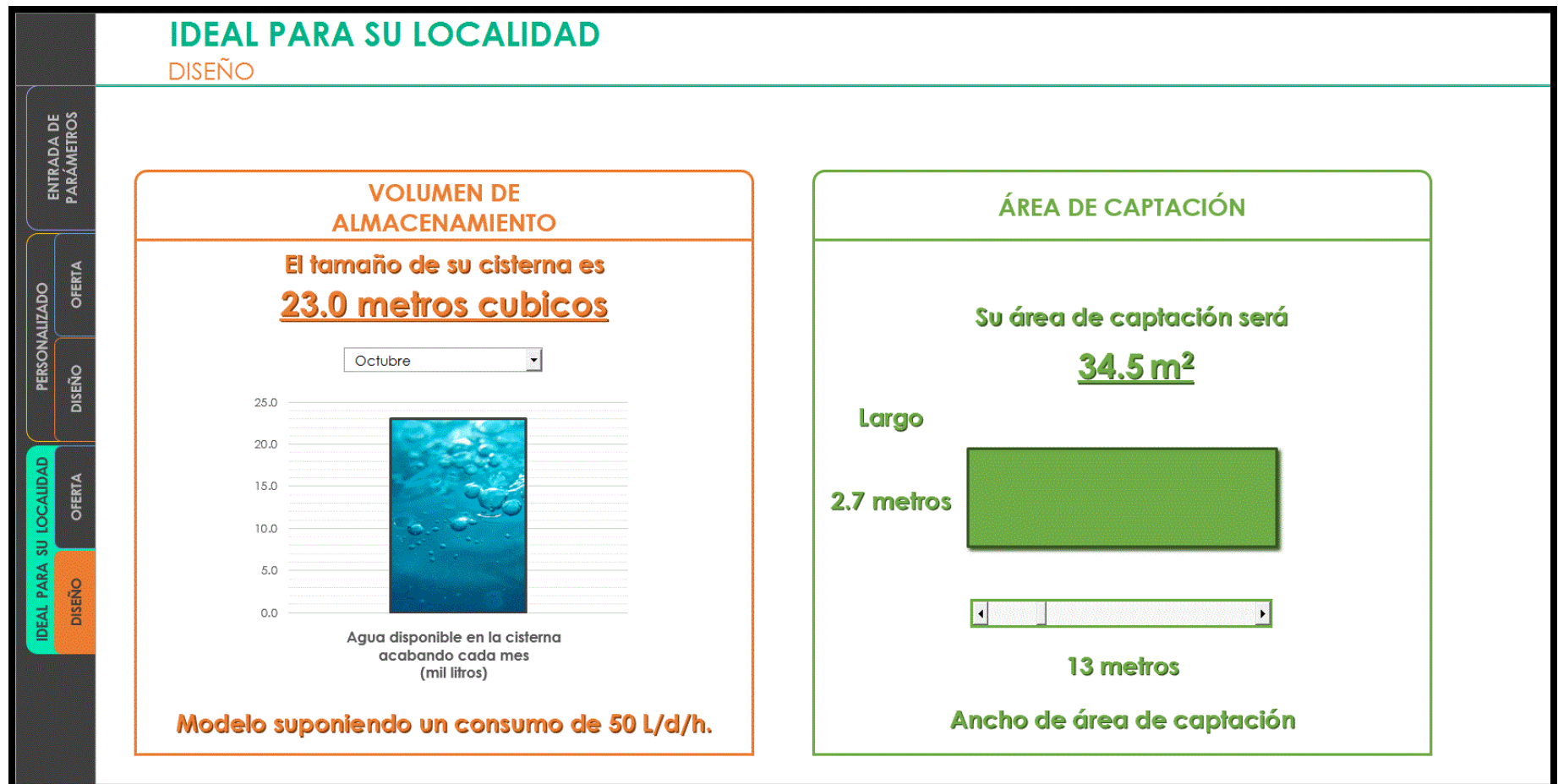


Volumen de oferta y demanda acumulada durante el año



Aplicación para diseñar un SCALL

Diseño Ideal sin especificación de Área de captación ni
Volumen de la cisterna



Aplicación para diseñar un SCALL

Entrada de parámetros con especificación de Área de captación y Volumen de la cisterna

ENTRADA DE PARÁMETROS

PERSONALIZADO

OFERTA

DISEÑO

IDEAL PARA SU LOCALIDAD

OFERTA

DISEÑO

ENTRADA DE PARÁMETROS

Estado*:

Puebla

Municipio*:

Cuetzalan del Progreso

Número de habitantes en su vivienda*:

4.5

Material de su techo:

Lámina de asfalto/asbesto

Volumen de Cisterna†:

Rotoplas - 10,000 L (Sin Equipo)

Especificar área de captación

☒ Sí ☐ No

Área de Captación / Tamaño de su Techo†:

6

5

Largo (m)

Ancho (m)

Nivel de Servicio:

Intermedio

Confiabilidad del Sistema:

La probabilidad que llueve la cantidad de lluvia del diseño es

5

de cada 10 años.

Generar Diseño

Aplicación para diseñar un SCALL

Oferta con especificación de Área de captación y Volumen de la cisterna

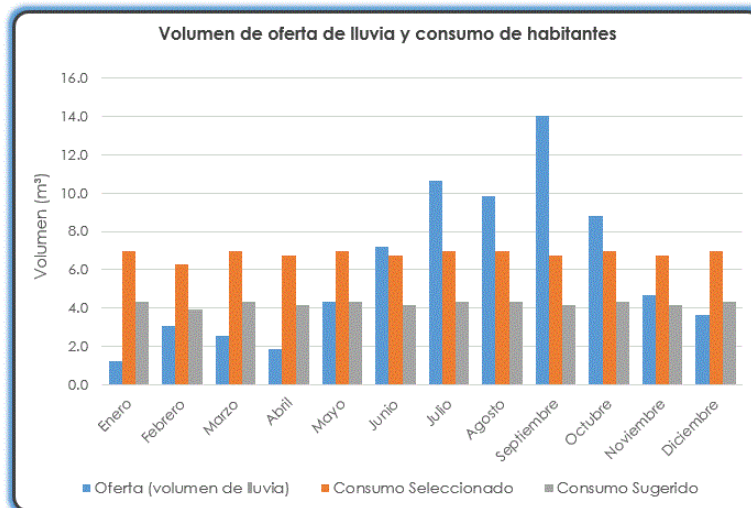
PERSONALIZADO

OFERTA

Su casa tendrá

31 litros

de agua disponible por habitante por día (L/d/h) durante todo el año.

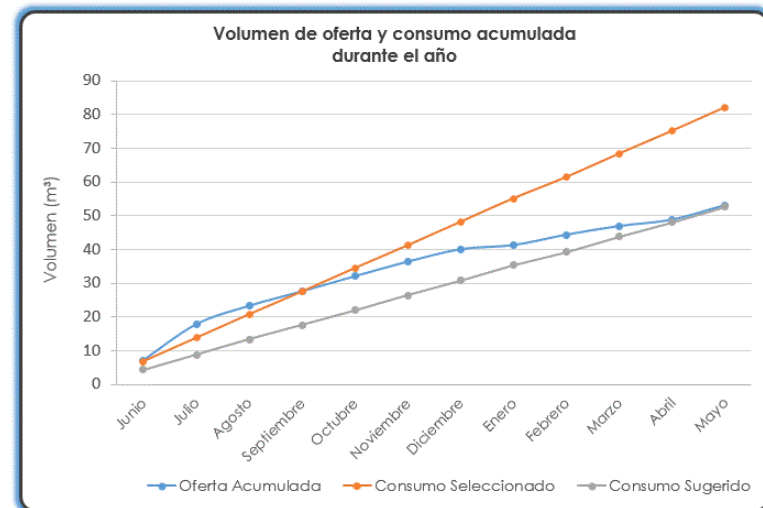


Su sistema proporcionará

62 %

del agua necesario para alcanzar al servicio de nivel seleccionado:

50 L/d/h



Aplicación para diseñar un SCALL

Diseño con especificación de Área de captación y Volumen de la cisterna

ENTRADA DE PARÁMETROS

PERSONALIZADO

IDEAL PARA SU LOCALIDAD

OFERTA

DISEÑO

OFERTA

DISEÑO

PERSONALIZADO

DISEÑO

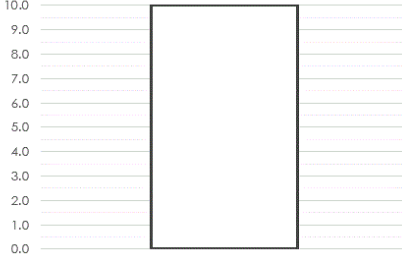
VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

El tamaño de su cisterna es **10.0 metros cubicos**

Modelo suponiendo un consumo sugerido de 50 L/d/h.

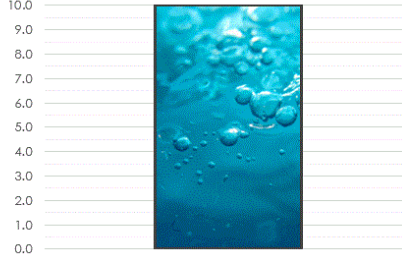
Modelo suponiendo un consumo seleccionado de 31 L/d/h.

Octubre



Agua disponible en la cisterna acabando cada mes (mil litros)

Octubre



Agua disponible en la cisterna acabando cada mes (mil litros)

ÁREA DE CAPTACIÓN

Su área de captación será **30 m²**

Largo

2.7 metros



Ancho

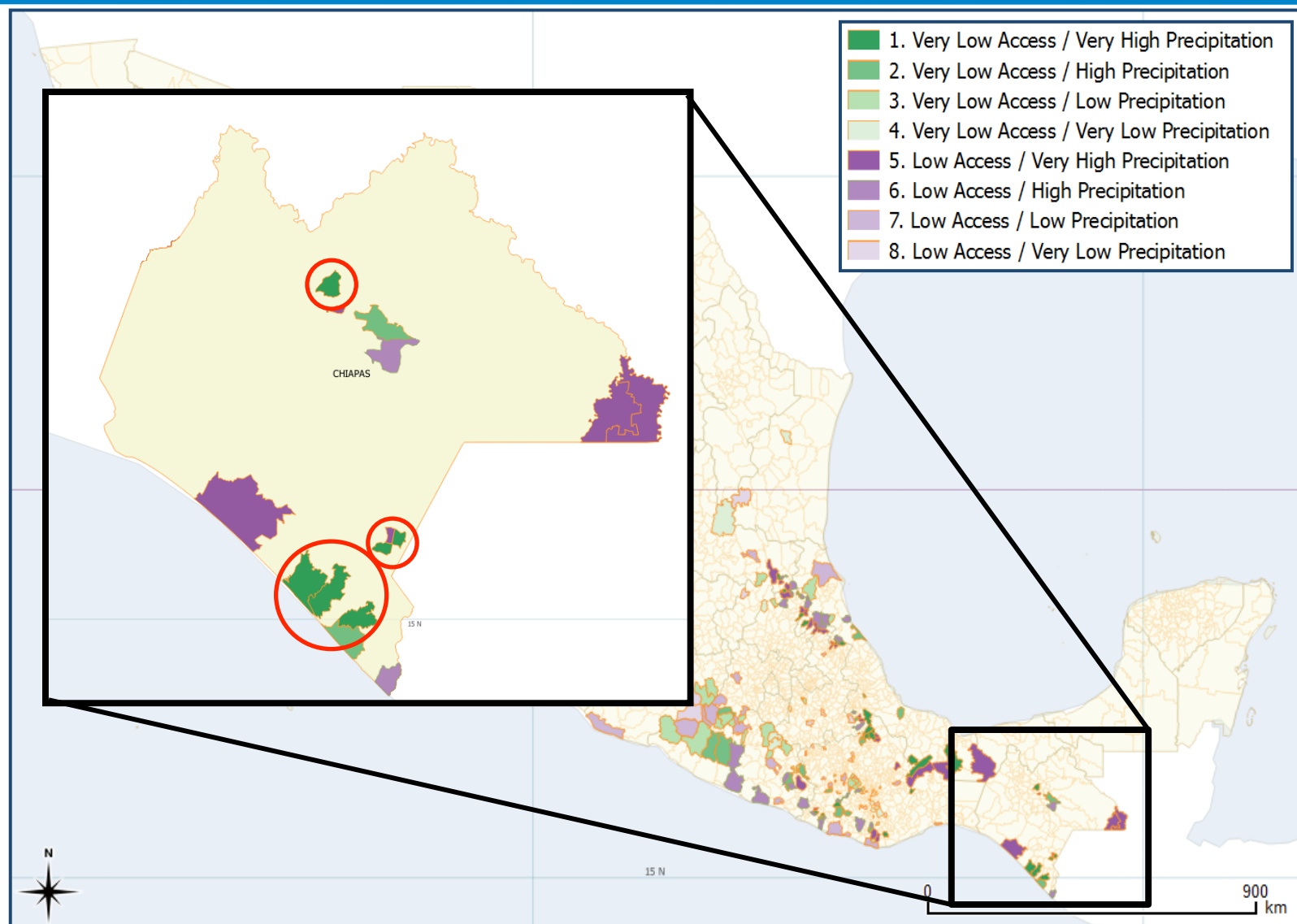
11 metros



Parámetros Seleccionados

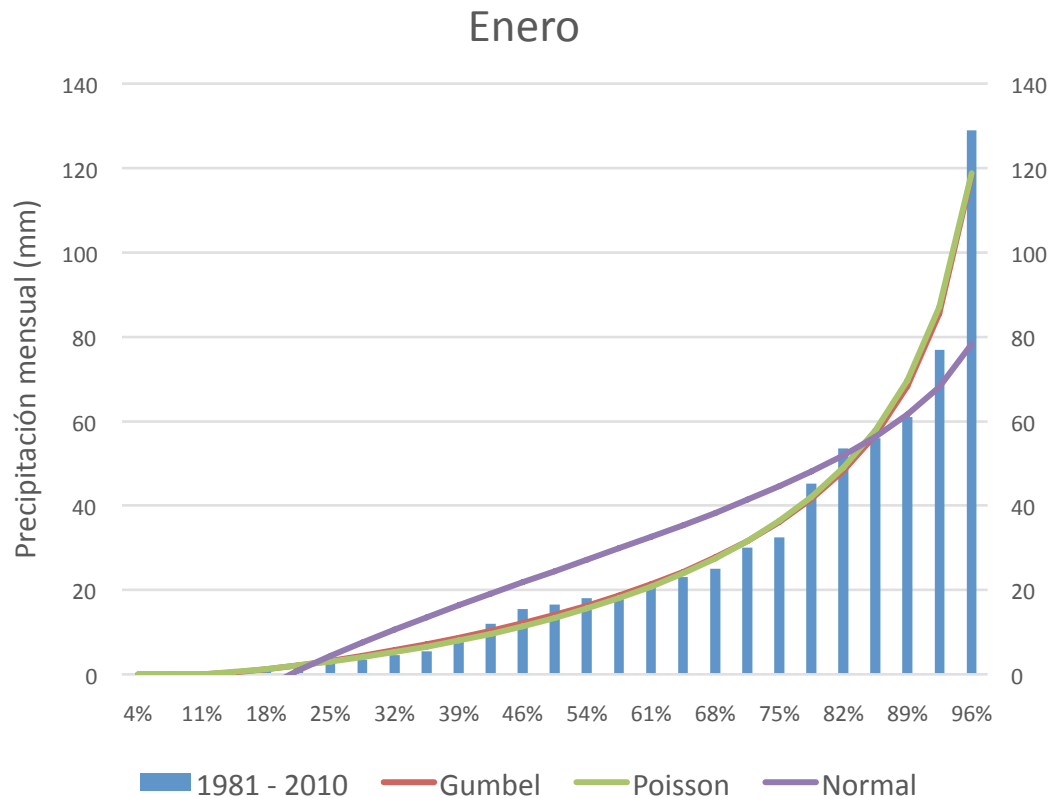
Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL)

- Número de habitantes – determinado por el/la usuario/a
 - Material del techo – determinado por el/la usuario/a
 - Coeficiente de escurrimiento – usando los valores reportados en la literatura
 - Volumen de la cisterna – variable o fijo dependiendo en el/la usuario/a
 - Área de captación – variable o fijo dependiendo en el/la usuario/a
 - Nivel de servicio – Básico (20L), Intermedio (50L), Óptimo (100L) por día
 - **Precipitación anual/mensual** – determinada por ubicación geográfica
pero depende en la disponibilidad de los datos de precipitación
y los métodos de análisis
-
-



Análisis de precipitación

Confiabilidad del Sistema:	La probabilidad que llueve la cantidad de lluvia del diseño es
	5
	de cada 10 años.



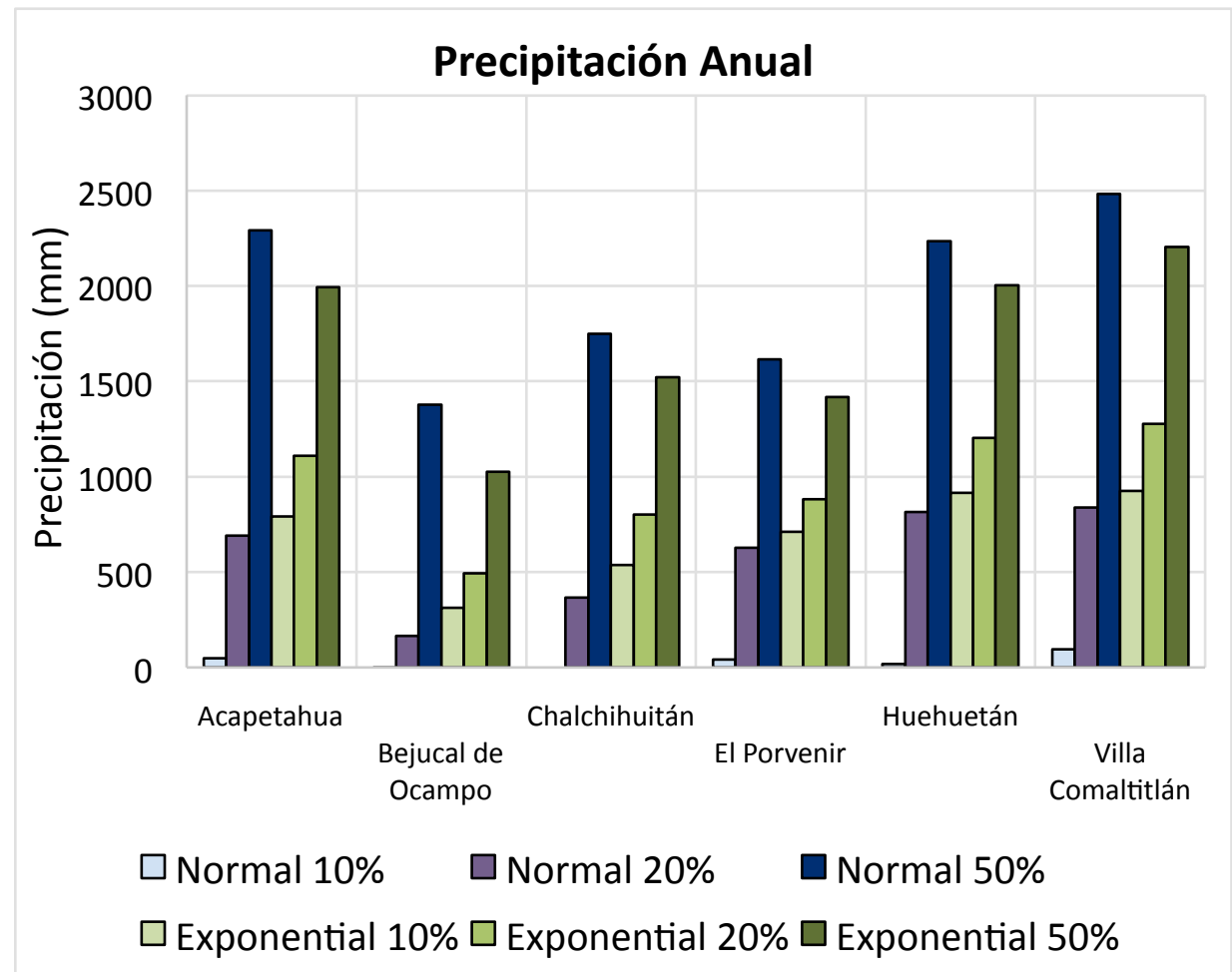
❖ Distribución

- ❖ Normal
- ❖ Gumbel
- ❖ Exponencial

Análisis de precipitación

❖ Resultados

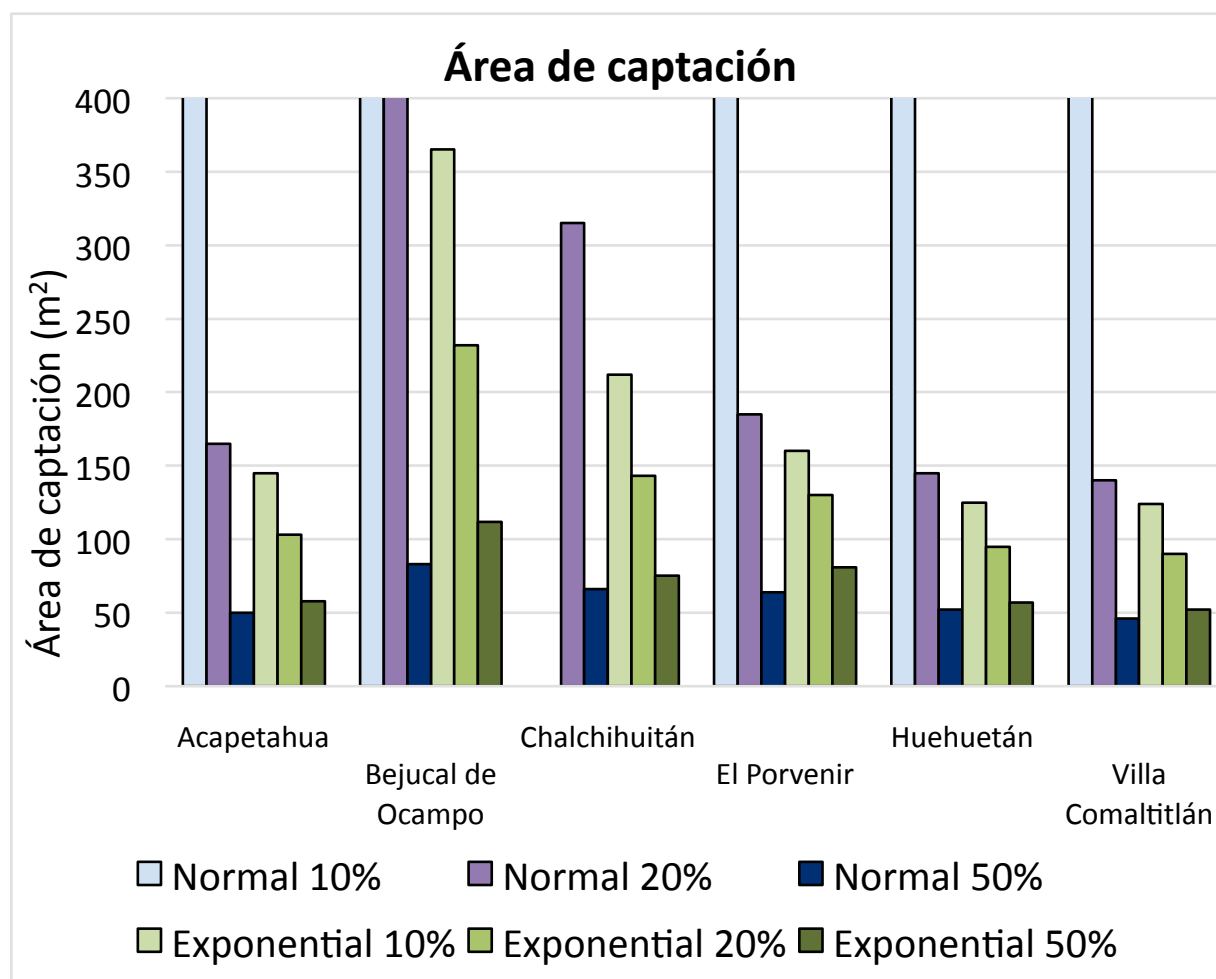
- ❖ Distribución exponencial es conservadora
- ❖ Distribución normal es muy conservadora
- ❖ Tiene impacto en ambos:
 - ❖ Área de captación
 - ❖ Volumen de almacenamiento



Análisis de precipitación

❖ Resultados

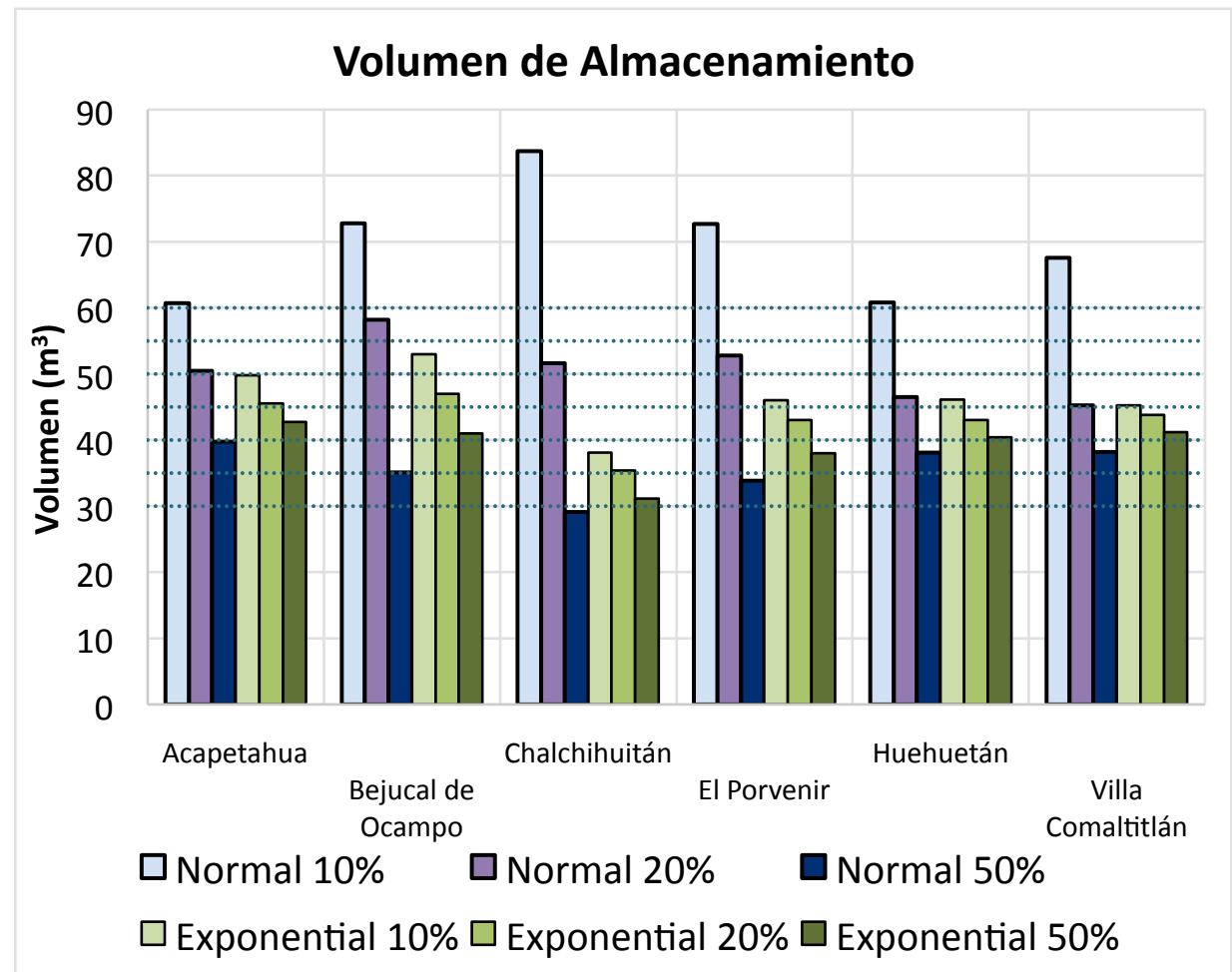
- ❖ Distribución exponencial es conservadora
- ❖ Distribución normal es muy conservadora
- ❖ Tiene impacto en ambos:
 - ❖ Área de captación
 - ❖ Volumen de almacenamiento



Análisis de precipitación

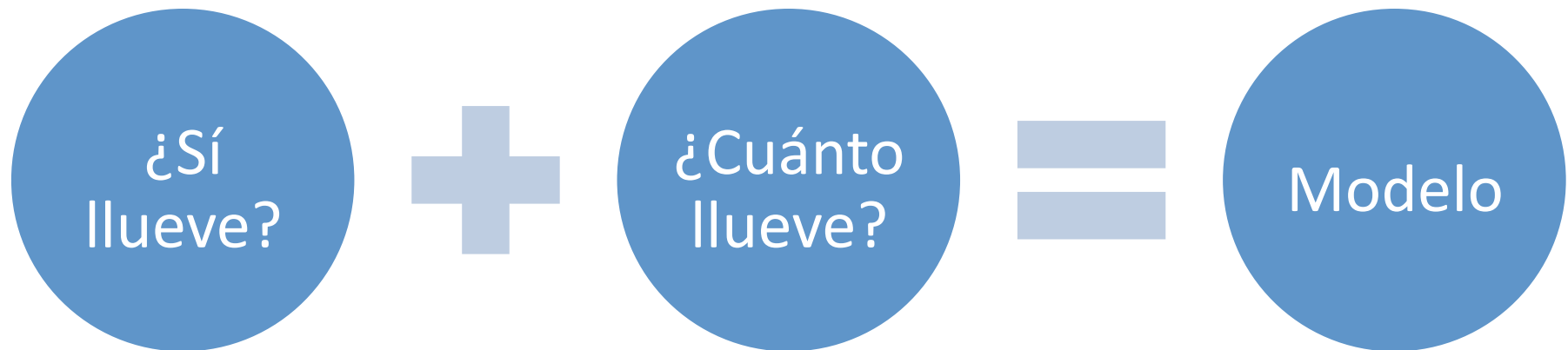
❖ Resultados

- ❖ Distribución exponencial es conservadora
- ❖ Distribución normal es muy conservadora
- ❖ Tiene impacto en ambos:
 - ❖ Área de captación
 - ❖ Volumen de almacenamiento



40.5	15	61	126	470	665	385	434.1	395	480	126	63	3260.6
2	4	110	174	215	656.5	710	372.5	638.5	481.6	52	48.5	3464.6
18	N	35.5	283.5	385.5	504	421	358.5	834.5	494	211	3.5	3549
15.5	62.5	11.5	132.5	595	492	447	541	486.5	608	177.5	9	3578
61	0.5	185	166.5	565	317.5	559.5	592.5	677.5	488.9	48.5	15	3677.4
3	49.5	11.5	8.5	531.5	719.5	559	606	843	372.5	171	2	3877
12	27.5	115	421	566	537.5	311.5	416.3	637.5	367.5	421	46.5	3879.3
0	15	13	5	99	704.2	394	781	1022.5	423	443.5	13.5	3900.2
30	6	32.5	280.5	564.1	880.1	804.5	253.1	0	804.5	263	0	3918.3
53.5	9	117	246	636	559	364	573	662.5	600	103	36	3959
0	4	3.5	338.5	330.5	674.5	466	515	1011	404	193	27	3967
56	15.9	83.5	99	847.7	667.1	478.1	525	398	602.2	129.5	107.7	4009.7
0	73.5	57	33.5	377.5	805.5	490	674	744	546.5	174	47	4022.5
8	8	224.5	164	387	804	444	571	853	441	281	12	4197.5
5.5	45	41.5	82	690.5	581	485	689	740	592	213	78	4242.5
N	258.8	142.9	279.4	N	602.4	727.9	1011.8	780.9	452.6	31.9	31.4	4320
8	22.5	41.5	143.5	683	670.5	352	517	576	851	305.5	165	4335.5
32.5	5	21	101	260	764	360.5	608.5	967	833.5	369	15	4337
23	8.5	40.5	164.5	360	609.5	624	808	1160	452.5	140.5	63.5	4454.5
129	92	15	424	556	633	568	375	808	638	195	36	4469
18.5	0	71.1	182.5	700.5	862	616.1	464.7	733.1	660.9	178.5	54.8	4542.7
3.5	0	134.5	73.5	495.5	591	636	616	707	1128.5	96.5	82	4564
25	75.5	85	336.5	528	655.5	624.5	906	620	577	184	21.5	4638.5
20.5	30	176	352	521.5	766	659	745	604	557.5	123	110	4664.5
4.5	26	128	90.6	1188.5	506	484.5	635.5	846	515	279.5	17	4721.1
77	0	78	429	717.5	760.5	482	963.5	601.5	564	207.5	21	4901.5
45.2	30.4	74.2	279	826.5	816.7	827.7	1019.1	724.1	709.7	107.7	17.1	5477.4
1	15	147	140.5	438.5	1235	709.5	716.5	760	1316	136.5	19.5	5635
16.5	247.5	67.5	602.5	650	835.5	800	873	604	711	223	264	5894.5

Modelo de precipitación diaria



Modelo de precipitación diaria



Modelo de Precipitación

