



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura  
FES Aragón

**Método de Captación Pluvial Comunitaria en Viviendas  
Caso de Estudio: Nezahualcóyotl, Estado de México.**

## **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN ARQUITECTURA  
En el campo de conocimiento de: Tecnologías

PRESENTA:  
Arq. Daniel Alejandro Farias Espinosa

Director de Tesis:  
Dr. José Diego Morales Ramírez

Miembros del comité tutor

Mtro. Sergio Alfonso Martínez González

Mtro. Alejandro Marambio Castillo

Ciudad Universitaria, diciembre de 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Director de Tesis:

Dr. José Diego Morales Ramírez

Sinodales:

Mtro. Sergio Alfonso Martínez González

Mtro. Alejandro Marambio Castillo

Dra. Ilse García Villalobos

Mtro. Jorge Rangel Dávalos



## Agradecimientos

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por una vez más dejarme estudiar en sus instalaciones y poder realizar mis estudios de posgrado en arquitectura.

A **CONACYT** por otorgarme la beca para la realización de esta investigación.

A mi tutor, **Dr. José Diego Morales Ramírez**, por su tiempo, orientación y apoyo a la realización a la realización de esta investigación en estos dos años.

A la **FES Aragón** por darnos acceso al Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Centro Tecnológico de la FES Aragón y poder utilizar sus equipos e instalaciones.

A la **Unidad de Posgrado de Arquitectura** por utilizar las instalaciones y equipos del Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural.

A los miembros del sínodo: **Mtro. Alejandro Marambio Castillo**, por ayudar a dar un enfoque distinto con sistemas SIG a la solución del problema; al **Mtro. Sergio Alfonso Martínez González** por sus asesorías y orientación sobre el tema de calidad de agua y pruebas de laboratorio en la FES Aragón; A la **Dra. Ilse García Villalobos** por las asesorías en el laboratorio de conservación patrimonial y al **Mtro. Jorge Rangel Dávalos** por su apoyo a invitarme en la difusión en simposios en distintas unidades de posgrado en la UNAM.

A los distintos Profesores del área de Tecnologías que con sus clases ayudaron a orientarme en algún punto del desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros de generación que ayudaron en contribución de ideas, orientarme en aspectos administrativos, a contestar encuestas y resolver dudas que se generaron a través de estos dos años.



## **Dedicatoria**

A Cathya, por apoyar estas decisiones que he tomado a lo largo de estos años y aguantar desveladas, trabajados y todo tipo de situaciones que hemos pasado juntos. Gracias, te amo.

A mi Padre que, a pesar de su situación de salud, me apoyo a la realización de esta maestría.

A mi tía Martha y Norberto por ayudar a mi familia.

A mis compañeros de generación, que además de apoyarnos en aspectos académicos, ayudaron a hacer estos dos años de estudio más amenos.

A todos mis amigos que me brindaron su apoyo para realizar esto.

A Pancha, Toribio, bizco y Don gato.



## Índice

Resumen.....	I
abstract .....	III
Introducción .....	V
Capítulo 1: El agua un recurso finito .....	1
1.1 Situación del agua a nivel global .....	1
1.2 Jerarquización de los usos del agua y su desperdicio .....	4
1.3 Tarifas en el agua potable a nivel global:.....	5
1.4 Situación del agua en México .....	7
1.4.1 Regiones hidrológicas .....	8
1.4.2 Precipitación pluvial.....	11
1.4.3 Agua renovable .....	16
1.4.4 Consumo de agua .....	16
1.5 Situación del agua en Nezahualcóyotl .....	19
1.6 Normatividad.....	27
Capítulo 2: Sistemas de Captación pluvial.....	36
2.1 Tipos de captación pluvial .....	36
2.2 Captación pluvial a través de las civilizaciones.....	38
2.3 Estado actual de la captación pluvial mundial .....	40
2.4 Estado actual de la captación pluvial en México .....	47

2.5 Componentes de un sistema de captación pluvial:.....	54
2.6 Métodos de captación pluvial tradicional en vivienda.....	56
2.7 Propuesta de Método de captación pluvial comunitaria .....	58
Capítulo 3: Consumo real de agua y características de su población .....	62
3.1 Gasto de agua por persona: .....	66
3.2 Usos del agua en la vivienda.....	70
3.3 Encuesta de Consumo real de agua en Nezahualcóyotl .....	77
3.4 Resultados de Encuesta .....	87
3.5 Datos de población y vivienda .....	103
3.6 Conclusión de resultados.....	106
Capítulo 4: Áreas de cubierta para captación pluvial.....	107
4.1 Imágenes satelitales.....	108
4.2 Drones .....	119
4.3 Equipo utilizado para el levantamiento:.....	121
4.4 Método para planear el levantamiento de información con dron e.....	125
4.5 Procesamiento de imágenes .....	127
Capítulo 5: Análisis pluvial y cálculo de consumo .....	132
5.1 Datos de para captación pluvial .....	132
5.1.1 Precipitación pluvial del lugar .....	133
5.1.2 Modelo de cálculo .....	139

5.1.3 Procedimiento para la determinación del consumo de agua. ....	141
5.2 Conclusiones de capítulo.....	147
Capítulo 6: Aplicación de Método .....	148
6.1 Ubicación de zona de trabajo .....	149
6.2 Características de vivienda, población y consumo de agua. ....	150
6.3 Cálculo de áreas efectivas de cubiertas para captación pluvial.....	151
6.4 Planeación de vuelo.....	153
6.5 Procesamiento de imágenes .....	154
6.6 Cálculo de captación pluvial .....	163
6.7 Estudio de tipología de viviendas .....	166
6.8 Implementación de geotecnia para captación pluvial .....	173
6.9 Calidad de agua .....	181
6.10 Costo de implementación del sistema de Captación Pluvial.....	189
Conclusiones .....	193
Bibliografía .....	197
Anexos.....	202
Formulario de encuesta: .....	203
Reporte de procesamiento de imágenes .....	211



## Resumen

Las ciudades han comenzado a tener problemas con el suministro de agua, a este fenómeno se le conoce como “Día cero” y la Ciudad de México está entre las primeras 10; uno de los factores del aumento de consumo de agua es el crecimiento de la población, y México ocupa el lugar undécimo de los países más poblados del mundo, en 1950 contaba con una población de 25.79 millones y para el 2010 se tenía con una población de 103.26 millones, un aumento de 4.5 veces la población en 60 años. Por esta situación, se toma como caso de estudio el Municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México, uno de los municipios más poblados y con escasez de agua.

Nezahualcóyotl cuenta con el 83% de vivienda en su territorio y una opción para solucionar el problema de la escasez del agua es la captación pluvial; Un sistema tradicional llega a tener un costo de 45 a 60 mil pesos, al analizarlo se encontró que el 70% del costo es solo el almacenamiento.

Por eso, se propone un método de captación pluvial comunitaria, que elimine los sistemas de almacenamiento individuales y se utilice uno para un conjunto de viviendas, que en este caso la unidad utilizada es una manzana y este logra mejorar la eficiencia de los tiempos de ejecución, cálculos y optimizar el almacenamiento; para esto se realizaron encuestas de consumo de agua en la región, un modelo de elevación digital (DEM) para obtener áreas y alturas de las cubiertas de las viviendas con datos actualizados; datos climatológicos de la zona y un modelo de cálculo para obtener el agua que va a consumir la población del área de estudio.

El método utiliza las losas de las viviendas para concentrar el agua, con las tuberías se canaliza el agua, y un tren de filtrado. Como primer elemento se instala un separador de aguas primario que sedimenta las partículas en suspensión más grandes, el recorrido del agua sigue a una tubería perimetral en las viviendas, donde primero se llega a un sedimentador de partículas suspendidas, que después de una hora pasa el siguiente filtro, un sistema lento de arenas y gravas, y dependiendo

## II

la calidad de agua se puede utilizar un filtro de carbón activado para eliminar rastros organolépticos. El agua ya filtrada se puede reinyectar al subsuelo ya que cumple con la norma NOM-015-CONAGUA-2007 o si se cumplen con todas las especificaciones de la norma NOM-127-SSA1-1994 se podrían incorporar a la tubería hidráulica municipal. Con este método se llegó a un precio de \$16,550.87 pesos mexicanos por vivienda.

### **abstract**

The cities have begun to have problems with the water supply, this phenomenon is known as "Zero Day" and Mexico City is among the top 10; One of the factors of the increase in water consumption is population growth, and Mexico occupies the eleventh place in the most populated countries in the world, in 1950 it had a population of 25.79 million and by 2010 there was a population of 103.26 million, an increase of 4.5 times the population in 60 years. Due to this situation, the Municipality of Nezahualcóyotl, State of Mexico, one of the most populated municipalities with water scarcity, is taken as a case study.

Nezahualcóyotl has 83% of housing in its territory and an option to solve the problem of water scarcity is rainwater harvesting; A traditional system has a cost of 45 to 60 thousand pesos, when analyzing it, it was found that 70% of the cost is just storage.

Therefore, a method of community rainwater collection is proposed, which eliminates individual storage systems and uses one for a set of homes, which in this case the unit used is an apple and this manages to improve the efficiency of the execution times, calculations and optimize storage; For this, surveys of water consumption in the region were carried out, a digital elevation model (DEM) to obtain areas and heights of housing covers with updated data; climatological data of the area and a calculation model to obtain the water that the population of the study area will consume.

The method uses the slabs of the houses to concentrate the water, with the pipes the water is channeled, and a filter train. As the first element a primary water separator is installed that sediments the largest suspended particles, the water path follows a perimeter pipe in the homes, where a suspended particle settler is first reached, which after one hour passes the following filter, a slow system of sands and gravels, and depending on the quality of water an activated carbon

## IV

filter can be used to eliminate organoleptic traces. The filtered water can be reinjected into the subsoil since it complies with the NOM-015-CONAGUA-2007 norm or if all the specifications of the NOM-127-SSA1-1994 norm can be incorporated into the municipal hydraulic pipe. With this method, a price of \$ 16,550.87 Mexican pesos per house was reached.

## **Introducción**

### **Objetivos**

Dar a conocer un método de captación pluvial comunitaria en viviendas urbanas, a diferencia de los sistemas tradicionales, su desarrollo e implementación sea más rápida, económica y específica de cada zona de estudio, para satisfacer la necesidad de agua que ha ido aumentando en los últimos años, por medio de herramientas tecnológicas que faciliten los procesos de ejecución.

### **Objetivos particulares**

Realizar encuestas de gasto real de agua en las zonas que nos interese implementar los sistemas de captación pluvial comunitaria, para identificar el gasto actual de agua, las actividades relacionadas con este consumo e información necesaria para poder crear estrategias con esta población.

Examinar la morfología arquitectónica, para desarrollar una estrategia de implementación de sistemas de captación pluvial, con ayuda de modelos de elevación digital.

Compilar información poblacional para determinar la cantidad de agua que se necesita en el área de estudio.

Analizar los datos de precipitación pluvial para determinar el comportamiento que se tendrá a través de los meses en cuestiones de almacenamiento de agua.

### **Objetivos específicos**

Al analizar la información recabada de las encuestas, podremos entender el comportamiento específico de la población, en el consumo real de agua y sus actividades, y así poder realizar propuestas sociales, equipos, infraestructura.

Sustituir el almacenamiento individual de agua pluvial en las viviendas y diseñar una opción que reduzca el costo para el aprovechamiento del agua captada.

## VI

Al contar con la información urbana, poblacional y pluvial, se podrán calcular la necesidad específica de agua para este lugar y poder calcular el costo del proyecto.

### **Hipótesis:**

Se podrá diseñar un método de captación pluvial más eficiente y económico, al contar con información específica y actualizada de la población y sus actividades relacionadas con el agua, la tipología de vivienda; todo esto utilizando los datos de precipitación pluvial de la zona que corresponde el proyecto y principalmente eliminando los almacenamientos individuales de agua que se utilizan en los sistemas tradicionales.

### **Misión:**

Desarrollar un método de captación pluvial comunitaria para dotar de agua a viviendas urbanas que carezcan de ella, y reducir el impacto hídrico de los municipios.

### **Visión:**

fomentar la captación pluvial, al punto de que sea un hábito en las familias mexicanas, reduciendo el consumo de la toma municipal y así reducir el gasto en el pago de recibos de agua.

### **Ideal:**

Creación de un método de captación pluvial que optimice los tiempos para recabar los datos del lugar de estudio, con esto se optimizar la cantidad de materiales y reducir su costo final.

## Capítulo 1: El agua un recurso finito

### 1.1 Situación del agua a nivel global

Para poder entender la problemática general que se tiene con la distribución y aprovechamiento del agua, debemos tener en cuenta el panorama general de la misma; el planeta Tierra cuenta con 1,386 billones de  $\text{Hm}^3$ , de las cuales el 97.5% corresponde al agua salada de mares y océanos, del resto son 2.5% de agua dulce (Arroyo, 2013), las cuales están distribuidas en 68.7% en aguas congeladas en los polos terrestres, 30.1% agua subterránea, 0.8% permafrost y de estos últimos tres conceptos son de muy difícil acceso al hombre; quedando solo un 0.4% de agua atmosférica y superficial, esta se subdivide en 67.4% en lagos, 12.2% humedad en el suelo, 9.5% atmósfera, 8.5% humedales, 1.6% en ríos y 0.8% en animales y plantas. Tenemos que darnos cuenta que solo el 0.77% del total del agua existente en el planeta es dulce y de acceso al hombre (1 CONAGUA, 2016c).

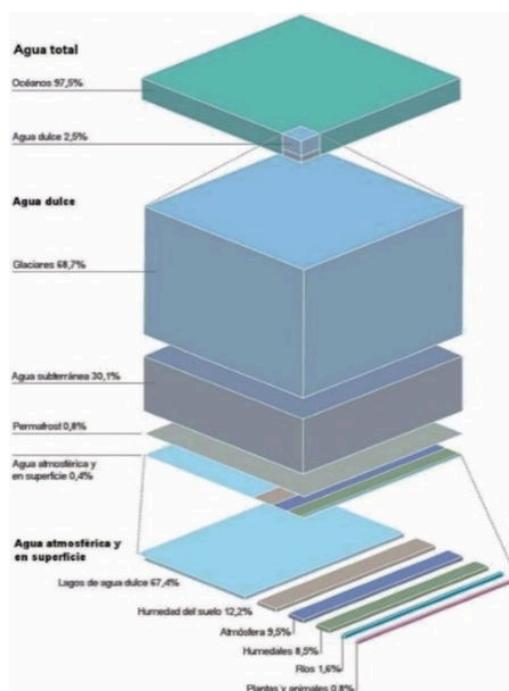
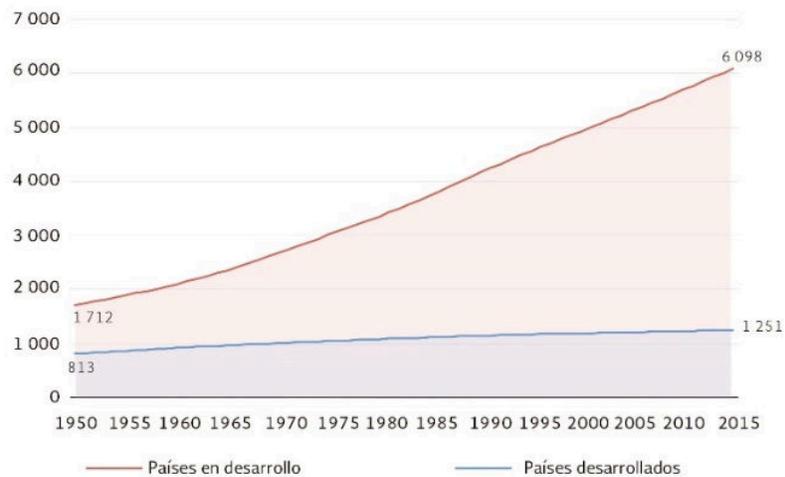


Ilustración 1: Distribución del Agua Mundial. fuente: (SiSS, 2017a)

La escasez de agua viene ligada al crecimiento que va teniendo la población mundial a través de los años, en 1950 la población mundial llegaba a un número de 2,525 millones de personas, y para el año 2015 tuvo un crecimiento de 7,349 millones de personas (CONAGUA, 2016b), siendo que el mayor crecimiento se da en países en vías de desarrollo y en países desarrollados mantiene una constante, como se puede ver en la gráfica 1.



*Gráfica 1: Población Mundial Según Nivel De Desarrollo 1950-2015 fuente: (2 CONAGUA, 2016b)*

Actualmente, México se encuentra en el undécimo lugar en la tabla de países con mayor población mundial, aunque el dato más importante es la densidad de población con respecto a su territorio, en el cual puede ser un reflejo directo a su situación de suministro de agua y al tipo de estrategias que pueda tener con respecto al tema.

En la tabla 1 podemos ver los primeros diez puestos y ver las variantes de densidad que tiene cada país.

Tabla 1:

*Cantidad de población en millones y densidad hab. / Km<sup>3</sup>*

no.	País	Población en millones	densidad (hab./km2)
1	China	1,407	146.6
2	India	1,311	398.8
3	Estados unidos	321	32.7
4	Indonesia	257	134.8
5	Brasil	207	24.4
6	Pakistán	188	237.3
7	Nigeria	182	197.2
8	Bangladesh	161	1084.4
9	Rusia	143	8.4
11	México	126	61.8

Fuente:(2 CONAGUA, 2016b)

Otro de los factores que se tiene que contemplar es el producto interno bruto (PIB) per cápita de cada país, el cual puede ser un factor importante para determinar los tipos de estrategias que pueda tener con respecto a su problemática de agua, México se encuentra en el quinceavo del PIB total, pero en el lugar 70 de PIB per cápita.

Se calcula que para el año 2100 la población mundial llegará a ser de alrededor 11,213 millones de personas (2 CONAGUA, 2016b), concentrándose principalmente en zonas urbanas, mientras que en zonas rurales tienden a mantenerse o reducirse.

Para poder introducir al lector en una mejor comprensión del tema con respecto a los conceptos de agua, se hará una breve descripción de ellos, tomando en cuenta que nos referimos al agua en su uso para consumo humano aplicada en la vivienda y no se contemplan las problemáticas que se tienen en el uso agrícola e industrial.

## 1.2 Jerarquización de los usos del agua y su desperdicio

Es muy difícil determinar cuál es el consumo de agua que debe tener una persona, porque existen demasiados factores que lo determinan, como el clima en donde se desarrollan sus actividades, el tipo de ciudad en la que vive, la educación que cuenta, las actividades económicas con que se desarrolla el usuario y su entorno, etc.

Jerarquizar estas necesidades es complicado ya que existen prioridades por cada individuo ya sea por su sexo, edad y situación económica, por eso la Organización Mundial para la Salud (OMS) nos proporciona una tabla de cómo debemos de darle importancia al uso del agua.

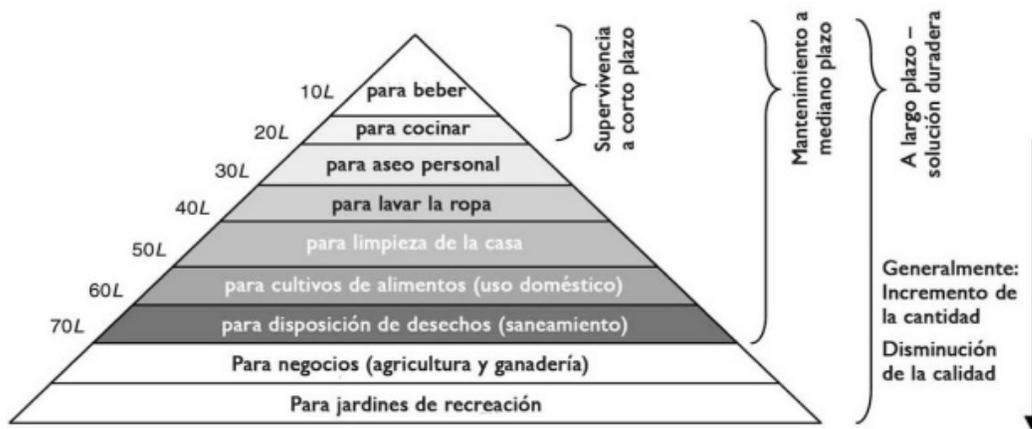


Ilustración 2: Jerarquía Del Uso Del Agua. fuente: (Salud, 2009)

Después de cubrir la demanda de supervivencia que es de 5 a 7 litros según la OMS, para satisfacer las siguientes demandas dependen de varios factores que pueden variar dependiendo el país.

Una parte del desperdicio se genera por parte de los gobiernos o instituciones que la suministran, por ejemplo en México el presupuesto que destinan al mantenimiento de la infraestructura del agua es de 1.1% del presupuesto nacional, otro factor son las tarifas bajas que se cobran a los usuarios,

en promedio están en 1.73 pesos por metro cubico, siendo que deberían de estar en los 5.00 pesos por metro cubico (Enrique, 2008), al no contar con presupuesto suficiente para mantenimiento, se empiezan a tener problemáticas como derrames accidentales, fugas en los sistemas de distribución, falta de mantenimiento en pipas, fugas en las tuberías, contaminación de los pozos de extracción, contaminación por mezclas con aguas negras, etc.

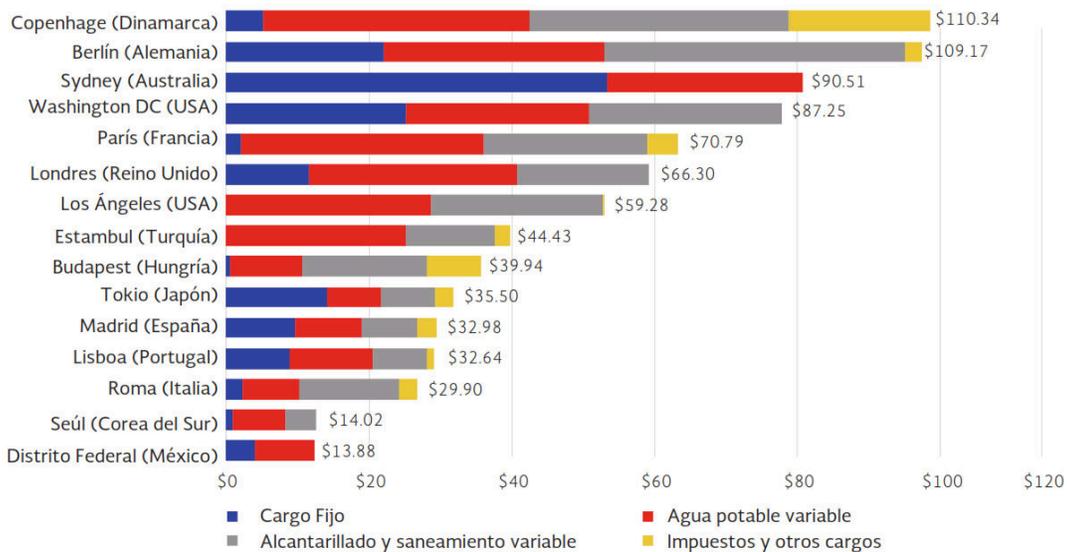
Pero el mayor desperdicio se da por parte del usuario en sus viviendas, al tener tarifas muy bajas no se le da importancia al recurso del agua y se maneja como un recurso infinito y se presenta en sus viviendas, fugas de agua en tuberías, tener muebles de baño viejos que utilizan más agua que lo que dicta la norma, el uso de lavadoras y/o lavavajillas obsoletos o no instalas sistemas ahorradores de agua; pero el mayor desperdicio se da por la falta de cultura de ahorro de agua que se abordará con más detalle en el capítulo 3.

### **1.3 Tarifas en el agua potable a nivel global:**

El costo del agua es muy difícil de definir e incluso se puede convertir en un problema ético y filosófico. Es como si se cobraría por el aire que respiramos. Sin embargo, el agua que recibimos entubada requiere de gastos, que varían de acuerdo con la distancia y altura por la que tiene que trasladarse el agua, su disponibilidad, los materiales, la tecnología y la eficiencia, entre otras variables que forzosamente cambian de un lugar a otro.

Además, deben considerarse los costos por retirar las aguas contaminantes y darles un tratamiento. Por otro lado, se encuentran las tarifas que los organismos operadores cobran por el servicio. Hay estructuras tarifarias en las que con el incremento de consumo aumenta el costo del metro cúbico y se cobra de forma diferenciada por su tipo de uso como en casa habitación, industria o termoeléctrica.

Al crear una tarifa al suministro de agua se tienen que contemplar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. También se le tienen que sumar administración, transferencias e impuestos. Esto crea una dificultad para crear un costo estándar del agua ya que como pudimos ver en los puntos anteriores existen muchos factores que determinan la cantidad de agua en un país y su dificultad de obtención, sumado también el tipo de política de cada país, algunos tratan de obtener la recuperación total de la inversión y otros mantienen un subsidio a ella.



Grafica 2: Tarifas De Agua Domestica Mundial (pesos /m³ para consumo de 15m³/mes)fuente:(CONAGUA, 2016b)

La situación en que se cuenta cada país con respecto al agua es muy diferente, en países asiáticos como China, Bangladés, Nepal, su principal preocupación son los contaminantes específicos de cada región a causa de la industrialización puntual de cada ciudad (ONU-DAES, 2015), en Europa países como España, Alemania al tener una distribución de red hidráulica y sanitaria del 100% se preocupan más por la gestión y tarifas al no contar con grandes cantidades del líquido, América del norte que contempla a Estados Unidos y Canadá al contar con gran cantidad de agua per cápita su enfoque va hacia el mejor servicio sanitario y calidad de agua, América latina por su parte

aunque cuenta con el recurso hídrico su principal problema es la distribución equitativa a causa de varios factores (territorio, economía, corrupción), en países ricos de medio oriente se usan métodos de desalinización, ya sea por destilación a fuerza bruta o más comúnmente la ósmosis inversa, aunque son métodos caros que solo pueden ser pagados por países petroleros y por último, países africanos que en su mayoría se dedican a la extracción de pozos o cosecha por niebla.

#### **1.4 Situación del agua en México**

En México, la institución encargada de generar los censos poblacionales que son utilizados como datos oficiales es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es la encargada de gestionar el recurso del agua en México, y a su vez, los datos generados por esta son tomados como datos oficiales y de estas dos instituciones se basará la mayoría de la información.

México es uno de los países más extensos con el lugar decimotercero, el cual tiene una extensión de 1.96 millones de kilómetros cuadrados, cuenta con 32 entidades federativas y estas se subdividen en 2457 municipios y alcaldías. (CONAGUA, 2016c).

Las características climáticas de México lo subdividen en el norte y noreste en zonas secas con el 67% de la extensión territorial, la parte sur y sureste en zonas húmedas con el 33%. (CONAGUA, 2016c).

La distribución del uso de agua en la República Mexicana es de 77% en la agricultura, 14% Abastecimiento Público, 4% a industria y 5% en Termoeléctricas, (CONAGUA/SEMARNAT, 1981).

México ocupa uno de los primeros lugares de más población del mundo, en 1950 México contaba con una población de 25.79 millones de habitantes, de los cuales 10.98 millones vivían en asentamientos urbanos y 14.81 millones en asentamientos rurales; para el 2010 se contaba con una

población de 103.26 millones de habitantes con un aumento de 4.5 veces la población en el rango de tiempo, de ellos 86.29 millones en asentamientos urbanos y 26.05 millones en rurales. (CONAGUA, 2016a)

En el último censo realizado en 2015 se tiene contabilizadas a 121 millones de habitantes (CONAGUA, 2016c), de las cuales el 27.8% de esta población se concentra en las 36 ciudades más grandes del país con poblaciones mayores a medio millón de habitantes y en contraste solo el 2.1% vive en localidades muy pequeñas de menores de 100 habitantes.

En el 2015 CONAGUA cuenta con una cobertura de agua entubada procedente de la red pública, pozos comunitarios o particulares de 92.5% en todo el país, 95.7% en zonas urbanas y 81.6% en zona rural, teniendo los rezagos principalmente en la zona sur con los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz. (CONAGUA, 2016c)

En cuestiones de alcantarillado se contemplan la red pública y fosas sépticas, y se tiene una cobertura al 2015 de 91.4% nacional, 96.6% en zona urbana y 74.2% en zona rural y los rezagos se encuentran en Guerrero, Oaxaca. San Luis Potosí y Yucatán.

#### **1.4.1 Regiones hidrológicas**

El país se divide en 13 organismos de cuenca y son administradas por CONAGUA y las que no tienen organismo de cuenca cuentan con 20 direcciones locales. Llamadas también RHA como se muestra a continuación.

Tabla 2:

*Regiones hidrológico- administrativas de México*

Número de RHA	Superficie continental (km <sup>2</sup> )	Agua renovable 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	Población a mediados de año 2015 (millones de hab.)	Densidad de población (hab./km <sup>2</sup> )	Agua renovable per cápita 2015 (m <sup>3</sup> /hab./año)	Aportación al PIB nacional 2014 (%)	Municipios o delegaciones del D.F. (número)
I	154 279	4 958	4.45	28.8	1 115	3.61	11
II	196 326	8 273	2.84	14.5	2 912	2.86	78
III	152 007	25 596	4.51	29.7	5 676	2.88	51
IV	116 439	21 678	11.81	101.4	1 836	6.14	420
V	82 775	30 565	5.06	61.1	6 041	2.29	378
VI	390 440	12 352	12.30	31.5	1 004	14.29	144
VII	187 621	7 905	4.56	24.3	1 733	4.19	78
VIII	192 722	35 080	24.17	128.4	1 451	19.08	332
IX	127 064	28 124	5.28	41.6	5 326	2.24	148
X	102 354	95 022	10.57	103.2	8 993	5.62	432
XI	99 094	144 459	7.66	77.3	18 852	4.93	137
XII	139 897	29 324	4.60	32.9	6 373	7.38	127
XIII	18 229	3 442	23.19	1 272.2	148	24.49	121
Total	1 959 248	446 777	121.01	61.8	3 692	100.00	2 457

Fuente: (CONAGUA, 2016b)

El país se cuenta con 731 cuencas hidrológicas de agua superficial en las cuales se dividen en ríos y canales que pueden ser naturales o artificiales y desembocan en el Golfo de México, Mar Caribe, Océano Pacífico y Golfo de California.

Los acuíferos son formaciones geológicas subterráneas que conservan el agua por debajo de la superficie terrestre, el país cuenta con 653 acuíferos de aguas subterráneas, para aprovecharla se usan pozos y norias para su extracción. Para mantener el equilibrio de esta agua tenemos que extraer la misma cantidad de agua que el agua renovable de ese año, si no se tiene un acuífero sobreexplotado, en 2015 se tiene un conteo de 105 acuíferos sobreexplotados, 32 contaban con suelos salinos o agua salobre y 18 contaban con intrusión de agua marina. (CONAGUA, 2016c)

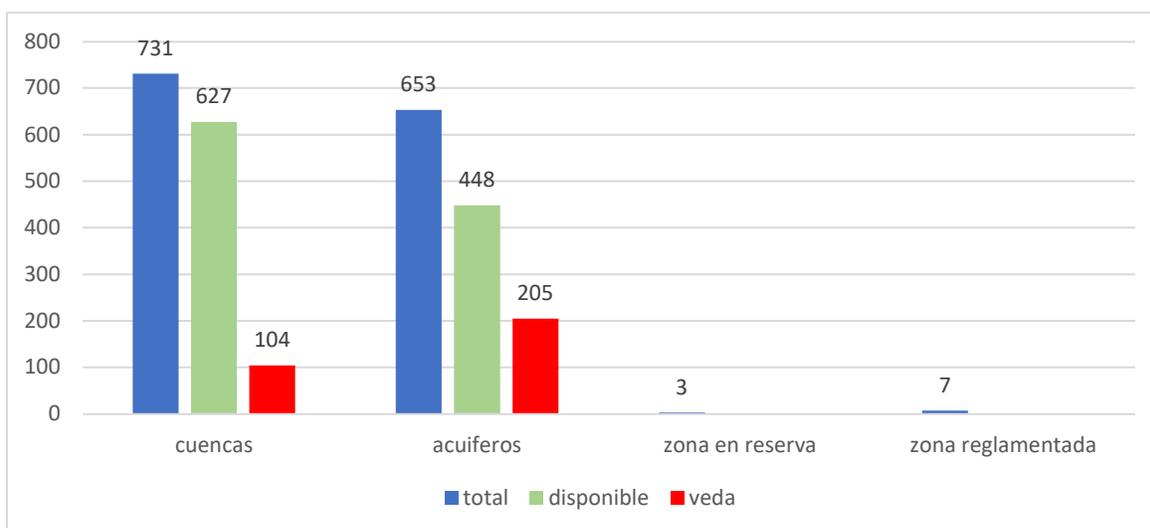
Para clasificar la explotación y sobreexplotación de las regiones hidrológico – administrativas se usa el Grado de Presión, al observar la gráfica 3, podemos ver que existe un desequilibrio en estos grados que se reflejan en el contraste de distribución, mientras que en la región XI sur se

tiene 1.7% de grado de presión (sin estrés), en la región XIII norte se tiene 139% de grado de estrés (muy alto) (CONAGUA, 2016c).



*Ilustración 3:* Mapa De Desarrollo Y Disponibilidad De Agua En México. fuente: (CONAGUA, 2016a)

Para crear un equilibrio y evitar la sobreexplotación de algún acuífero o cuenca se cuenta con la Ley de Aguas Nacionales, la cual regula la extracción, descargas residuales y aprovechamiento de cauces y cuerpos de agua, y CONAGUA puede determinar alguna veda, reglamentación especial, reserva, rescate u otro mecanismo para limitar la extracción de agua y a esto se le llama disponibilidad de agua. En 2015 la disponibilidad de agua en México se muestra en la en la siguiente gráfica:

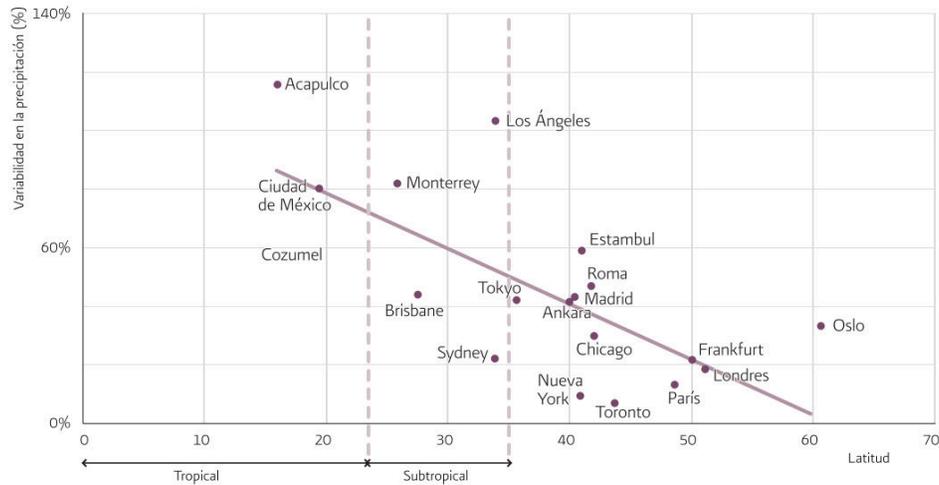


*Grafica 3:* Disponibilidad De Agua En México. fuente: información de (CONAGUA, 2016c), diseño propio

### 1.4.2 Precipitación pluvial

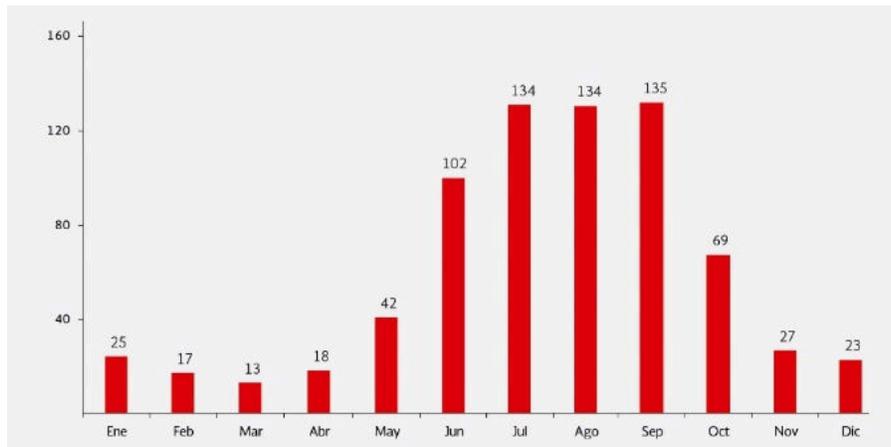
Parte de la finalidad de esta investigación es demostrar la factibilidad de la implementación de un sistema de captación pluvial en viviendas, y para esto tenemos que tener en cuenta los parámetros en los datos de precipitación pluvial, para tener un estudio más detallado en los datos, se tiene que usar la precipitación media anual, entre mayor sea la media en años se tendrá un mejor resultado en los parámetros.

En la gráfica 4 se puede ver la correlación que se tiene entre el patrón de precipitación pluvial por su coeficiente de variación y la altitud de las ciudades; esto nos arroja la variabilidad de precipitación pluvial que se tendrá en el año. Esto quiere decir que entre mayor altitud se encuentre tienen lluvias más uniformes en el año y entre más cercas se encuentren del ecuador tendrán más lluvias en verano.



Gráfica 4: Correlación Entre Variabilidad De La Precipitación Y Latitud. fuente: (CONAGUA, 2011a)

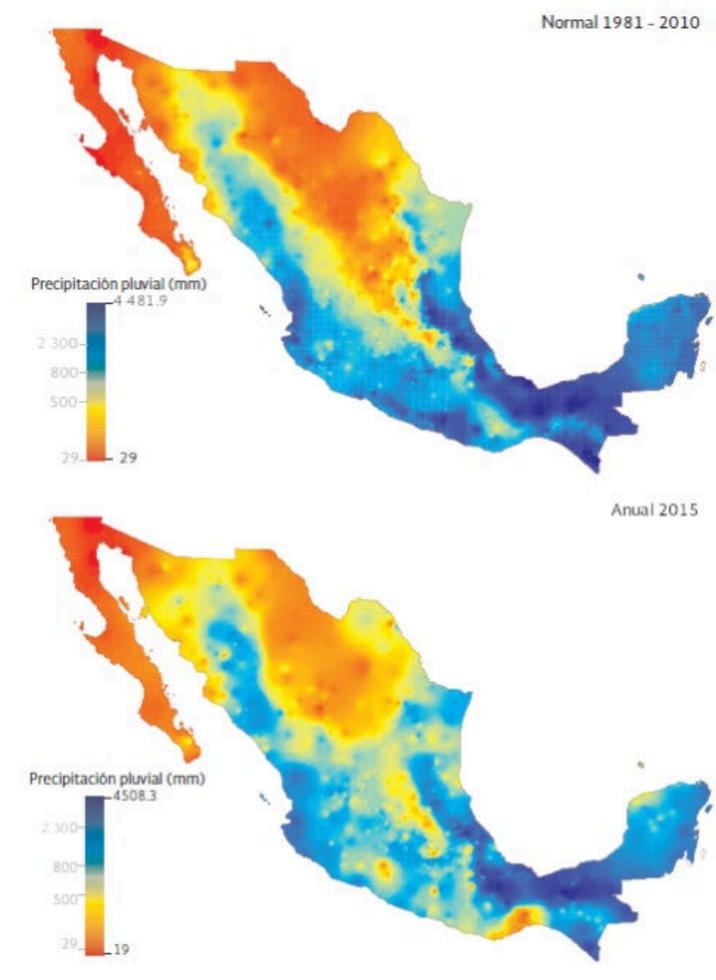
La precipitación pluvial que se contempla es con un periodo de 30 años de un periodo de 1981 a 2010, y la precipitación normal promedio del país fue de 740mm anuales, el 68% de la precipitación normal ocurre en los meses de junio a septiembre. (CONAGUA 2, 2016) Como se muestra en la gráfica siguiente.



Gráfica 5: Precipitación Pluvial Media Mensual Histórica De 1981-2010. fuente: (CONAGUA, 2016a)

Aunque en muchos casos no se tenga un rango histórico, lo recomendable es usar los datos de la estación o estaciones meteorológicas más cercanas al caso de estudio y realizar la media con los

datos a disposición. Podemos ver en la imagen que comparar el mapa de precipitación media anual de 30 años es muy similar al de 2015 que es considerar año récord con 872 mm de precipitación (CONAGUA, 2016b).



*Ilustración 4:* Distribución De Precipitación Pluvial De 30 Años Vs. 2015. fuente: (CONAGUA, 2016b)

Los datos más contundentes que ayudaron a pensar que esta investigación es factible, son los porcentajes de pérdida por lluvia, principalmente el dato de evaporación, siendo de 71.6% en el cual el agua al momento de entrar al contacto con alguna superficie se evapora por la diferencia de temperatura y posteriormente a esta al aire libre y en interacción con el viento gradualmente se

integra a la humedad del aire y se pierde. Por eso, es importante que el agua almacenada se encuentre fuera de estos factores ambientales.

En el marco central del sistema de cuentas ambientales y económicas (SCAE) está encargada de estandarizar la contabilidad del agua y organiza la información sobre los aspectos económicos e hidrológicos y facilita un análisis sistemático de la contribución del agua a la economía.

Con este sistema se ha obtenido que para el 2015 en México se ha consumido 29,619 hm<sup>3</sup> y según el tipo del agua de donde es extraído, en qué sector se utiliza y en qué cantidades, de los cuales se extraen 228,721 hm<sup>3</sup> de agua, 191,016 hm<sup>3</sup> son superficiales (83.5%), 33,310 hm<sup>3</sup> subterráneos (14.6%), y 4,395 hm<sup>3</sup> pluviales (1.9%) y por el efecto anterior descrito de pérdidas se tienen 29,619 hm<sup>3</sup> por evaporación. (CONAGUA, 2016b)

En la imagen siguiente es muy interesante ya que en el tema que se desarrolla de captación pluvial podemos observar que todo el porcentaje de agua pluvial está dirigido exclusivamente al área de alcantarillado y saneamiento, esto quiere decir que agua totalmente limpia es mezclada con aguas grises y negras y es tratada como tal y en ningún momento este concepto se ve reflejado en el área de hogares donde principalmente el agua usada en vivienda es distribuida a través de agua superficial y en menor medida subterránea.

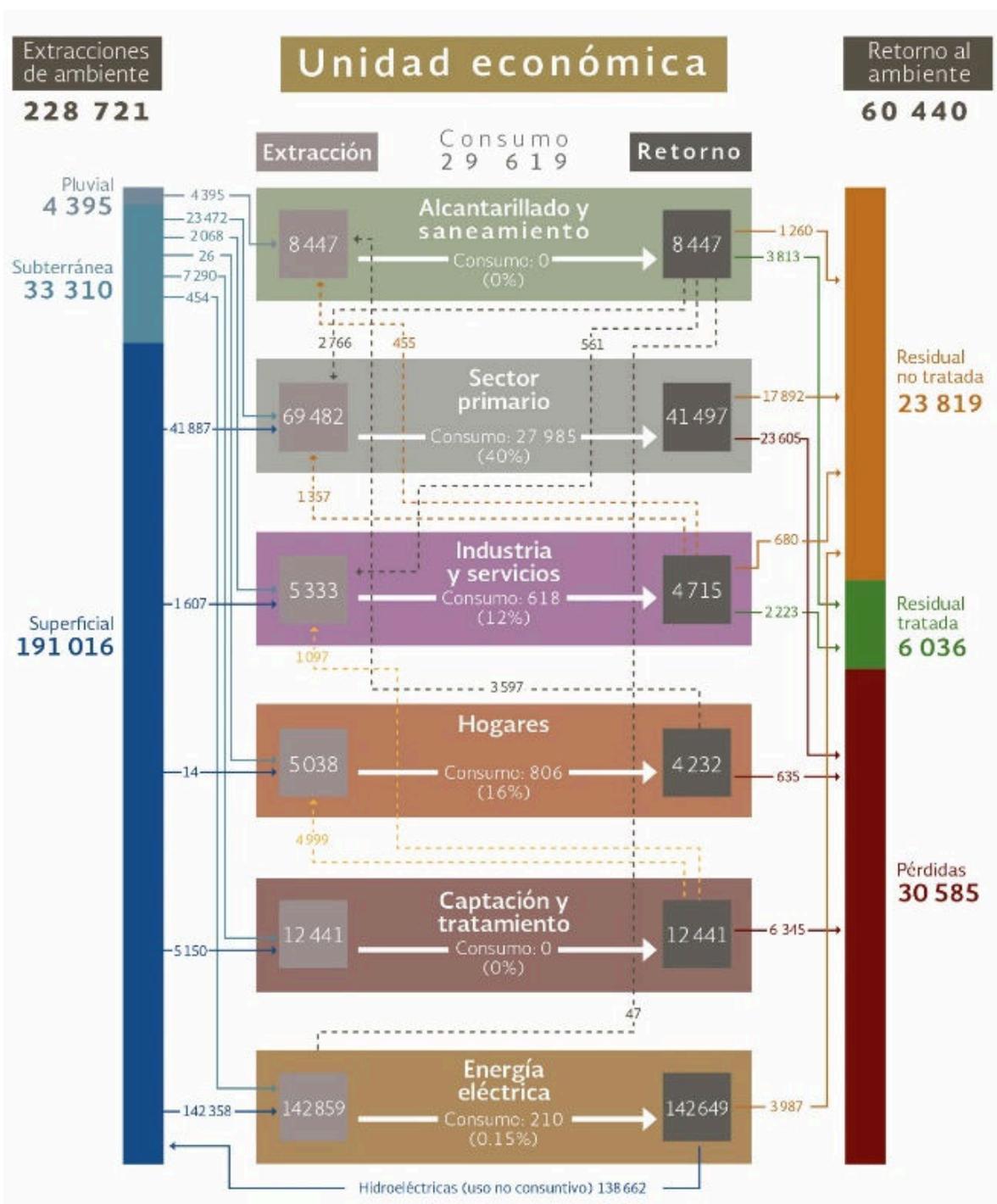
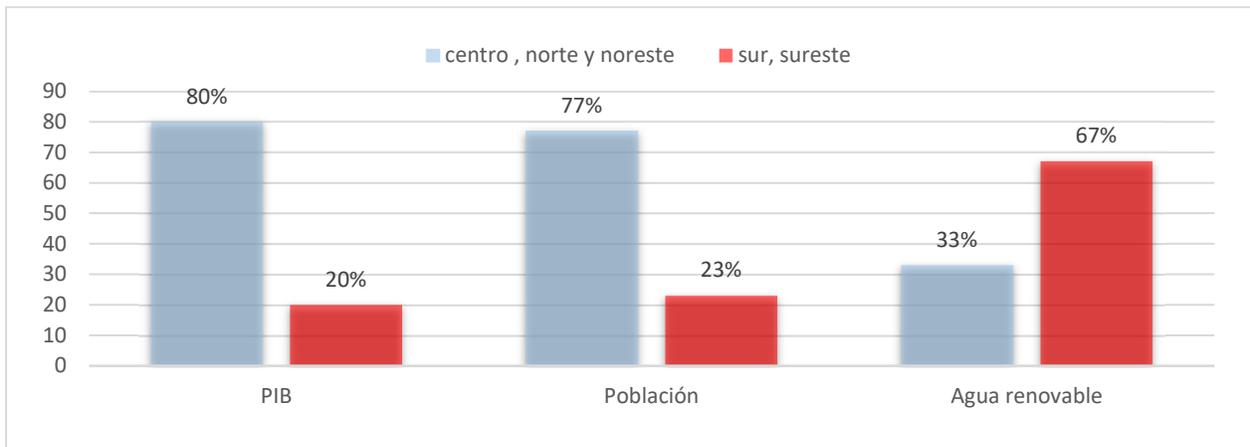


Ilustración 5: Flujo De Agua Entre Ambiente Y Economía En México 2015. fuente: (CONAGUA, 2016b)

### 1.4.3 Agua renovable

El cálculo de agua renovable de Conagua es de 446,777 millones de metros cúbicos, de esta el 33% se genera en la parte seca del país y el 67% en la parte húmeda. En contraste existe un desequilibrio entre la distribución de agua renovable, población y PIB, como se muestra en la gráfica siguiente, el agua renovable se clasifica en tres partes: la distribución temporal, en la cual principalmente ocurre en las lluvias de verano, el resto del año es relativamente seco, la distribución espacial en algunas regiones del país hay precipitación abundante con poca población y en otros lados ocurre el fenómeno contrario.



*Gráfica 6: Contraste De Distribución Del Agua En México. Fuente: (CONAGUA, 2016b), diseño propio*

### 1.4.4 Consumo de agua

Al consultar diferentes fuentes de información, no existe una coordinación entre instituciones de México y otros países para poder clasificar los usos del agua en entornos urbanos, cada uno da una clasificación independiente según los gastos que representan su grupo de estudio y esto hace difícil su estandarización para estudiarlos, y en cierta forma puede usarse esta información para crear un dato favorable a la investigación.

En fuentes consultadas los autores toman en cuenta el uso diario de consumo de agua que da alguna institución en particular (consumo promedio en CDMX 338 L, OMS 90 L, RCDF 150 L, etc.) y en otros crean un dato propio creado de una encuesta, pero no llegando a una estandarización de datos de consumo de agua. Para eso contemplo los factores que presenta cada uno trato de crear un estándar de consumo para lograr una unidad que nos ayude a contemplar estos consumos en todo el país.

el consumo de agua en vivienda es muy desvariado en el mundo, mientras que en Camboya se utiliza en promedio 1.8 m<sup>3</sup> de agua al año, en Australia se utilizan más de 487 m<sup>3</sup> que son usados en albercas y riego de patios, en la siguiente tabla 9 podemos ver las tablas comparativas de gasto de agua en el mundo.

Tabla 3:

*Uso del agua en otros países*

Posición	Territorio	Valor	Posición	Territorio	Valor
1	Australia	487	191	Rep. Democrática del Congo	4.8
2	Armenia	281	192	Chad	3.9
3	Canadá	259	193	Etiopía	3.5
4	Nueva Zelanda	242	194	Benin	3.5
5	Cuba	225	195	República Unida de Tanzania	3.0
6	Estados Unidos	209	196	Mozambique	2.9
7	Singapur	203	197	Uganda	2.6
10	Costa Rica	184	198	Somalia	2.5
11	Emiratos Árabes Unidos	174	199	Mali	2.2
12	Ecuador	159	200	Camboya	1.8

Fuente: [www.worldmapper.org](http://www.worldmapper.org)

### **Las tarifas en México**

La recaudación de agua se divide en dos partes: los organismos operadores y la que realiza la Conagua. La Conagua concesiona el agua en bloques a los organismos operadores, que se encargan de distribuirla a nivel municipal y cobrarla directamente a los usuarios.

el costo del agua se puede determinar de muchas formas y los organismos operadores consideran diferentes principios y metodologías para fijar sus tarifas, las cuales pueden diferir abiertamente con el costo real.

Lo común para determinar el costo del agua se toma en cuenta la infraestructura para trasladarla y proveerla, lo cual incluye costos de inversión, mantenimiento, potabilización, electricidad, salarios. Sin embargo, no siempre se incluyen otros elementos importantes como el costo del tratamiento de las aguas residuales y los costos ambientales, los cuales resultan difíciles de determinar. Algunos creen que también se deberían de cobrar los costos marginales, aunque esto es bastante controvertido. Generalmente, el incluir los costos marginales conlleva a una recaudación excesiva, pues su objetivo es establecer tarifas que equivalgan al costo de proveer un aumento en la capacidad de abastecimiento.

El Subsidio al consumo de agua doméstica es frecuente que el agua para uso doméstico no se cobre al costo que representa proveerla a los organismos operadores. Este subsidio sigue la lógica de que el agua es indispensable para la vida y la calidad de vida, por lo que no debe faltarle a nadie. Sin embargo, las personas que no tienen conexión con la red deben acarrear el agua o pagar las pipas, es decir, no se benefician de este subsidio a pesar de que son las más necesitadas.

México, en el que la mayoría tiene un ingreso por debajo de dos salarios mínimos, todos aquellos conectados a la red puedan pagar cinco veces más por el agua. La complejidad del problema obliga a hacer un análisis de cada caso, que permita aumentar la recaudación para financiar las inversiones necesarias en el sector sin afectar a la ya de por sí desfavorecida población de bajos ingresos. (Fondo para la educación y educación ambiental, 2006)

Como ejemplo podemos dar las tarifas del metro cubico como en Morelia está en 36.33, Campeche 4.17, ciudad Juárez 7.10, que sus costos varían mucho por los factores antes mencionados.

### **1.5 Situación del agua en Nezahualcóyotl**

En la en la ciudad de México (CDMX) y área conurbada el agua que se utiliza el 75% proviene de extracción de pozos, donde los acuíferos sobreexplotados se recargan a 9,900 litros por segundo, mientras se extraen 15,900 litros por segundo y los 6,000 faltantes se traen de los sistemas de Cutzamala y Lerma; y esto ocasiona problemas de escasez y hundimientos, que a su vez traen problemas a las tuberías como rupturas a causa de los contrapendientes creadas por este fenómeno. Según datos de (AGUA.ORG.MX, 2018)

El municipio de Nezahualcóyotl cuenta con Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ODAPAS) cuyo deber es el abastecimiento de agua a la población, este servicio público consiste en proporcionar con la calidad, cantidad y presión adecuada, el agua necesaria para el bienestar, la salud y servicios que se dan dentro del municipio, así como recolectar y evacuar fuera el agua residual sin causar problemas a la población.

De acuerdo a la Ley del agua del Estado de México, ODAPAS es responsable de organizar y tomar a su cargo la administración, funcionamiento, conservación y operación de estos servicios públicos por lo que posee personalidad jurídica, patrimonio propio, autonomía en el manejo de los recursos y el carácter de autoridad fiscal en la relación a la recaudación y administración de las contribuciones de los impuestos a estos servicios.

#### **Características**

El municipio de Nezahualcóyotl se ubica en la porción oriente del valle de México, en lo que era el lago de Texcoco. La ubicación geográfica del territorio está en las coordenadas al norte

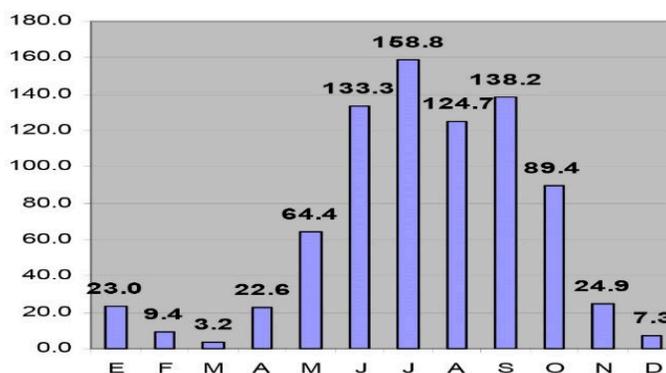
19°30' y 19°22' al sur de la latitud norte; al este 98°58' y 99°04' de longitud oeste y con una altitud media de 2,400 m a nivel del mar y cuenta con una superficie de 6,344.00 hectáreas.

El municipio presenta dos tipos de clima: a) semi seco templado, con lluvias en verano, con verano cálido (BS1k) presente en el 99.65% de la superficie municipal; b) templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad C(w0), corresponde al 0.35% de la superficie municipal.

La temperatura máxima oscila entre 30 a 32 °C entre abril y junio. Al comenzar la estación de lluvias, la insolación disminuye, los días son más frescos y se mantienen temperaturas máximas entre 26 y 29 °C de julio a octubre; mientras que, en la estación fría, la temperatura máxima varía de 26 a 28 °C.

Tomando en cuenta las altas temperaturas que se manifiestan y la frecuencia y duración de los vientos que favorecen a la evaporación, ésta ha alcanzado valores anuales hasta de 2,453.8 mm, con una media de 1,743 mm. Las temperaturas mínimas extremas tuvieron un promedio de 18 °C.

La precipitación media anual en el municipio es de 774 mm, concentrándose más de la mitad del volumen precipitado, en los meses de junio a octubre.



Grafica 7: Precipitación Media Anual De Nezahualcóyotl, Estado De México. fuente: (Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 2004)

El municipio de Nezahualcóyotl forma parte de la Región Hidrológica RH26, Región Pánuco y se ubica en la cuenca Río Moctezuma (clave D), específicamente en la subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango (clave p).

Los cuerpos de agua del Municipio de Nezahualcóyotl son la presa “Cola de Pato”, la presa “Tesorito” y la presa “La Regalada”; las tres con la clave de ubicación RH 26 D p.

Nezahualcóyotl se encuentra asentado en terrenos pertenecientes al Ex vaso del Lago de Texcoco, el sistema hidrológico de la región se conforma por: el Río Churubusco, el Canal de la Compañía y el Río de los Remedios, los cuales se encuentran en los límites con la Ciudad de México, Chimalhuacán y Ecatepec, respectivamente. Con el paso del tiempo, los tres ríos se transformaron en canales de desagüe, pasando a ser los receptores de las aguas residuales de la zona urbana del Distrito Federal, así como de algunos municipios colindantes pertenecientes al Estado de México.

El Canal de la Compañía tuvo una gran importancia como elemento fortalecedor del riego natural de las zonas aledañas, su trayectoria tiene origen en el municipio de Tlalmanalco, como desagüe natural del deshielo del Iztaccihuatl, pasa por los municipios de Chalco, Nezahualcóyotl y Los Reyes La Paz.

La zona oriente del estado constituida por Ecatepec, Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Valle de Chalco Solidaridad, La Paz, Ixtapalaluca y Chicoloapan, cuenta con insuficiente caudal de agua potable. Se tienen problemas con la calidad del líquido, no cumple con las normas para hierro y manganeso. Las fuentes de abastecimiento de agua en bloque se encuentran alejadas, ya que hace falta prolongar el Acuaférico 15 km más y 30 km para la llegada del Macro circuito.

Existe un riesgo a fenómenos hidrometeorológicos por la naturaleza lacustre del municipio de Nezahualcóyotl genera una lucha permanente de las autoridades y sociedad en general, contra el

avance de las aguas en temporada de lluvia. La construcción territorial del municipio se ha llevado a cabo teniendo como premisa la recuperación de superficies lacustres para el desarrollo urbano. Los principales riesgos por fenómenos meteorológicos se concentran en aquellas zonas cuyo crecimiento careció de la infraestructura hidráulica de acompañamiento al desarrollo urbano. Así, se presentan las superficies ocupadas por Ciudad Lago, ampliación Ciudad Lago, la colonia El Sol, Colonia Benito Juárez, y Colonia Tamaulipas sección Flores como áreas vulnerables al desbordamiento del Canal de Desagüe, del Canal de Sales y del Río Churubusco. Se considera una superficie municipal crítica vulnerable a inundaciones de 688 ha.

#### **Dotación de agua:**

ODAPAS establece una dotación diaria de 150 litros por habitante, sin embargo, el volumen establecido por dicho organismo, está por debajo de lo establecido por la Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM), quien determina un mínimo de 200 litros de agua por habitante al día.

Zonas con servicio regular de agua potable y zonas con déficit para el año 2000, se registraron 274,984 viviendas; de las cuales 779 no disponen de agua entubada, identificándose 255 viviendas que se abastecían usando agua de pipas, 504 viviendas usan agua de pozo, de llave pública e hidrantes 1,337, de otras viviendas 402, y 1,349. En este sentido se identifican dos colonias en la zona centro que no cuentan con servicio de agua potable y corresponden a las colonias Ejidos San Agustín e Izcalli Nezahualcóyotl, las cuales han sido las menos favorecidas para la introducción de infraestructura, en la zona norte del municipio se identifica la colonia Borde Lázaro Cárdenas con carencia de este servicio, el resto de la zona cuenta con la infraestructura para la dotación de agua potable.

Tabla 4:

*Viviendas particulares con servicio de agua*

LOCALIDAD	AÑOS							
	1980		1990		1995		2000	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
Total de viviendas	214,132	100.00	239,749	100.00	271,278	100.00	274,984	100.00
Viviendas Particulares habitadas con servicio	201,688	94.19	229,394	95.68	269,712	99.42	269,957	98.17

Fuente: Información procesada con base en INEGI, X, XI Censos Generales de Población y Vivienda 1980 y 1990, Censo de Población y Vivienda 1995 y Tabulados Básicos del XII Censo de Población y Vivienda 2000.

Fuente:(Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 2004)

### Fuentes de abastecimiento

El sistema de abastecimiento de agua potable en el Municipio, se realiza a través de pozos profundos, los cuales registran un caudal de 3,440 litros por segundo (l/p/s), lo que genera una aportación mensual muy cercana a los nueve millones de metros cúbicos. Es importante mencionar que 8 de estos pozos son operados por el ODAPAS, 16 por la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS) y los del ramal Peñón Texcoco por la Comisión Nacional del Agua (CNA). El caudal registrado por las fuentes de abastecimiento es de 3,440 l/p/s y con base en el

Manual de Normas de Proyecto para Obras de Aprovechamiento de Agua Potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana, establece una dotación de 200 litros, por su parte la Comisión de Agua del Estado de México, determino como mínimo una dotación de 200 litros de agua diarios por habitante.

Tabla 5:

*Pozos municipales en Nezahualcóyotl*

FUENTE	UBICACIÓN	SUMINISTRO (LPS)		
POZOS MUNICIPALES		880	COBERTURA	ZONA DE INFLUENCIA
1. Chimalhuacán (No 303)	Av. Chimalhuacán, entre calle 15 y calle 18 de la Col. Esperanza	140	Colonia Benito Juárez y la Esperanza	
2. Tepozanes (No 329)	Calle 11 o Tepozanes, entre Raylto de Sol y vías del ferrocarril, Colonia Esperanza	80	Colonia Benito Juárez	
3. Cigarra (No 330)	Cuarta Av. o Raylto de Sol, entre Cigarra y Norteñas, Colonia Esperanza	93	Colonia Rey Neza y Benito Juárez	
4. Villada (No Neza 3)	Camellón Central de Av. Vicente Villada, entre Av. Texcoco y del Valle, Colonia Metropolitana 3ª. Sección	129	Colonia Villada, Ampliación Villada y Villada Oriente	
5. Sor Juana (No Neza 3)	Camellón Central de Av. Sor Juana, entre Av. Texcoco e Indio Triste, Colonia Metropolitana 2ª. Sección	85	Colonia Metropolitana I, II y III Sección	
6. Bondojito (No Neza 5)	Bondojito y Río Blanco, Colonia Ampliación Vicente Villada Oriente	113	Colonias la Águilas y Villada	
7. Sifón (No7)	Camellón Central de la Av. Vicente Villada, entre Sifón y Martín Carrera, Colonia Metropolitana 3ª Sección	100	Colonias Evolución y Villada	
8. Escalerillas (No Neza 8)	Camellón Central de la Av. Sor Juana, entre Flamingos y Escalerillas, Colonias Metropolitana 2ª. Sección	140	Colonia Evolución	
Tanque La Caldera		605		C. Oriente
Tanque Zaragoza		115		Centro
Ramal Peñón Texcoco		590		Norte
Pozos Estatales (16)		1,225		C. Oriente
<b>Total</b>		<b>3,440</b>		

Fuente: H. Ayuntamiento de Nezahualcóyotl 1997-2000, Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ODAPAS).

Fuente: (Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 2004)

### Plantas de bombeo

Se tienen identificadas tres plantas de bombeo, mismas que se utilizan para la extracción y distribución de agua potable en el Municipio, destacando la Planta Pantitlán con 3 bombas y una capacidad de 200 hp.

Tabla 6:

*Plantas de bombeo de Nezahualcóyotl*

PLANTAS DE BOMBEO	UBICACIÓN	No. DE BOMBAS	CAPACIDAD
Pantitlán	Camellón central de la Av. Pantitlán, entre calle José del Pilar y calle Nevado de Toluca de la Colonia Los Volcanes en zona centro.	3	200 hp cada una
Carmelo Pérez	Camellón central de la Av. Carmelo Pérez, entre Av. Amanecer Ranchero y Av. Cielito Lindo de la Colonia Aurora en zona oriente.	1	50 hp.
Las Torres	Camellón central de Av. Las Torres, entre Calle 12 y Calle 13 de la Colonia Campestre Guadalupeana en zona norte.	1	50 hp

Fuente: (Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 2004)

Solamente existe un documento para acceso al público, que es el plan municipal de desarrollo urbano (Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 2004), y podemos observar la problemática hídrica que se enfoca primordialmente en la distribución del líquido, dándole prioridad en calidad y cantidad, aprovechamiento eficiente del agua en el uso doméstico y no doméstico, desalojo, tratamiento, dejando a un lado el reúso de las aguas residuales, pluviales , promover la cultura del agua y mejorar la tecnología y administración del agua.

El gobierno y ODAPAS invirtieron en operación y administración 224,355,617.91 pesos para garantizar la continuidad de los servicios en 2008. (Bautista, 2009)

Un problema se encuentra en el alto porcentaje del caudal suministrado, y no se contabiliza a causa de tomas clandestinas y a que el padrón no está actualizado, se considera que, de cada 10 predios, 4.5 pagan el agua. (Bautista, 2009)

En la tabla 7 se muestran los conceptos en los que se da gasto a las actividades de ODAPAS, aunque en estas no se especifica los porcentajes de gasto.

Tabla 7:

*Actividades desempeñadas por ODAPAS*

No.	Nombre del Indicador
1	Cobertura del servicio de agua potable entubada.
2	Análisis a fuentes de abastecimiento de agua potable.
3	Reparación de fugas en líneas de conducción.
4	Cobertura del servicio de drenaje.
5	Desazolve de la infraestructura de drenaje.
6	Operación y Mantenimiento de los sistemas de alcantarillado.
7	Cobertura del tratamiento de agua residual de origen municipal.
8	Análisis bacteriológicos y fisicoquímicos en aguas residuales tratadas.
9	Suministro suficiente de equipo.
10	Asesorías recibidas en la operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica.
11	Ejercicio de la Inversión.
12	Eficiencia en el cobro por el servicio prestado.
13	Promoción de la cultura del agua en los municipios del Estado.
14	Población estudiantil promovida en el Programa de Cultura del Agua.
15	Porcentaje de personal de los organismos operadores capacitado técnica y administrativamente.

Fuente: (Bautista, 2009)

En 2013 da como datos del Órgano Superior de Fiscalización del Estado de México (OSFEM), que el organismo descentralizado operador de agua en Nezahualcóyotl, tiene una recaudación correspondiente al impuesto del agua de 61%, un 36% se de subsidios por parte del gobierno y 1.3% de recursos federal. Sumando para ese año un presupuesto de 737,169.40 miles de pesos. El presupuesto se gasta en los siguientes conceptos: dirección general 4,409.50 pesos, finanzas 92,328.40 pesos, administración 16,898.80 pesos, operaciones 346,627.10 pesos, unidad jurídica 3,230.00 pesos, planeación 28,543.80 pesos, contraloría interna 1,984.20 pesos. Aunque parte del ingreso de remite al pago de deudas y la recaudación ha aumentado, las deudas aumentaron en un 17% con respecto a las instituciones como CFE con 145,943.20 pesos, CONAGUA 646,243.00 pesos, CAEM 607,524.40 pesos

A consecuencia los programas de agua y saneamientos, proyectos, drenaje y alcantarillado, cultura del agua alcanzan un 39.83% de los logros propuestos en ese año.(Financiero, 2013)

## 1.6 Normatividad

En las normatividades consultadas a continuación, se promueve el aprovechamiento del recurso del agua, tanto en su uso, prevenir su contaminación y el fomento de tecnologías sustentables, pero, aunque existen normas en el área de uso del agua en vivienda habitacional para reducir el uso de agua en tuberías y muebles, no existe alguna institución verificadora que supervise esta parte, quedando un hueco en el cumplimiento de las normas y se queda solo en confiar que el usuario lo cumpla.

En la parte de captación pluvial el reglamento de construcciones es ambigua, ya que por una parte nos dice que en licencias de tipo b se tiene que cumplir con un sistema de captación pluvial, pero en otro nos dice que sea en viviendas con más de 200m<sup>2</sup> de superficie techada, y la mayoría de las viviendas sociales, medio o residencial en Nezahualcóyotl no rebasan los 100m<sup>2</sup> de superficie techada.

### **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

**Artículo 4:** En el artículo más importante nos garantiza el acceso al agua con una calidad de consumo, a continuación, se cita el artículo 4, párrafo quinto:

*“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.”*

**Artículo 27:** en este artículo señala que las aguas que estén dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación, esto comprende a mares territoriales, lagunas, lagos, ríos y

sus afluentes. Y enfatiza que la autoridad tiene la capacidad de transferir el dominio público a particulares y así mismo en propiedad privada.

La constitución señala el derecho del Estado para imponer las modalidades a la propiedad privada que dicte el interés público en beneficio social, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

Las aguas de exploración del subsuelo pueden ser utilizadas libremente mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno. pero cuando el interés público lo exija o se afecten otros aprovechamientos el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las aguas superficiales de propiedad nacional.

**Artículo 115:** en el apartado III inciso “a” menciona que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y la disposición de aguas residuales.

### **Ley de aguas nacionales**

Es una ley reglamentaria del artículo 27 antes citado en materia del agua, y tiene como finalidad el uso, aprovechamiento, explotación de dichas aguas, así como su distribución, uso y la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Esta ley se aplica tanto en aguas superficiales o subsuelo, y la autoridad para hacerla valer es la CONAGUA,

**Artículo 9 y 11:** estos artículos se relacionan al uso eficiente del agua

**Artículo 47:** establece que la infiltración de aguas contaminadas al subsuelo o acuíferos sebera ser como lo estipula en el título séptimo referente a la prevención y control de los contaminantes de las aguas.

### **Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)**

Esta ley trata del control de contaminantes en todos los elementos naturales como atmosfera, suelos, biodiversidad y también el agua. Y la incorporación de elementos que ayudan a la sustentabilidad en los elementos gubernamentales.

**Artículo 17 TER:** en las dependencias de administración pública federal, poder legislativo federal, y poder judicial federal se deberán instalar elementos de captación pluvial y esta agua se utilizará para baños, actividades de limpieza de pisos y ventanas, y el riego de áreas verdes.

En esta disposición también entran los monumentos artísticos e históricos, y deberá tener una supervisión por parte del INAH

**Artículo 22 bis:** se considerarán prioritario el otorgamiento de estímulos fiscales a las actividades de: III: el ahorro y aprovechamiento sustentable y prevención de contaminación del agua.

**Artículo 88 inciso III:** para mantener el equilibrio del ciclo hidrológico se protegerán los suelos, áreas boscosas, selváticas para mantener los caudales básicos en corrientes de agua para la recarga de mantos acuíferos.

### **Ley del agua para el Estado de México y Municipio**

Esta ley se encarga de los parámetros que como el municipio debe de administrar el uso de agua y al no cumplirla sus respectivas sanciones. Y en el capítulo noveno cita que las autoridades deben promover acciones para proteger los recursos hídricos y promover el uso de acciones sustentables.

**Artículo 53:** Las autoridades del agua impulsarán la construcción de la infraestructura hidráulica que permita el aprovechamiento del agua pluvial para la recarga de acuíferos y fomentarán la construcción y conservación de instalaciones alternas que sustituyan al drenaje cuando éste no pueda construirse.

**Artículo 73:** Es obligación de los desarrolladores de vivienda, constructores o propietarios de conjuntos habitacionales, la construcción de sus redes de distribución y sistemas de drenaje y alcantarillado.

Así mismo correrá a su cargo el costo de los aparatos medidores de consumo de agua potable y su instalación en cada una de las tomas; es obligatorio el tratamiento de aguas residuales y, en su caso, pozos de absorción para el agua pluvial.

**Artículo 92:** Los desarrolladores de nuevos conjuntos habitacionales, industriales y de servicios están obligados a construir instalaciones para la recolección de agua pluvial y, al tratamiento de aguas residuales.

#### **Normas oficiales mexicanas (NOM)**

La CONAGUA, por conducto del Comité Consultivo Nacional del Sector Agua, generó las normas oficiales sobre la conservación, seguridad y calidad del agua y su uso, aprovechamiento y administración. citas en la Ley de Aguas Nacionales, a fin de que sean expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y así garantizar el derecho que toda persona tiene al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico.

Parte de esta normatividad se da en la ley general de salud pública donde especifica la calidad de agua en sus diferentes lugares de uso como tuberías, cisternas y consumo humano.

A continuación, se enlistan las NOM utilizadas para el agua que se utiliza en viviendas o uso personal.

**NOM-001-CONAGUA-2011:** especifica las características físicas de la toma domiciliaria y alcantarillado sanitario y los métodos de prueba de los mismos.

**NOM-003-CONAGUA-1996:** Da los requisitos previos y durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

**NOM-004-CONAGUA-1996:** Proporciona los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

**NOM-005-CONAGUA-1996:** Especificaciones para los fluxómetros y métodos de prueba.

**NOM-006-CONAGUA-1997:** Da las especificaciones para la instalación de fosas sépticas prefabricadas y sus métodos de prueba.

**NOM-008-CONAGUA-1998:** Especifica los elementos utilizados en el aseo corporal como regaderas, y sus métodos de prueba.

**NOM-009-CONAGUA-2001:** Da las especificaciones para la utilización de inodoros para uso sanitario y sus métodos de prueba.

**NOM-010-CONAGUA-2000:** especifica las Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro y sus métodos de prueba.

**NOM-012-SSA1-1993:** Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, público y privado.

**NOM-013-SSA1-1993:** Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano.

**NOM-014-SSA1-1993:** Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados.

**NOM-014-CONAGUA-2003:** Da los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada

**NOM-015-CONAGUA-2007:** Da los parámetros físico químicos de infiltración artificial de agua a los acuíferos y Características de las obras y del agua.

**NOM-127-SSA1-1994:** nos especifica que el abastecimiento de agua para uso y consumo humano debe de tener la calidad adecuada para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

En esta norma se puede consultar todos los parámetros, y con los debidos métodos, equipos certificados se podrá cumplir con la norma. Por lo cual el uso de filtros y sistemas de almacenaje que cumplan con estos requisitos resulta ser más costoso.

**NOM-179-SSA1-1998:** Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por los sistemas de abastecimiento público.

Por esto se pretende utilizar el agua de captación pluvial como lo marca la NOM-015-CONAGUA-2007 en el concepto de agua de infiltración, la cual no requiere conceptos de filtrado tan avanzados, solo se requiere hacer una preparación de tierra como lo especifica la norma ISO 15175:2004 y la NOM-015-CONAGUA-1996 que especifica la construcción del sistema de infiltración.

Tabla 8:

*Límites establecidos de infiltración*

**TABLA 1**

Contaminante	Unidad de medida	Límite	Método de prueba*	Método de muestreo
Grasas y Aceites	Mg/L	15	NMX-AA-005-SCFI-2000	NMX-AA-003-1980
Materia Flotante	Unidad	0	NMX-AA-006-SCFI-2000	
Sólidos Sedimentables	Mg/L	2	NMX-AA-004-SCFI-2000	
Sólidos Suspendidos Totales	Mg/L	150	NMX-AA-034-SCFI-2001	
Nitrógeno Total	Mg/L	40	NMX-AA-026-SCFI-2001	
Fósforo Total	Mg/L	20	NMX-AA-029-SCFI-2001	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	No detectable	NMX-AA-042-1987	

Fuente: (CONAGUA/SEMARNAT, 2009)

Esta ayudará a que la implementación de estos sistemas sea económicamente más viable que un sistema tradicional normal.

para poder determinar el área mínima de almacenaje que debe de tener nuestros volúmenes de almacenaje / infiltración se debe de conocer las áreas de estudio en donde se piensa poner estos sistemas, como en este caso de estudio, el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México.

Para determinar el uso real de consumo de agua en esta zona se tendrá que realizar una encuesta, ya que cada institución nos proporciona una cantidad diferente de consumo, como el reglamento de construcciones de la CDMX que dice 150 L / día / persona, mientras que CONAGUA son 50 L / día / persona. Por esto se tiene que diseñar la forma de aplicación de la encuesta para que nuestros datos sea viables.

**Normas Mexicanas (NMX):** CONAGUA, a través del Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTEMARNAT) elaboraron las Normas Mexicanas en materia de Análisis de Agua para aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas, las Normas Mexicanas de productos químicos utilizados en la potabilización del agua para uso y consumo humano y las Normas Mexicanas de Servicios, lo anterior para fomentar el uso sustentable del agua y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

**NMX-AA-003-1980:** Da los listados para el muestreo de Aguas residuales

**NMX-AA-004-SCFI-2013 a la NMX-AA-172-SCFI-2016:** especifica cada una de las pruebas que se tienen que realizar para determinar la contaminación del agua natural potable que se enumeran en la NOM-127-SSA1-1994 y se debe de seguir los pasos para que sean una prueba avalada por CONAGUA, para mayor detalle se puede consultar cada una de ellas en el portal de las normas mexicanas en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-mexicanas-83266>

**NMX-AA-158-SCFI-2011:** especifica las características que debe cumplir las lavadoras para obtener su certificado de lavadora ecológica en el consumo de agua.

**NMX-AA-161-SCFI-2015:** especifica las características de los grifos utilizados en instalaciones hidráulicas y métodos de prueba

**NMX-AA-164-SCFI-2013:** criterios y requerimientos ambientales para las edificaciones sustentables, nos da parámetros muy generales de cálculo y procedimientos para la captación pluvial.

**NMX-AA-176-SCFI-2015:** proporciona las instalaciones hidrosanitarias para la edificación de vivienda-Especificaciones y métodos de ensayo

### **Reglamento de construcción de inmuebles en Condominio del Estado de México**

Las normatividades correspondientes al reglamento de construcción de la CDMX encontradas para el estado de México fueron por última vez modificadas en 1979, y el artículo encontrado para captación pluvial cita:

**Artículo 30:** Las construcciones de los condominios deberán disponer de una red de drenaje separado (pluvial o sanitario), salvo el caso en que se ubiquen en zonas o fraccionamientos que dispongan de drenaje combinado.

### **Reglamento de construcciones de la CDMX**

Al analizar esta normatividad nos enfocamos principalmente en el área sustentable de agua y captación pluvial, ya que la parte de uso de agua queda por asentado que los arquitectos ya tienen conocimiento de ella.

**Artículo 53:** para las manifestaciones de construcción tipo B y C deben cumplir con:

Inciso d) cumplir con sistemas de captación pluvial, aprovechamiento de aguas pluviales en azotea.

**Artículo 124:** todas las edificaciones de más de tres niveles de construcción deberán contar con sistema de almacenaje de agua para satisfacer por lo menos dos días, y construcciones con más de 200m<sup>2</sup> de azotea deberán de tener un sistema de captación y aprovechamiento de agua. Y su uso será no potable.

**Artículo 125:** todas las instalaciones hidráulicas y sanitarias deberán contar con accesorios o muebles de bajo uso de agua.

### **Norma Técnica Complementaria para el proyecto arquitectónico.**

Al no ser tan actualizado el reglamento de construcciones del Estado de México como el de la CDMX, se utilizan su paramento para edificar en la zona conurbada, y en el capítulo 3 de higiene, servicios y acondicionamiento ambiental da los parámetros del uso de agua.

**1.2.3.** el gasto pluvial se calculará con la fórmula  $Q_p=2.778CIA$ , donde C es el coeficiente de escurrimiento adimensional (donde en casa habitación lo considera como mínimo de 0.5 y máximo 0.70). I es la intensidad de precipitación en mm/hr, y a área de captación en hectáreas.

2.6.2. en viviendas de hasta 90 m<sup>2</sup> construidos el gasto será de 150L/hab./día y en viviendas mayores de 90 m<sup>2</sup> será de 200L/hab./día.

## Capítulo 2: Sistemas de Captación pluvial

### 2.1 Tipos de captación pluvial

Se puede definir a la captación pluvial como la recolección del escurrimiento de lluvia sobre una superficie para propósitos de aprovechamiento. El concepto hace énfasis en el almacenamiento del agua de lluvia para su posterior utilización. Cuando se enfoca únicamente en el agua que cae en un sitio puntual, se denomina micro captación o captación de microcuencas.

La captación de lluvia puede ser considerada como una forma rudimentaria de riego, usando surcos o canales. La diferencia es que la idea de la captación está en el control, la aplicación y uso del agua colectada y no está sujeta únicamente al momento en el que llueve.

Existen conocimientos sobre una gran variedad de técnicas relacionadas con sistemas de captación y aprovechamiento de la lluvia. Dichas técnicas se pueden clasificar con base en sus diferentes fuentes, tipos de escorrentía, técnicas de manipulación, almacenamiento y uso que se le dé al agua.

La captación de agua no se limita solamente al agua de lluvia, dependiendo del lugar donde se requiera, se puede utilizar la nieve, el rocío o niebla que se encuentra en la atmósfera y existen varias técnicas para poderlas captar, desde que se encuentran en el ambiente, al contacto con alguna superficie como las cubiertas de las viviendas o desde el subsuelo aprovechando que ya pasaron por un proceso natural de filtrado.

En la ilustración 7 podemos ver con más detalle los tipos de captación de agua y su clasificación.

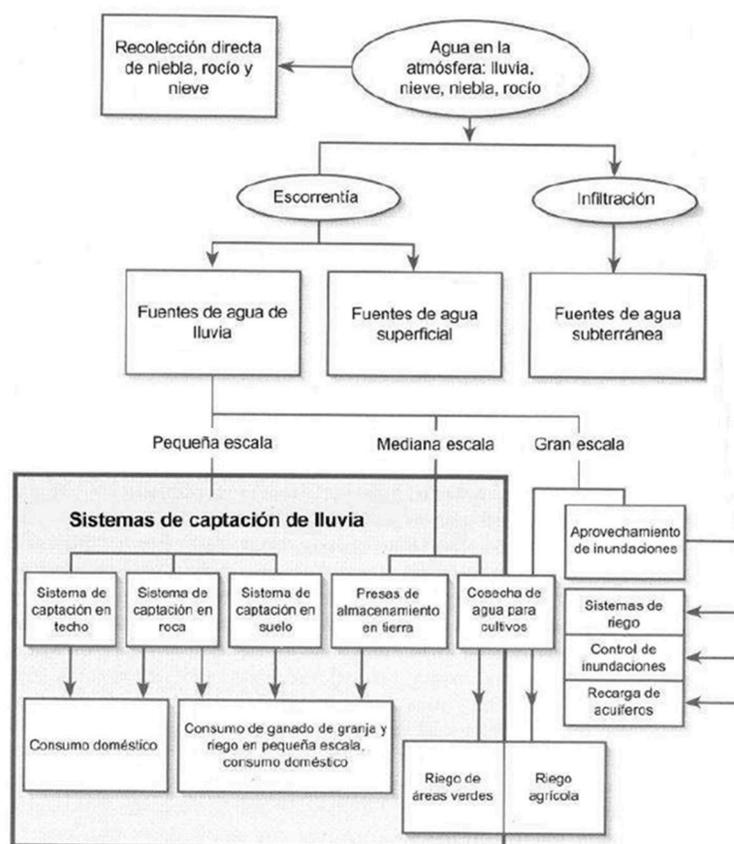


Ilustración 6: Clasificación De Los Tipos De Captación Pluvial. fuente: (Velázquez, 2012)

Podemos tener ventajas al implementar estos sistemas como:

- Alta calidad fisicoquímica del agua de lluvia con respecto a fuentes superficiales
- El sistema es independiente, funcional para viviendas lejos de una fuente de abasto
- No requiere de material y/o mano de obra especializado
- Casi no requiere de energía eléctrica
- Requiere muy poco mantenimiento
- Fácil operación, reduce tiempo del método de acarreo

Las desventajas serían:

- Un alto costo inicial

- La calidad final del agua depende de muchos factores como: contaminación del área de captación, condiciones geográficas, contaminación del aire, calidad del estado del lugar de almacenamiento, limpieza en sus ductos,
- Y dependiendo del factor anterior será el costo de tratamiento con filtros.

## **2.2 Captación pluvial a través de las civilizaciones.**

El agua ha sido indispensable para el desarrollo del humano y su sociedad, desde un inicio el hombre ha aprovechado el agua de ríos y lagos como fuente de consumo, protección y vía de transporte; las civilizaciones más importantes de la historia se desarrollaron a orillas de un río y al contar con este recurso, aprendieron el desarrollo del cultivo y la pesca; al extenderse el tamaño de las ciudades y requerir agua, tuvieron que desarrollar diferentes sistemas.

Posteriormente las civilizaciones se fueron extendiendo a lugares áridos y semiáridos, para contrarrestar la falta de agua superficial empezaron a desarrollar sistemas de captación pluvial. Dependiendo de las circunstancias climáticas la forma de almacenamiento entre las civilizaciones es diferente, como lo comenta (Suárez, 2006).

**Israel y Jordania:** se han encontrado sistemas de captación pluvial que datan de 4,000 años o más, estos sistemas consistían en el desmonte de montículos de tierra para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las zonas más bajas.

**Yemen:** un de los países donde las lluvias son más escasas, se encuentran edificaciones de templos y sitios de oración, que fueron construidas antes del año 1,000 a.C., que cuentan con patios y terrazas utilizadas para captar y almacenar agua lluvia.

**México (Maya):** los gobernantes sostenían a sus pueblos de modos prácticos, ocupándose de la construcción de obras públicas. Al sur de la ciudad Oxkutzcab, en el estado de Yucatán, en el pie de la montaña Puuc, en el siglo X a.C. el suministro de agua para la población y el riego de los

cultivos se hacía a través del aprovechamiento de agua lluvia, el agua era recogida en un área de 100 a 200 m<sup>2</sup> y almacenada en cisternas llamadas “Chultuns”, estas tenían un diámetro aproximado de 5 m, y eran excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso.

los pobladores de ciudades en campeche construían canales de casi 50 m de ancho y de 1 m de profundidad para aprovechar el agua de lluvia, este canal proporcionaba agua para beber y regar los cultivos.

**Belice:** los habitantes cavaron canales y diques de drenaje para administrar el agua de lluvia y mediante un sistema de depósitos, estos permitían que la gente permaneciera en la zona durante la estación seca cuando escaseaba el agua potable (año 200 d.C.).

**China:** En la provincia de Gansu existían pozos y jarras para la captación de agua lluvia desde hace más de 2,000 años.

**Irán:** encontramos los “abarbans”, los cuales son sistemas tradicionales locales para la captación y almacenamiento de aguas lluvias.

**Roma:** durante los siglos III y IV a.C. la ciudad de Roma en su mayoría estaba ocupada por viviendas unifamiliares denominadas “la Domus” que contaba con un espacio principal a cielo abierto (“atrio”) y en él se instalaba un estanque central para recoger el agua lluvia llamado “impluvium”, el agua lluvia entraba por un orificio en el techo. Posteriormente después del siglo III d.C se desarrolla la tubería de agua llamada “fistula aquaria” que eran hechas de láminas de plomo, estas eran alimentadas de los embalses, cisternas y acueductos, las cuales abastecían de agua a edificios públicos, termas, fuentes y casa de personas acaudaladas.

Posteriormente, del siglo XIV en la época de las conquistas de los países de España, Francia, Alemania, Portugal e Inglaterra hacia América, Asia y África, se dejaron de usar estos sistemas de

captación pluvial, al ser implementados los sistemas de construcción europeos, obligando a los originales colonos a abandonar sus sistemas de cultivo para adaptarse a los nuevos sistemas.

En el siglo XIX y XX al tener un gran crecimiento de la población los países empiezan a suministrar el agua por medio de presas y distribuidas por redes de acueductos, también se empiezan a explotar las aguas subterráneas.

Ya hasta mediados del siglo XX y XIX que se empiezan a estresar los suministros de agua superficiales y subterráneos, comienzan los conflictos sociales por la escasez de agua se empiezan a ver alternativas de suministro de agua como la captación pluvial.

### **2.3 Estado actual de la captación pluvial mundial**

El énfasis que se le da a la parte epistémica en cuanto a los datos de la situación mundial del agua y su población, es para dar a entender que la problemática de agua en cada país y dentro de ellos en sus estados o regiones puede ser muy distinta, existen muchos factores que puede intervenir a la problemática como tamaño de su territorio, clima, su población total y densidad de población, nivel socio-económico , nivel socio-cultural, cantidad de agua renovable, la huella hídrica que tienen, tipo de extracción de agua que usan, el agua virtual que exportan o importan, las tarifas que usan en su país, políticas utilizadas para la administración de agua, tipo de distribución, uso de gasto real del agua por parte de su población, etc.(Suárez, 2006)

Son demasiados factores que hay que tener en cuenta para poder crear una estrategia eficaz de captación pluvial y aprovechamiento del agua, por este motivo el encontrar investigaciones o estudios que se asimilen a esta investigación son pocos, principalmente me enfoco a las soluciones dadas a América latina, en donde compartimos más características similares que en otros países del mundo, como se describe a continuación:

**Brasil:** En Brasil muchas ONG y organizaciones ambientales se enfocan en trabajar en el suministro de agua para consumo humano usando sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. En la región noroeste de Brasil de clima semiárido, en promedio anual de lluvia varía desde 200 hasta 1,000 mm. Las comunidades nativas tradicionalmente han recogido agua lluvia en pozos excavados a mano en rocas, pero este sistema no logra satisfacer las necesidades de la población, por ello una ONG y el gobierno de Brasil 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.

**Colombia:** se caracteriza por tener una gran riqueza hídrica, por esta razón la mayoría de las poblaciones se abastecen de fuentes superficiales de agua (embalses, ríos, lagos y quebradas). La facilidad de acceder al recurso ha dejado de lado el desarrollo de tecnologías alternativas para el suministro de agua, entre ellas el aprovechamiento de agua lluvia. Sólo en algunos casos de comunidades con problemas de abastecimiento de agua potable se utilizan sistemas para el aprovechamiento de agua lluvia, la mayoría de ellos son poco tecnificados lo cual ocasiona una baja calidad en el agua y baja eficiencia de los sistemas. Este es el caso de la comunidad de la Bocana en Buenaventura, algunos asentamientos de la isla de San Andrés, la vereda Casuarito del municipio de Puerto Carreño (Vichada), el Barrio el Ponzón de Cartagena, el asentamiento de Altos de Menga en la ciudad de Cali, entre muchos otros.

Como casos aislados existen algunas edificaciones de tipo institucional o comercial, donde se realizaron diseños de instalaciones hidráulicas para el aprovechamiento del agua lluvia cubriendo total o parcialmente la demanda. El almacén Alkosto de Villavicencio, esta edificación tiene una cubierta de 1,061 m<sup>2</sup> con la cual se capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150

m<sup>3</sup>, posteriormente el agua es tratada por medio de los procesos de floculación, filtrado y cloración realizados en una planta de tratamiento, el sistema proporciona agua potable para todas las necesidades del almacén durante todo el año.

**Honduras:** En los barrios Israel Norte y Villa Nueva de Tegucigalpa, Honduras, se pueden encontrar viviendas acondicionadas con precarios sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, algunos faltos 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. Muchos de estos sistemas utilizan materiales reciclables y algunos prototipos muestran grandes niveles de iniciativa e ingenio.

**Chile:** existen numerosas zonas geográficas en las cuales se han establecido obras de captación de agua desde tiempos inmemoriales. Actualmente algunas de las obras de captación tienen fines industriales de producción de energía eléctrica y otros fines de riego, pero a menudo cuentan con un alto costo de construcción.

La obra de captación de agua diseñada permite captar el agua de la escorrentía inmediata producida por la lluvia del período de primavera y el agua de vertientes durante primavera y verano. Durante el invierno se desarma su muro formado por paneles de metal de 3 mm de espesor, de un metro de ancho por una altura no superior a tres metros, soportados sobre fierros tubulares de 100x100x4 mm de espesor. Así la construcción permite el libre escurrimiento de los caudales invernales mayores, armándose nuevamente la estructura en primavera. Lo anterior asociado con cultivos de rentables trabajados en una superficie no superior a una hectárea que permita trabajar durante todo el año al grupo familiar, genera producción y trabajo para el núcleo familiar. La tecnología de riego empleada se basa en sistemas presurizados de bajo costo que funcionan gravitacionalmente, como es el caso del riego por cintas.(Toro, 2005)

**Estados Unidos:** Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son usados en 15 Estados y territorios de los Estados Unidos: Alaska, Hawái, Washington, Oregón, 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. Existen más de 50 compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. Texas es el estado donde más se utilizan los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Una casa típica en Texas tiene un área de 200 m<sup>2</sup> de cubierta y puede producir más de 150,000 litros de agua al año con una precipitación anual media de 850 mm. El costo de los sistemas depende básicamente del tamaño de la cisterna de almacenamiento, el sistema para una casa puede costar entre US\$5,000 y US\$8,000 (año 2000), incluyendo los canales y tuberías para conducir el agua a la cisterna, el costo de la cisterna, la bomba y el sistema de tratamiento.

**Canadá:** En Vancouver, 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. Los barriles de agua lluvia son tanques plásticos de 75 galones (284 litros) que se entregan por U\$ 40 incluidos los impuestos. El barril se utiliza para recolectar agua lluvia proveniente de los techos, siendo utilizada para regar los jardines y el césped, estas actividades demandan más del 40% del agua total que llega a las viviendas durante el verano. Las proyecciones indican que cada barril podría ahorrar cerca de 1,3000 galones (4,920 litros) de agua durante los meses de verano donde la demanda de agua es más alta. (Suárez, 2006)

En Riverdale área metropolitana de Toronto, esta “HEALTHY HOUSE” es una casa familiar de tres habitaciones con un área de 158 m<sup>2</sup> ubicada. Esta edificación es totalmente autosuficiente, no

depende del sistema de acueducto municipal. El agua para consumo humano se suministra por medio de un sistema de canales que conducen el agua lluvia hacia un tanque de almacenamiento donde se le adiciona cal, esta es utilizada para reducir la acidez del agua y darle un sabor fresco, posteriormente el agua pasa a través de un filtro de arena fina y carbón activado para remover todas las impurezas y por último es sometida a un proceso de desinfección mediante luz ultravioleta.

**Alemania:** los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia fueron introducidos en Berlín, 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 micro clima. El agua lluvia cae en las cubiertas de 19 edificios (32,000 m<sup>2</sup>), se recoge y almacena en un tanque subterráneo de 3,500 m<sup>3</sup>. Esta agua es usada para la descarga de inodoros, el riego de zonas verdes (incluyendo techos verdes) y llenar un estanque artificial.

En otro proyecto Belss-Luedecke-Strasse Building State en Berlín, el agua lluvia de todas las cubiertas (7,000 m<sup>2</sup>) es descargada a una cisterna con capacidad de 160 m<sup>3</sup>, junto con el agua de escurrimiento de las calles, espacios de parqueadero y vías peatonales (área de 4,200 m<sup>2</sup>). El agua es tratada en varios pasos y usada en la descarga de sanitarios y el riego de jardines. El sistema está diseñado para que la mayoría de los contaminantes del flujo inicial sean evacuados al alcantarillado de aguas lluvias. El sistema retiene aproximadamente el 58% del agua lluvia que cae dentro del perímetro de las instalaciones. A través de un modelo basado en 10 años de simulación, se estimó que el ahorro de agua potable con la utilización de agua lluvia es de 2,430 m<sup>3</sup> por año, con este volumen se puede preservar el reservorio de agua subterránea de Berlín.

**China:** Ha estado enfrentando serios problemas de escasez de agua que han causado grandes pérdidas económicas y medioambientales. La peor condición de escasez de agua se da en la meseta de Loess de Gansu, localizada en el noroeste del País, esta es una de las áreas más pobres de China dónde el escurrimiento y el agua superficial son muy escasos. La agricultura en esta región confía en la llegada oportuna de la lluvia; por ello la mayoría de estos pueblos han padecido de sed durante siglos.

Para promover el desarrollo social, económico y mejorar la calidad de vida, es necesario mejorar las condiciones de abastecimiento de agua. La única fuente de agua potencial en esta área es la lluvia. Debido a esto desde 1988, se han probado eficientes técnicas de captación de agua lluvia y de 1995 a 1996, 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 almacenamientos 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.

**India:** Es el segundo país con mayor población después de China. Por ello el gran problema que enfrenta el gobierno es suministrar los servicios básicos a 1,000 millones de personas. La solución que se ha tomado para enfrentar estos problemas son las técnicas de aprovechamiento de agua lluvia. El monzón es un diluvio breve, allí se dan aproximadamente 100 horas de lluvia por año. En estas 100 horas debe captar y almacenar el agua para las otras 8,660 horas que constituyen un año.

**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 1,000 sistemas de aprovechamiento de agua lluvia fueron instalados en el país por la ONG Forum for Drinking Water Supply & Sanitation. Existen varios tipos de tanques utilizados para el

almacenamiento de agua lluvia en Bangladesh: tanques de concreto reforzado, tanques de mampostería, cisternas y tanques subterráneos, estos tienen un costo que varía entre US\$ 50 y US\$ 150. El agua lluvia almacenada se usa para beber y cocinar, esta es aceptada como segura y cada vez es más utilizada por los usuarios locales. (Suárez, 2006)

**Singapur:** Es un país que cuenta con recursos naturales limitados y una creciente demanda de agua, esto ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas y métodos innovadores para el aprovechamiento del recurso agua. Alrededor del 86% de la población de Singapur vive en edificios de apartamentos. 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.

**Japón:** En Tokio 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 están implementando instalaciones que están introduciendo a la población en la utilización del agua lluvia, estas son llamadas “Ronjinson”, se les encuentra la vía pública del distrito de Mukojim. Esta instalación recibe 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.

**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 en Tailandia. Las vasijas se consiguen para diferentes volúmenes, desde 1,000 hasta 3,000 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.

**Australia:** A excepción de las grandes urbes y las poblaciones mayores, la densidad de población en Australia es muy baja, debido a esto el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, haciendo que esta sea muy costosa o que en algunos lugares remotos no se suministre el servicio. En Australia se utiliza el aprovechamiento de agua lluvia se cómo una solución muy común al problema de suministro de agua. La Oficina Australiana de Estadística 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.

#### **2.4 Estado actual de la captación pluvial en México**

Después de analizar métodos de captación pluvial utilizados actualmente alrededor del mundo, ahora analizaremos algunos de los más utilizados en México; tenemos que destacar que muchos que se utilizan en México no cuentan con los sistemas de filtrado adecuados a lo que pide la norma NOM-127-SSA1-1994 por su alto costo para realizar este tren de filtrado y también los sistemas de automatización. Solamente se comentarán algunos que destacan por su innovación de propuestas de geotecnias aplicadas a la captación de lluvia, o su importancia política social actual.

Nos concentraremos en comentar sistemas de captación pluvial a escala de vivienda, ya que los métodos utilizados a en micro captaciones agrícolas, ganaderas o industriales tienen otro tipo de necesidades y escalas que deben de cumplir.

### **Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI)**

El concepto de CIDECALLI es el abastecimiento de agua de lluvia a nivel familiar y comunitario y en especial a familias marginadas, pero también se contempla para el abastecimiento de agua para diversas especies animales y el riego de cultivos que se desarrollan en invernaderos, desarrollo forestal e industrial; su concepto es promover la cultura sobre el aprovechamiento integral del agua de lluvia para el desarrollo sustentable y conservar los recursos naturales.

Una de las características del método es la utilización de un PVC de alta resistencia como geomembranas aplicados a las cisternas de uso doméstico, otro punto a destacar es que promueve la purificación y envasado del agua captada, la institución promueve cursos y capacitación para la instalación de estos sistemas.

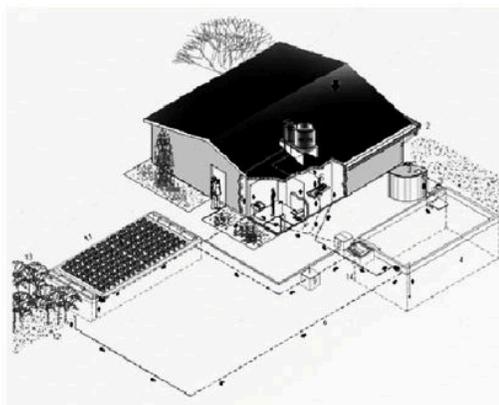
El diseño de Colpos 1 que es el modelo para captación de uso doméstico incluye en sus sistemas la opción a contar con un estanque para la producción de peces y contenedor de huerto familiar, purificadora de agua, un abrevadero para pequeñas especies animales, la opción a conexión de invernadero o riegos agrícolas, tratamiento de desechos. Está diseñado para una familia de 4 personas, contemplando el consumo de 100 L./hab./día con una captación mínima de 120 m<sup>2</sup> y debiendo cumplir con una precipitación anual no menor a 610 mm, cabe destacar que su almacenaje es de 73m<sup>3</sup> y su costo de 4,500 USD en 2008.

**DESCRIPCIÓN:**

Abastecimiento con agua potable y purificada para una familia de 4 personas y un consumo de 100 litros diarios durante todo el año.

Área de captación 120 m<sup>2</sup>

Precipitación pluvial anual 610 mm



MANEJO INTEGRAL DELL CICLO HIDROLOGICO

Tamaño del tanque de almacenaje 73 m<sup>3</sup>

Costo: 4 500 USD

*Ilustración 7:* Sistema Colpos 1 De Cisterna Para Uso Familiar. fuente: (Anaya Garduño, 2008)

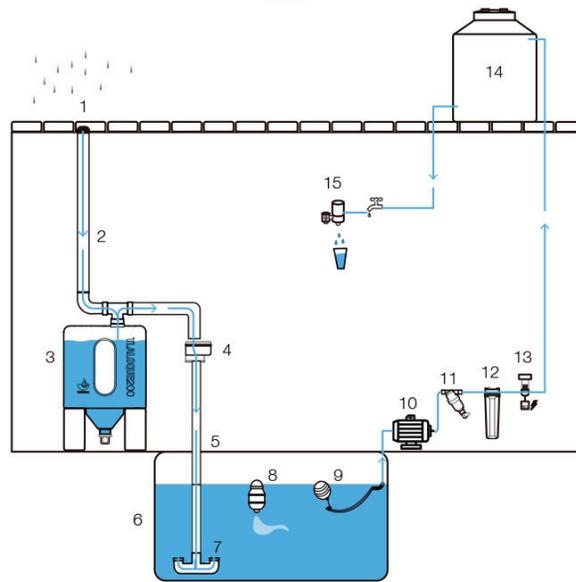
## **Isla Urbana**

Un proyecto iniciado para ayudar a una colonia del distrito federal que tenía problemas de escasez de agua y en 2009 instalaron un sistema de captación pluvial que cuenta con los elementos de captación, potabilización con los procesos de desinfección físico, químico y biológica.

Su aportación es el diseño de un separador de primeras aguas patentado por ellos llamado Tlaloque (3) creado por su fácil instalación y manejo, utilizando plásticos de alta duración, su reductor de turbulencias (7) y su tren de filtrado económico (6) (11) (12) (13), como se puede ver en la ilustración 7.

Cuentan con varios modelos de captación a nivel ciudad, campo, y destacan sus trabajos en escuelas, trabajo en comunidades.

actualmente en 2019, se encuentran en un programa llamado cosecha de lluvia de la ciudad de México, donde con ayuda del gobierno de la Ciudad de México ayudan a las colonias que cuentan con problemas de agua a la instalación de estos sistemas,

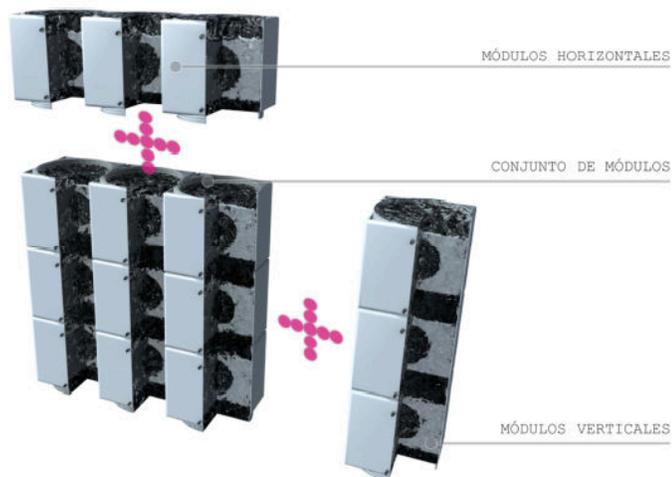


*Ilustración 8:* Componentes Del Sistema De Captación Pluvial De Isla Urbana. fuente: (Urbana, 2016)

### **Arquitectura del Agua**

Otras propuestas interesantes como la de Hansel Michel Ramírez Flores que presenta en su trabajo de tesis “la gestión del agua presentada a través del diseño arquitectónico”, don se enfoca en el apartado de almacenamiento y da una propuesta de un elemento modular multifuncional, donde aparte de tener la función de almacenamiento de agua se puede utilizar como elemento arquitectónico, en este caso muros.

Es un elemento modular, con forma de un paralelepípedo, que se pueden unir entre sí, dentro contiene una forma cilíndrica, que por medio de un sistema de enroscado se pueden ir apilando para generar diseños, y su función hídrica se da por dos entradas que se interconectan para distribuir el agua.



*Ilustración 9:* Diseño Del Sistema De Almacenamiento Vertical. fuente: (Hansel Michel Ramírez Flores, 2012)

## **Ekomuro H2O**

Un sistema creado por Ricardo Alba, ha sido reconocido en varios eventos de sustentabilidad a escala mundial, donde utilizando elementos básicos de un sistema de captación pluvial, se enfoca en elementos de almacenaje, que con 54 botellas de PET de 2 o 3 litros, crea una red de interconexiones para el flujo de agua y al ser un sistema vertical ocupa poco espacio y se puede implementar en viviendas con pocos recursos económicos.

Este diseño ha sido utilizado para realizarse como proyectos ecológicos en escuelas secundarias, que con la participación de varios estudiantes se puede implementar en pocas semanas, existen manuales y tutoriales en redes sociales que facilitan su acceso al método.

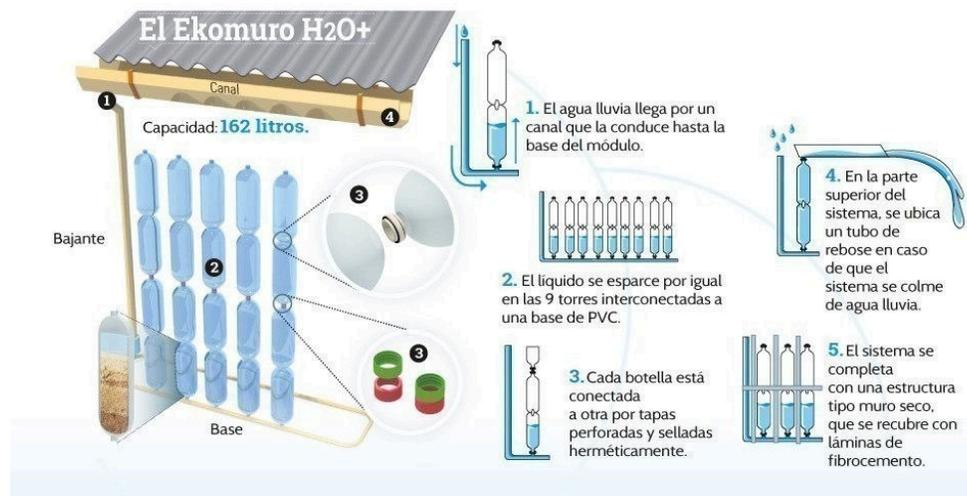


Ilustración 10: Componentes Básicos Del Sistema Ekomuro. fuentes: (Bioguía, 2016)

## Hidrotón

CONAGUA en el día nacional de agua hace el “hidrotón” que son estrategias para el desarrollo sustentable hídrico, en su primera edición en 2016, hace promoción de una cultura participativa de la sociedad mediante el uso racional del agua, en este plan participan gobierno federal, estatal, municipal, secretarías y sociedad civil. Entre sus propuestas se encuentran: crear infraestructura para eficientar el abasto de agua, instalación de dispositivos ahorradores, campañas de difusión e instalación de sistemas de captación pluvial.

## SCALL UDG

el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD) de la Universidad de Guadalajara (UDG) se lleva a cabo un proyecto denominado “SCALL UDG”, encaminado a crear conciencia sobre el cuidado del agua en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En él participan profesores y estudiantes de diferentes disciplinas y han desarrollado un esquema integral de aprovechamiento del agua para el CUAAD que, además de sistemas de saneamiento, incluye la

cosecha de 220 mil litros anuales. También han realizado análisis de viabilidad y gestiones para la implementación de SCALL en el Palacio Municipal de Guadalajara.

Se encontraron un sinfín de sistemas de captación pluvial que se adaptan a las necesidades de cada usuario, dependiendo de distintos factores como espacio, diseño, automatización, gasto de agua, etc. se recomienda revisar el trabajo de Álvaro Ávila Morales (Ávila Morales, 2013) donde entra más a fondo en los diferentes sistemas de captación pluvia que se encuentran en México.

Como comentario final se observa que cada país aprovecha las situaciones y tecnologías con las que cuenta, desde crear lugares de almacenamiento solo apilando piedras, creando cisternas con métodos tradicionales y artesanales o países que aprovechan la cimentación de sus edificios. La principal dificultad que se encuentra México, y siendo más específico en el Estado de México, municipio de Nezahualcóyotl, es cambiar la forma de pensar a la gente tanto en la forma de consumo de agua y que el suministro puede provenir de distintas formas, no solo del suministro municipal, que si al instalar un sistema de captación pluvial y realizando un poco de mantenimiento como limpieza gradual de sus cubiertas, pueden reducir la escases de agua; un panorama idóneo sería que se pudieran hacer lugares de captación comunitario para poder albergar los excedentes de lluvia.

Otra de las posibilidades que se podría tener y es donde se enfoca la investigación, es involucrar al gobierno federal o estatal, Con un estudio que involucre estadísticas de INEGI , encuestas a los usuarios de agua del municipio para obtener el consumo de agua real y traspalándolos a un mapas con Sistemas de Información digital (SIG) , para obtener datos de una región en específico, y poder comprobar de que es factible la implementación de un sistema de captación pluvial masivo en viviendas ya edificadas.

## **2.5 Componentes de un sistema de captación pluvial:**

Existen varios elementos que pueden integrar a un sistema de captación y aprovechamiento de lluvia, pero los básicos están en función de la captación, conducción y almacenamiento del líquido. Cada uno de estos puede ir acompañado por otros componentes adicionales para mejorar dicho sistema.

### **1-. Área de captación**

Se refiere a la superficie que va a recolectar el agua de lluvia. Puede ser natural o artificial, entre las superficies más comunes se encuentra el cemento, láminas de metal, plástico, fibra de vidrio o vidrio y hojas secas de algún tipo de planta. Estas generalmente son usadas como techos y dependiendo de las características de cada una pueden tener ventajas al momento de captar.

### **2-. Conducción**

El sistema requiere elementos para transportar el agua colectada hacia el lugar de almacenamiento, para lo cual se usan comúnmente canaletas o tubería que pueden ser de polímero de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE), metal galvanizado, madera o fibras naturales.

### **3-. Almacenamiento**

El lugar en donde se conservará el agua captada puede ser muy variado y según sus características dependerá la calidad que mantendrá, puede ser desde una zanja natural, hasta tanques especializados y pueden ser de concreto, ferro cemento, acero, plásticos, etc.

### **4-. Filtros**

Utilizados para separar cualquier tipo de contaminante existente en el agua, sus tipos dependen del tamaño y tipo de contaminante encontrado, como pueden ser:

4.1 Filtros de hojas y solidos grandes: se encargan de retirar elementos de gran tamaño que puedan arrastrar la lluvia.

4.2 Interceptores o separadores de primera lluvia: estos atrapan la primera agua recolectada que contiene la mayor concentración de contaminación de la atmosfera y superficie de captación y pueden ser manuales o automáticos.

4.3 Sedimentadores, desarenadores y clarificadores: su objetivo es retirar solidos que puedan sedimentar antes del almacenamiento, este tratamiento ayuda a hacer más eficiente el filtrado y reducir el mantenimiento general del tratamiento anterior

4.4 Filtros especializados: Ayudan a retener solidos suspendidos y otros que no fueron retenidos en las etapas anteriores. También pueden reducir la contaminación microbiológica, y podemos encontrar filtros rápidos, lentos de gravedad o presión.

4.5 Dispositivos para desinfección: ayudan a eliminar microorganismos y potabilizar el agua colectada, algunos ejemplos son cloradores, lámparas de luz ultravioleta y dosificadores de plata coloidal.

4.6 Dispositivos de automatización: se trata de equipos que ayudan a completar el sistema en la parte operativa. Se incluyen la bomba o equipo para trasladar el líquido por presión, el controlador y los sensores de nivel que automatizan esta labor, sensores de temperatura, pH, etc.

En esta metodología que se quiere desarrollar la interrelación de formas de análisis de datos generados en los sistemas de vivienda y la metodología que se usa para las grandes áreas.

Los sistemas tradicionales de captación pluvial cuentan con cinco elementos básicos:

1. Áreas de captación como losas o cubiertas en techos y áreas permeables
2. Canaletas y tuberías
3. Filtros que nos permitan potabilizar el agua.

4. Almacenaje en superficie o subsuelo
5. Bombeo



*Ilustración 11:* Elementos Básicos De Un Sistema De Captación Pluvial. fuente: elaboración propia

## 2.6 Métodos de captación pluvial tradicional en vivienda

En los sistemas de captación pluvial tradicional que se utilizan en viviendas, el método utilizado a su implementación es:

- Áreas de captación: Calcular el área de captación efectiva que se tendrá en la vivienda, en la mayoría de los casos nos referimos a las cubiertas, y como se realiza en una sola vivienda, el levantamiento se hace in situ para obtener los metros cuadrados.
- Diseño de almacenamiento de agua: al tener el dato de áreas efectivas, con algunos cálculos y datos pluviales de la región se puede obtener el volumen, aunque no existe

una norma o regla de cuanto debe de ser el volumen asignado, esto se determina principalmente por la necesidad del usuario y su capacidad económica, ya que este concepto suele ser el más alto en todo el sistema de captación.

- Canaletas y tuberías: esto depende del estado actual de la vivienda, materiales utilizados, pero en la gran mayoría se utilizan materiales de lámina galvanizada o PVC, por su bajo costo y facilidad de instalación, en este caso se usan los diámetros mínimos por ser pequeñas áreas de captación pluvial.

También dependiendo si el sistema es para implementación en vivienda nueva o ya edificada, dependerá la tubería utilizada para su utilización, otro factor que puede afectar el diseño es la calidad de agua obtenida por el tipo de filtrado.

- Filtros: dependiendo la actividad del agua que se quiera tener con el agua obtenida, se tendrá que llevar un tren de filtrado en específico, para vivienda obtener la calidad de agua que nos pide la norma NOM-127-SSA1-1994 resulta incrementar el costo por los diferentes pasos de filtrado y si grado de automatización.
- Bombeo: dependiendo el grado de automatización que se requiera, puede que incremente su costo, aunque el aumento no sea de gran impacto.

Dependiendo el tipo de geotecnia (término utilizado para el tipo de técnica de captación pluvial, materiales utilizados y mano de obra) que se utilizará, todas deben de cumplir con los requisitos mínimos mencionados en el tema anterior, los precios de instalación en vivienda van de los 40,000 a 75,000 pesos mexicanos en agosto de 2019, dependiendo la zona y el proveedor. Analizando los costos por concepto podemos ver que entre el 60% y 70% del gasto recae en el almacenamiento y estos precios pueden oscilar dependiendo el material con el que se fabrique y la ubicación que va a tener, si es en subsuelo o superficial; incluso se llegaron a encontrar presupuestos de 250,000 para sistemas que potabilizan el agua que garantizan cumplir con la norma que nos da la secretaria de salud.

Cabe mencionar que estos sistemas se enfocan en proyectos de vivienda unifamiliar, donde el sistema de almacenamiento se maneja de forma subterránea por el poco espacio libre con el que cuentan las viviendas y solo algunos lo manejan de forma superficial.



*Ilustración 12:* Modelo Tradicional De Captación Pluvial En Vivienda. fuente: creación propia

## 2.7 Propuesta de Método de captación pluvial comunitaria

Después de la información analizada de las diferentes actividades de consumo de agua por los usuarios de cada población y de los sistemas de captación pluvial utilizados en vivienda, se tiene una mejor comprensión de cómo deben de funcionar los elementos de las geotecnias mencionadas anteriormente, y por esto una de las hipótesis para desarrollar un método eficaz y económicamente viable, es eliminar los almacenamientos de agua unitarios en cada vivienda y generar un almacenamiento comunitario se reduzca los costos y enfocarnos a la calidad de agua y dependiendo de esta, desarrollar trenes de filtrado específicos para el agua obtenida en la región de trabajo, para esto se diseñaron los siguientes pasos:

### **Actividades y consumo de agua.**

Para obtener el consumo actual de agua de la población que se requiere implementar el sistema de captación pluvial comunitaria, se propone la aplicación de una encuesta (capítulo 3), en la cual se obtendrá el promedio, media, desviación estándar del consumo de agua y el desglose de actividades en las que se realiza este gasto, con el propósito de entender mejor el comportamiento de la población de estudio. También se recopilarán datos de las viviendas y población a la cual se va a intervenir, como número de viviendas existentes en el área de trabajo, viviendas habitadas,

viviendas abandonadas, número de personas que viven en esa extensión de territorio. Estos datos se pueden obtener en el inventario nacional de viviendas de INEGI y nos ayudara a obtener datos de la cantidad necesaria de abastecimiento de agua en nuestro caso de estudio.

### **Áreas de captación pluvial efectiva**

al no tener una fuente de información de donde obtener datos actualizados de los predios o catastro, se tuvo que generar estos datos por medio de vuelos de drone, esta técnicas para obtener imágenes se les conoce como ortomosaico, que es el proceso de una serie de fotografías con ciertas características previas y con ello podemos generar de modelos de elevación digital (DEM), donde podemos crear mapas topográficos, de porcentajes de pendiente, escurrimientos hidrológicos, clasificaciones hipsométrica, etc.

Este método resulta económicamente accesible, porque permite la utilización de drones relativamente baratos a comparación de los usados profesionalmente y gracias a que existen softwares gratuitos o con periodos de prueba que nos permiten realizar estos cálculos podemos obtener la información requerida para este proyecto.

### **Datos pluviales**

La recopilación de la información de precipitación pluvial, se hará de la estación meteorológica más cercana al lugar de implementación del sistema de captación pluvial, estos datos se pueden obtener del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

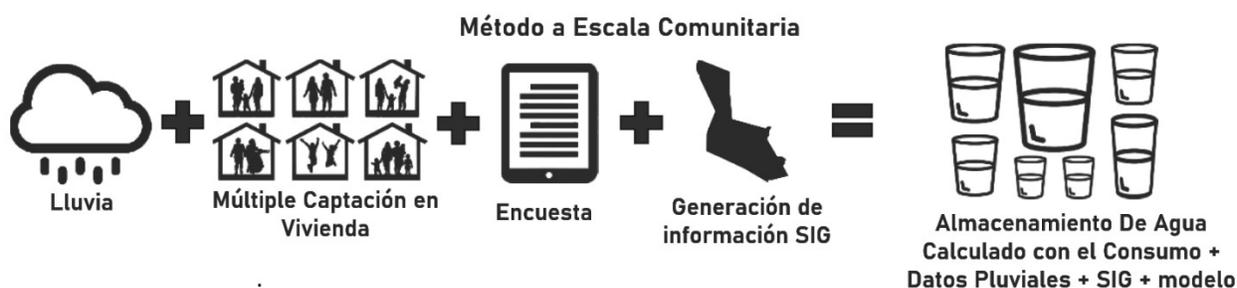
### **Cálculo:**

Después de consultar normas, manuales y lineamientos en donde nos dan métodos para el cálculo de captación pluvial, se puede diseñar un modelo en donde se contemplen los valores obtenidos de los puntos anteriores y no basarnos en datos que al parecer no contemplan los gastos de agua que se tienen actualmente.

De las estaciones meteorológicas podemos obtener los datos de precipitación por día, mes o año y así tener nuestro rango de información que sea mínimo de 10 años como lo pide la norma NMX-AA-164-SCFI-2013 de edificaciones sustentables. Aunque dependiendo la estación meteorológica consultada se pueden tener distintos rangos de información pluvial, en este caso en la estación 15061 Nezahualcóyotl cuenta con un rango de historial de 1967 al 2014.

La ventana de utilizar este método propuesto, es que se puede utilizar desde escalas arquitectónica y escalas urbanas las cuales se pueden manejar a la clasificación que maneja INEGI para dividir el territorio como Manzanas, o Áreas Geoestadísticas básicas (AGEBS), y también puede utilizarse para la solución de la falta de agua e infiltración a subsuelo.

En la ilustración 13, podemos ver el método lineal de cómo se realizaría esta recopilación de información para poder determinar las áreas de almacenamiento que una de las hipótesis de esta investigación es que cada una debería ser diferente, y con esto se pueden reducir los presupuestos de realización de obra.



*Ilustración 13:* Descripción Grafica Del Método De Captación Pluvial Comunitario. fuente: creación propia

El método se enfoca en el tema vivienda, porque el reglamento de construcciones pide que viviendas de tipo licencia tipo B y C, con cubiertas mayores de 200m<sup>2</sup> deben tener un sistema de captación pluvial y más de 80% de las viviendas en Nezahualcóyotl no pasan de los 100m<sup>2</sup>, y con eso se podría satisfacer una gran demanda de agua si se utilizaran estas cubiertas en conjunto.

### **Geotecnia propuesta a utilizar**

en un principio el tema solo se enfocaba a viviendas de interés básico y social, por ser de las que más sufren escasez de agua, pero se observaron un fenómeno particular en la zona de Nezahualcóyotl, que en la misma manzana pueden existir viviendas de interés básico y viviendas de nivel residencial, pero sufrir el mismo nivel de desabasto de agua, por esta razón se consideró cualquier tipo de vivienda.

Por esta razón los materiales utilizados son de PVC, que no son los más ecológicamente sustentables, pero al ser el material más conocido no requieren de una mano de obra especializada para su instalación, su costo de instalación se abarata y otra ventaja es que se puede encontrar en la mayoría de los lugares, como ferreterías pequeñas, la idea de utilizar este material es que en algún momento el usuario si llega a tener algún problema con el sistema, ellos mismos puedan repararlo o recurrir a cualquier plomero para repararlo.

### **Capítulo 3: Consumo real de agua y características de su población**

Para poder identificar y calcular los gastos de agua que se tiene en el proceso de elaboración de algún producto o servicio en el mundo, se crearon los conceptos de huella hídrica y agua virtual. En la huella hídrica nos dicen que por ejemplo para crear un 1kg de trigo se necesitan 1000 litros de agua, se puede así determinar cuánto es el consumo de trigo de la población que lo necesite y analizar si es viable realizar su cultivo o es mejor comprarlo a otra región o país, a esto se le llama agua virtual.

Para entender mejor todo el proceso de cómo se obtiene el agua de una región es necesario comprender el ciclo hidrológico y al tener claro sus pasos podremos comprender mejor cómo funciona el consumo y su captación pluvial.

#### **Ciclo hidrológico:**

O También conocido como ciclo del agua es:

“El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. El agua de la Tierra está siempre en movimiento y constantemente cambiando de estado, desde líquido, a vapor, a hielo, y viceversa. El ciclo del agua ha estado ocurriendo por billones de años, y la vida sobre la Tierra depende de él” (Howard, 2017)

En la escuela a todas las personas se enseña el ciclo del agua y no entendemos la importancia de esta, hasta que empezamos a tener problemas con ella, uno de los pasos más importantes de este es la precipitación, que es el agua que liberan las nubes en forma de lluvia, granizo, nieve y cae a la tierra por acción de las lluvias. (Howard, 2017).



Ilustración 14: Ciclo Hidrológico O Del Agua. fuente: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

### Huella hídrica:

La forma en que se mide el impacto de las actividades humanas con respecto a los recursos hídricos se le conoce como huella hídrica, y nos sirve para medir los hábitos de consumo del recurso del agua por persona, producto, negocio, cuenca o país. Y así comprender los riesgos que se tiene al realizar alguna actividad relativa al suministro de agua en ese proceso.

La huella hídrica nacional tiene dos vertientes, la huella de producción que es la cantidad de recursos hídricos locales empleados para producir bienes y servicios en un país, y huella de consumo que son los bienes y servicios consumidos por la población del país.

El gasto hídrico promedio mundial anual para una persona es de 1,385m<sup>3</sup> en el periodo de 1996 a 2005, pero existen países que se encuentran sobre ese gasto como México que se muestra en la tabla 9:

Tabla 9:

*Países con mayor huella hídrica*

País	Huella hídrica m <sup>3</sup> / año
Mongolia	3775
Nigeria	3519
Bolivia	3468
Estados Unidos	2842
España	2461
México	1978
China	1071

Fuente: (Jordi, 2013)

Una de las principales formas en cómo se mide la huella hídrica es la extracción de agua de sus cuencas o mantos acuíferos, y una de las principales causas es el aumento de la población mundial hasta más del triple que en el siglo anterior y por consiguiente el consumo de agua se elevó seis veces. (CONAGUA, 2016c)

Entre los países con mayor extracción de agua se encuentra México en el séptimo lugar, siendo el uso agrícola en mayor porcentaje de gasto en la mayoría de los casos, como se muestra en la tabla 10:

Tabla 10:

*Países con mayor extracción de agua y porcentajes de uso*

No.	país	Extracción	agrícola	industrial	publico
1	India	761	90.4	2.2	7.4
2	China	607	64.5	23.1	12.3

3	Estados Unidos	485	36.1	51.2	12.8
4	Pakistán	183	94.0	0.8	5.3
5	Indonesia	113	81.9	6.5	11.6
6	Irán	93	92.2	1.2	6.6
7	México	85	76.3	9.1	14.6
8	Viet Nam	82	94.8	3.7	1.5

Fuente: (CONAGUA, 2016c)

### **Agua virtual:**

Y de los conceptos manejados en huella hídrica se desprende el de Agua virtual, que es la cantidad de agua empleada en la elaboración y proceso de un producto, cuando un producto es importado o exportado esto genera un intercambio entre países de agua virtual. El cultivo de un kilogramo de maíz conlleva a un gasto promedio mundial de 1,222 litros de agua, esto depende mucho de las técnicas de cultivo, en México se requieren 1,860 litros, otros ejemplos los podemos ver en la tabla 11:

Tabla 11:

#### *Resumen de agua virtual en productos mexicanos*

Producto	Agua virtual en litros
Playera de algodón	2000
Hamburguesa de res de 150 g.	2400
Par de zapatos	8000
Vaso de cerveza de 250 ml	75
Manzana de 100 g.	70

Fuente: (Arreguín, López, Marengo, & Tejeda, 2007)

Esto puede ser una estrategia para la distribución de recursos entre los países carentes de agua al hacer uso de importaciones y solo se tendría que evaluar el impacto para crear distorsiones en los productos locales.

### **3.1 Gasto de agua por persona:**

El gasto de agua real depende de diversos factores de la persona que estemos hablando, como el clima en donde habita, nivel cultural, el nivel socioeconómicas de la persona, y sus costumbres, la disponibilidad del recurso en la zona. El promedio de dotación de agua es de 250 L/hab./día en el país, pero por pérdidas consuntivas se llegan a perder 100 L/hab./día. (Enrique, 2008). Y por esto el consumo promedio es de 150 L/hab./día, en otros lugares como Tijuana es de 176 L/hab./día, en León Gto. Es de 116 L/hab./día. Y en Monterrey N.L. es de 176 L/hab./día. Cada población tiene su propio consumo.

Saber la jerarquía con que se debe usar el agua es muy importante, no es lo mismo tener solo unos litros de agua, los cuales serán usados para beberla y posteriormente entre mayor cantidad de agua se disponga se utilizará para diferentes usos, higiene corporal, lavado de ropa, limpieza de necesidades fisiológicas, y cada uso adicional mejora la calidad de vida y salud.

Aunque la importancia del uso del agua es determinada por cada persona según su sexo, edad, religión, estrato social, clima, usos y costumbres de cada país o región, todos estos factores deben de tomarse en cuenta para poder generar el uso real del agua.

Primero se tiene que tomar en cuenta el acceso al servicio del agua, como lo propone la World Health Organization (WHO), en sus tablas de requerimientos de servicio de agua para promover la salud, ubicar en qué situación se encuentra nuestro caso de estudio (Guy, 2003):

- No acceso al agua (5l/c/d): está a más de 1000m o 30 min de un contenedor
- Acceso básico(20l/c/d): entre 100 y 1000m o 5 a 30 min de contenedor

- Acceso intermedio(50L/hab./día): menos de 100 m o menos de 5 min o tubería
- Acceso optimo(100L/hab./día): suministro de tubería constante

Primero tenemos que tomar en cuenta la pirámide de jerarquía de necesidad de agua que propone OMS y OPS, como se ve en la imagen siguiente:



*Ilustración 15: Jerarquías De Las Necesidades De Agua. fuente:(Salud, 2009)*

El IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) nos da dos parámetros importantes al contemplar el gasto de agua en una vivienda uno de ellos es el tamaño de la vivienda y su clasificación, en este caso la vivienda la clasifica en tres grupos: popular, en la cual es un departamento en edificio o vecindad el cual cuenta o no con un jardín de 2 a 8 m<sup>2</sup> y un baño, vivienda media la cual puede ser un departamento o casa con un jardín de 15 a 35 m<sup>2</sup>, 1 o 2 baños y un tinaco, y vivienda residencial la cual tiene jardín mayor a 50 m<sup>2</sup> y el consumo per cápita en litros diarios de acuerdo al clima del país. Como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 12:

*Promedio del consumo de agua potable estimado por clima predominante*

clima	Consumo	Consumo	Consumo	Subtotal por
	bajo	medio	alto	clima
Cálido húmedo	198	206	243	201
Cálido subhúmedo	175	203	217	191
Seco o muy seco	184	191	202	190
Templado o frío	140	142	145	142

Fuente: (CONAGUA, 2011b)

Tabla 13:

*Promedio del consumo de agua potable estimado según nivel socioeconómico y clima*

clima	Nivel socioeconómico		
	bajo	medio	Alto
	M <sup>3</sup> /toma/mes		
Cálido húmedo	24	25	28
Cálido subhúmedo	20	23	26
Seco o muy seco	22	22	22
Templado o frío	15	16	14

Fuente: (CONAGUA, 2011b)

También podemos encontrar datos de consumo de agua en los lineamientos técnicos para la captación pluvial de CONAGUA (CONAGUA, 2016d) en donde se dividen según el clima y el tipo de vivienda, se puede ver la tabla a continuación:

*Tabla 14:*

*Consumo per cápita en litros de acuerdo al clima y nivel socioeconómico.*

clima	Consumo por clase socioeconómico		
	residencial	media	Popular
Cálido mayor a 22°C	400	230	185
Semicálido de 18 a 22°C	300	205	130
Templado de 12 a 17.9°C	250	195	100
Frio menor a 12°C	250	195	100

Fuente:(CONAGUA, 2016d)

Posteriormente analizando las fuentes que contemplan el uso de agua por actividad, no se encontró un protocolo, tabulador o una lista donde se acuerde por parte de los autores contemplar un igual número de conceptos del uso de agua; la OMS contempla uso para beber e higiene corporal, mientras que otros autores más especializados contemplan el riego de jardines o la evaporación del agua al planchar.

También no se tiene claro cómo se debe de registrar el gasto de agua, mientras que unos proponen el gasto diario por medio de litros exactos, otros autores colocan rangos de consumo o en un caso se llega a contemplar el consumo racional y desmedido; otro sector prefiere usar porcentajes del consumo de agua por actividad, y un sector muy pequeño lo clasifica por medio de gasto de litros / minuto.

### 3.2 Usos del agua en la vivienda

En primera instancia se debe contemplar que existen dos tipos de uso de agua:

Consuntivo: el cual es que se tienen pérdidas volumétricas de agua en sus procesos, que al realizar una actividad tienen una cantidad de ingreso y al término de esa actividad se tienen menos volumen. Que en el caso de viviendas es la distribución urbana a través de tuberías.

No consuntivo: en las cuales las actividades no tienen pérdida o es mínima la pérdida como usos de generación de energía o ambientales.

Posteriormente, aunque ya vimos que existe un rango entre los 100 a 400 L/hab./día en el consumo de una persona en su día a día, tenemos que desglosar en que actividades lo hace, y aquí es donde se encuentra una gran cantidad de información al respecto, ya que, aunque existen actividades muy concretas, sus formas de consumo y porcentajes varían según sus características.

A continuación, se presentan una serie de tablas y gráficas que se recopilaron de las distintas fuentes consultadas para poder comparar y demostrar que no hay orden en la clasificación del gasto de agua en el mundo:

En la tabla 15, se puede ver los distintos conceptos de gasto de agua y como los autores presentan un número distinto de usos de agua, algunos autores usan en mismo concepto para integrar varios usos, y en casos como SISS y LANDA dan rangos de consumo.

Tabla 15:

*Recopilatoria de uso diario de agua*

concepto				Ramírez F.(2012)		
	OMS	SISS	Landa N(2010)	madre	padre	hijo
requerimientos diarios						
requerimiento minimo	7.0	133.0	250.0	312.0	312.0	312.0
agua para beber	3 o 4		1.5	3.0	3.0	2.5
preparacion de comida y limpieza de alimentos	2 a 3	10.0	06 a 10	3.0	3.0	3.0
lavado de dientes		2 a 12	15-30	3.0	3.0	3.0
higiene personal	6 a 7		35-70	20.0	20.0	20.0
lavado de ropa	4 a 6		60-100			
poner lavadora		60 a 90	170.0	8.0	8.0	8.0
lavado de platos lavavajillas		18 a 30	18-50	3.0	3.0	3.0
lavado de platos a mano		15 a 30	100.0	3.0	3.0	3.0
WC nuevo		6 a 10	6.0	21.0	21.0	18.0
WC antiguo		18 a 22	10.0			
lavar el auto		400.0	375-400	18.0	18.0	18.0
regar 100m2 de jardin		1000.0	400.0	4.8	4.8	4.8
tina de baño		200 a 300				
aseo de casa			15-40	2.0	2.0	2.0
planchado				1.0	1.0	1.0
otros				7.0	7.0	7.0

Fuentes: (Salud, 2009)(SiSS, 2017a)(Galaviz, 2010) creación propia

En la siguiente tabla a continuación se recopilamos otros autores donde usan el porcentaje de uso en sus encuestas, en este caso en los valores que se encuentran rellenos de color son los datos que vienen incluidos en un mismo concepto, como podemos apreciar, se presenta el mismo problema de coordinación de conceptos de uso diario de agua.

Tabla 16:

*Recopilatorio de uso diario de agua en porcentajes:*

Concepto	estudiante s de UCV venezuela	uso por actividad OMS	uso por actividad C.A.Venezuela	uso por la universidad de barcelona	vida sostenible .org	COAPAES (sonora)	CEA (queretaro)	agua de Hermosillo	CESP (tijuana)
consumo en li/hab/dia						300		304	170
ducha	42	20	31	33	35	70		35	30
lavado de cara,manos, afeitada y cepillado de dientes	12	4		25			25		
Arrastre de excretas y orina	20	40	36	23	30		40	30	40
lavado de ropa	7	24	14	10	10	15	15	6	15
limpieza de casa	2	4	8		5	13			
lavado de utensilios empleados en lacomida	10	8	7	5	20				6
bebida y preparacion de alimentos	7		4	4			10	20	5
riego							10		
beber agua						2		1	
otros								3	4

Fuente:(Blanco S., De Williams, Velezmore, & Aguilar L., 2014) (Salud, 2009) creación propia

También existe un pequeño grupo de autores genera sus datos cuantificando el número de litro que se gasta por actividad por minuto, pero como en las otras dos tablas presenta el mismo problema en los conceptos.

Tabla 17:

*Recopilatorio de usos de agua en litros/minuto*

	Landa N(2010)	CPS
tabla de consumo de agua por objeto	lt/min	lts/per/dia
grifo en patio	18	40
lavabo	6	2
manguera	15	
fregadero	15	2
regadera	7	10
tanque WC	15	6
Lavadero		2
lavadora		190
lavador de platos		

Fuente: creación propia

En las tres tablas anteriores, se presenta el uso en diferentes formas, pero es difícil apreciar un patrón de uso, pero si las graficamos podemos ver en qué sectores se usa más el agua:

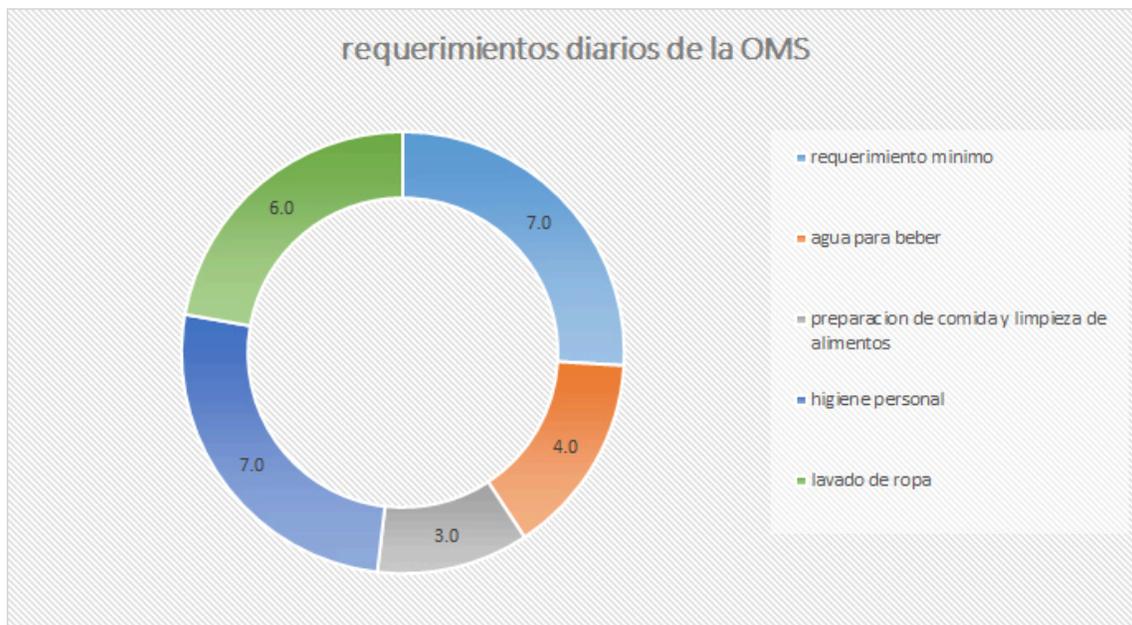


Ilustración 16: Requerimientos Diarios De OMS. fuente: datos de la OMS, creación propia

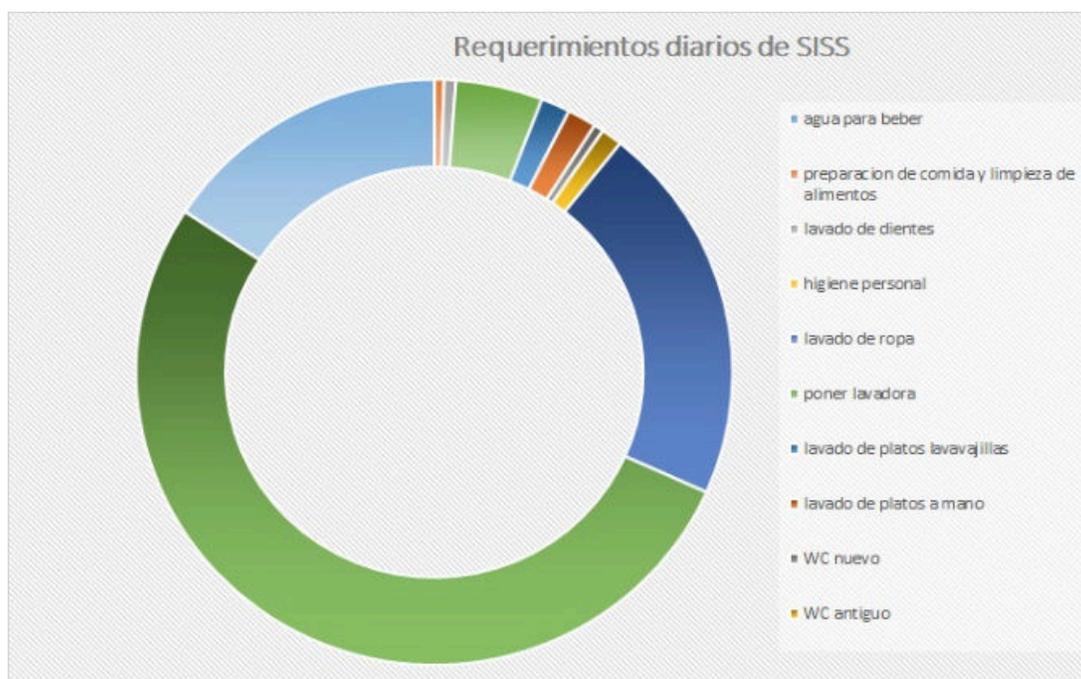


Ilustración 17:Requerimientos Diarios De SSIS. fuente: datos de SSIS, creación propia



Ilustración 18:Requerimientos Diarios De Ramírez Flores. fuente: datos de Ramírez F., creación propia

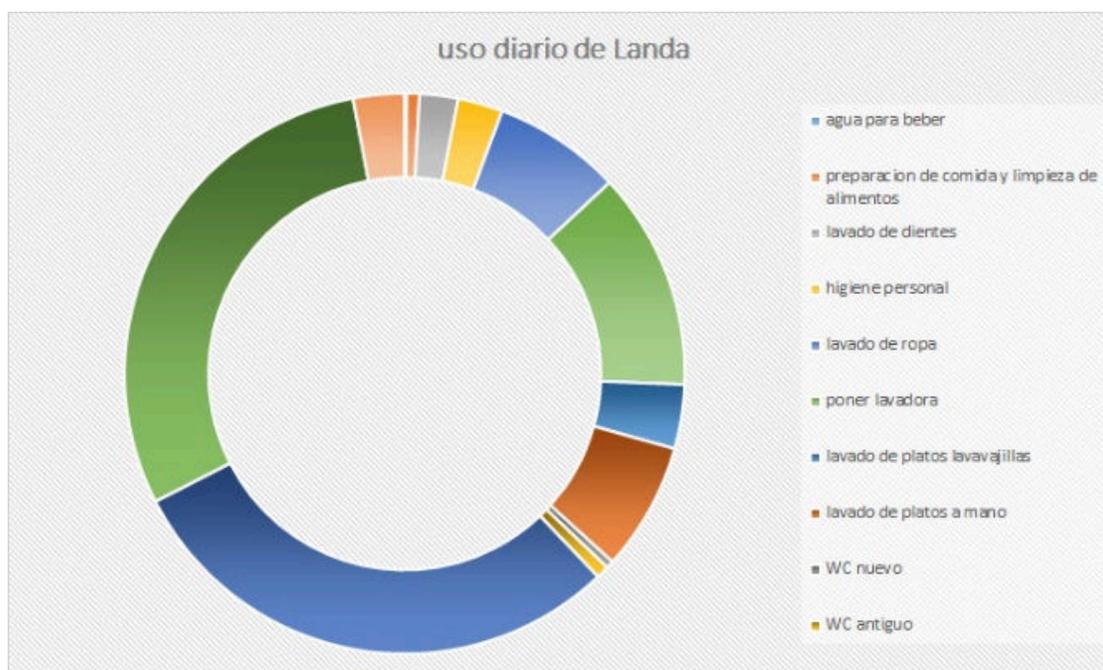


Ilustración 19: Requerimientos Diarios De Landa N.. fuente: datos de Landa N., creación propia

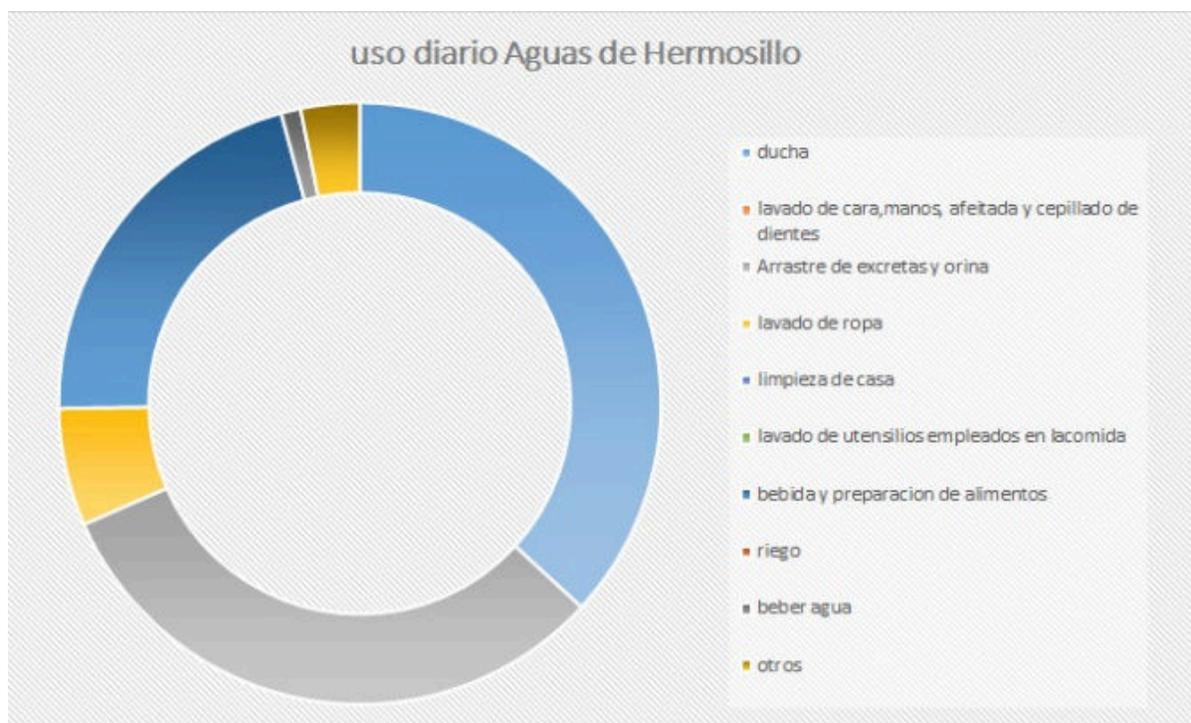


Ilustración 20: Requerimientos Diarios De Aguas De Hermosillo. fuente: gobierno de Hermosillo, creación propia

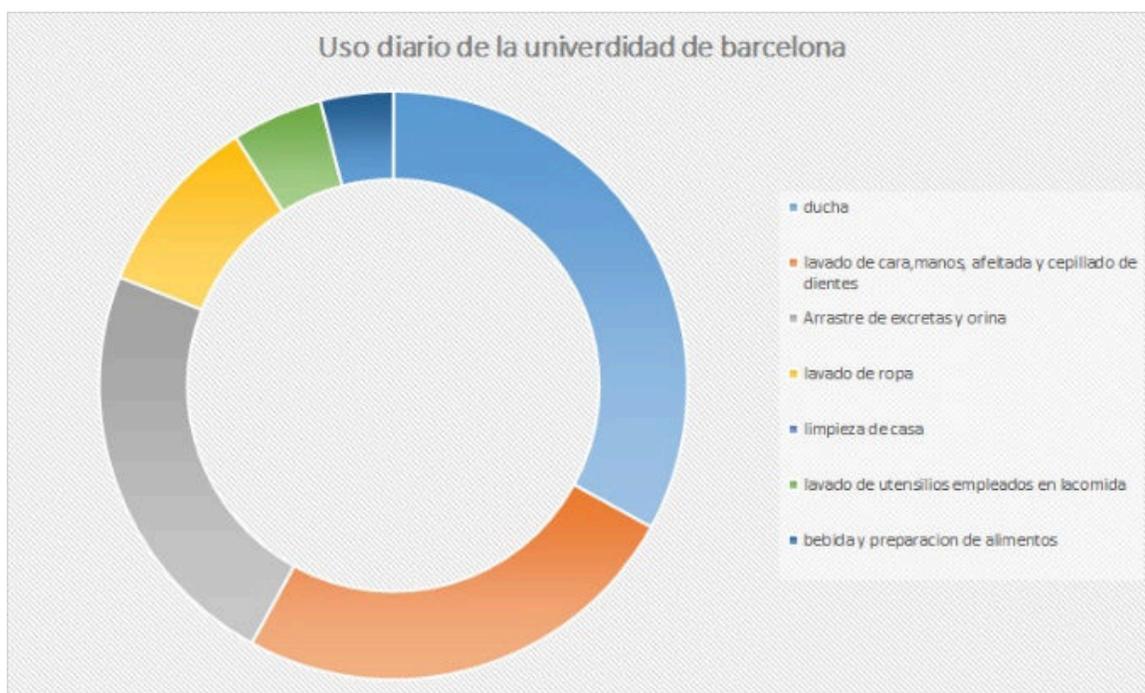


Ilustración 21: Requerimientos Diarios De La Universidad De Barcelona. fuente: datos de (Blanco S. et al., 2014),

fuentes propia

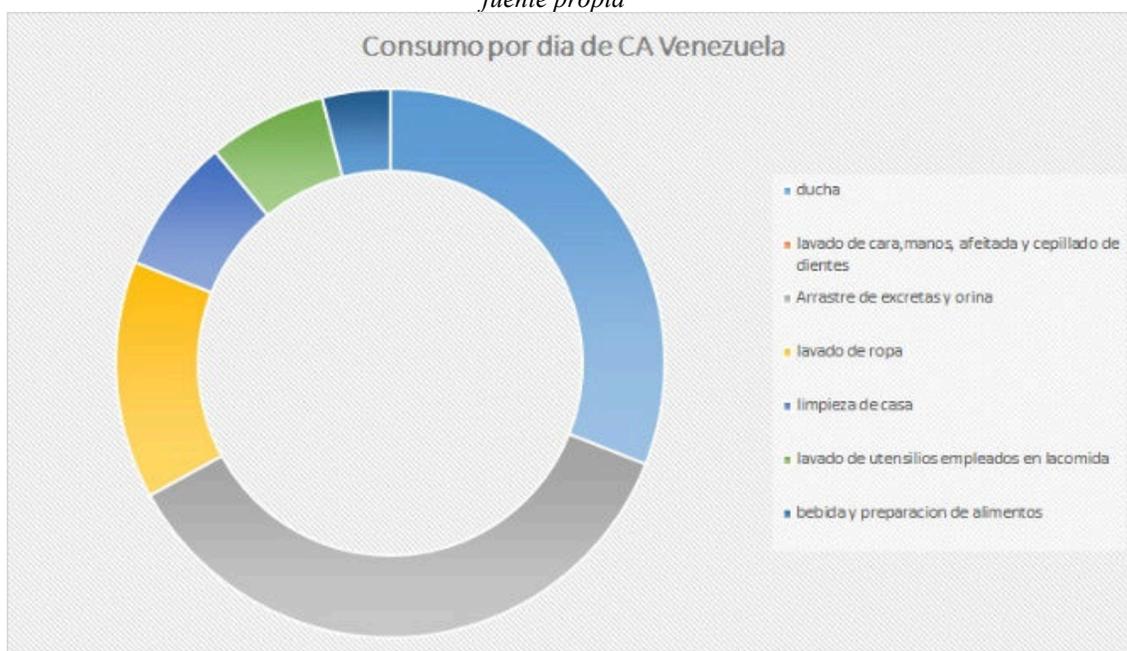


Ilustración 22: Requerimientos Diarios De CA De Venezuela. fuente: datos de (Blanco S. et al., 2014), creación propia

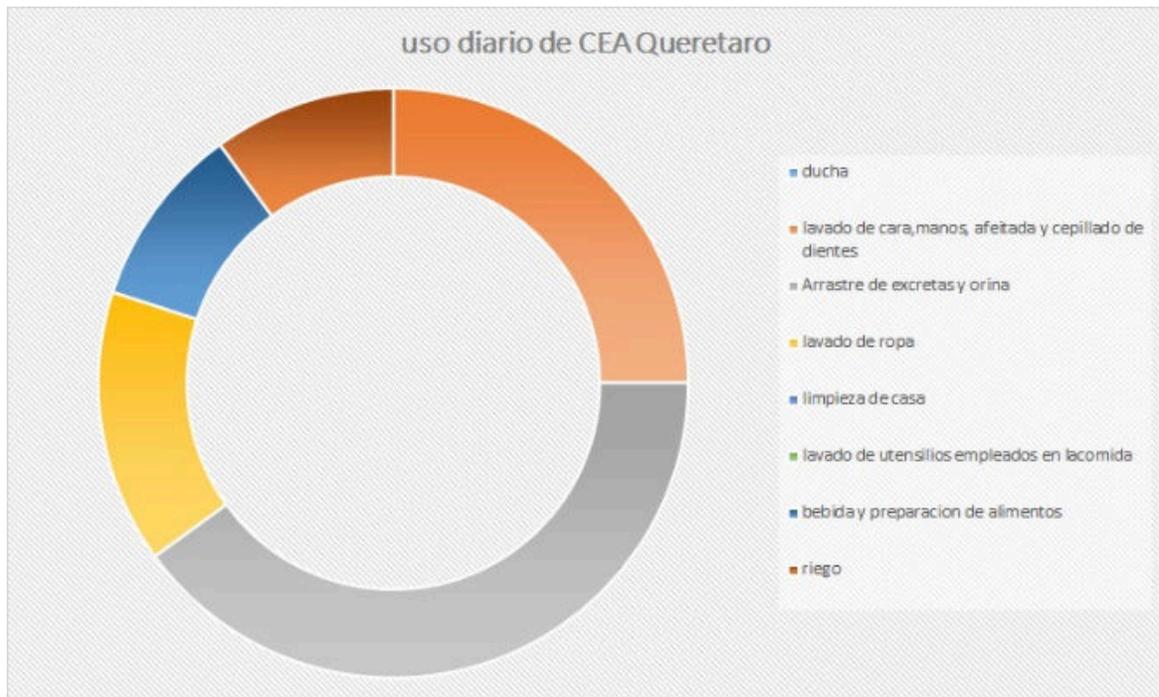


Ilustración 23: Requerimientos Diarios De CEA Querétaro. fuente: reglamento de uso eficiente del agua de Querétaro, creación propia

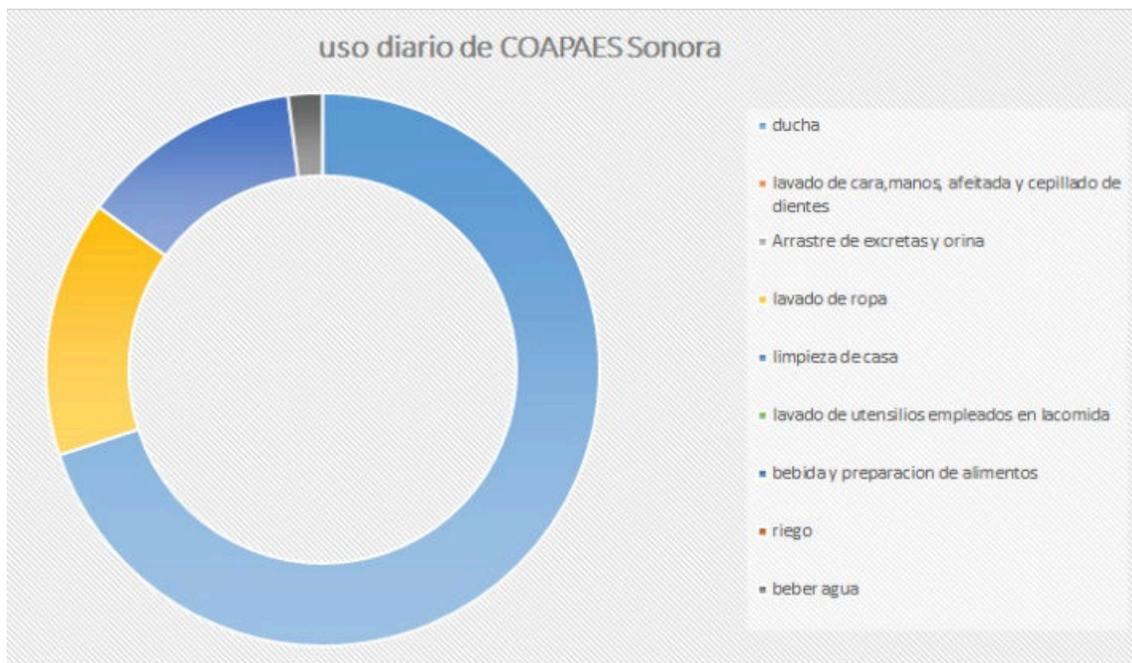
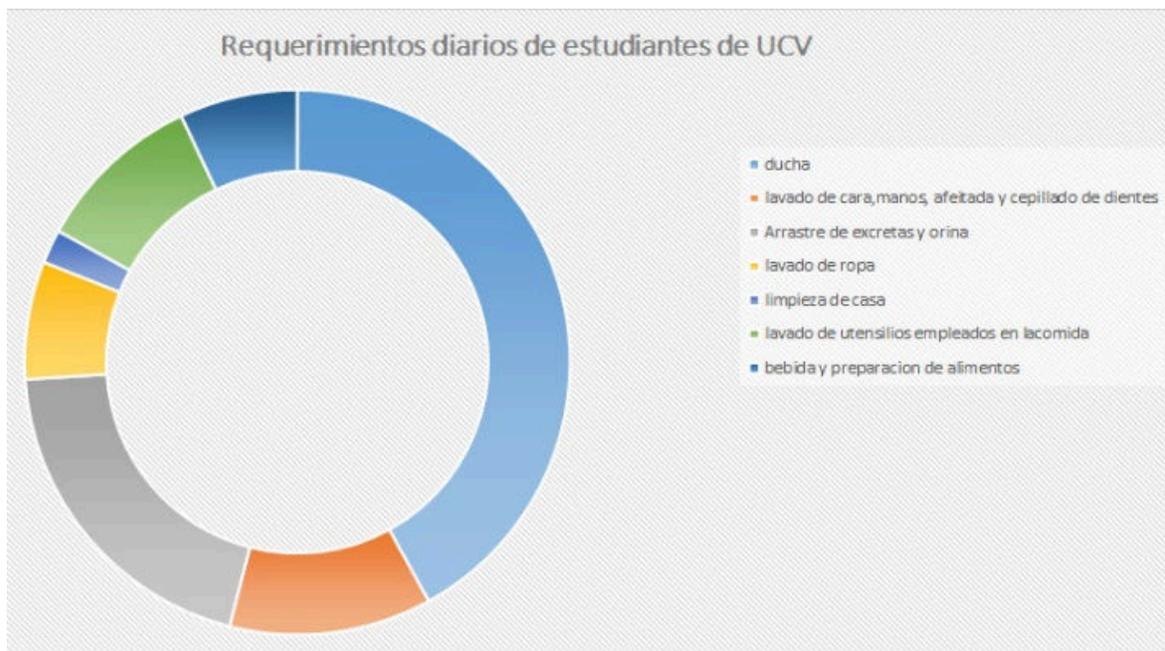


Ilustración 24: Requerimientos Diarios De CESP Tijuana. fuente: datos de la comisión estatal de servicios públicos de Tijuana, creación propia



*Ilustración 25:* Requerimiento Diario De COAPAES Sonora. fuente: datos de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Sonora, creación propia

Comparando los 10 graficas anteriores podemos ver patrones de consumo de agua diferentes, en que cada población dependiendo todos los factores que vimos con anterioridad afectan al consumo de agua diario.

### 3.3 Encuesta de Consumo real de agua en Nezahualcóyotl

En el capítulo 2 en usos del agua en la vivienda, se puede comprobar que cada región de población tiene actividades de consumo de agua diferente; por eso se propone un estudio estadístico del consumo de agua del municipio de Nezahualcóyotl, para saber cuál es el consumo real de agua de este sector de población y así poder determinar cuáles son sus principales necesidades y obtener el volumen aproximado de almacenamiento más cercano a la realidad.

Al obtener los resultados de los comportamientos de consumo de agua podremos determinar:

- El promedio, media y desviación estándar de consumo de agua
- Comportamiento de consumo en los distintos días de la semana

- Poder calcular el consumo de agua por manzanas, colonias o AGEBS.

Al saber los lugares donde se tiene más consumo de agua por alguna actividad en particular, se podrán implementar diferentes estrategias, ya sea la implementación de sistemas ahorradores, creación de programas sociales para la concientización de no desperdiciar agua en algún punto en particular y principalmente poder informar a la población de cuánta agua puede ahorrar y esto se vea reflejado en su próximo pago.

En primera instancia se tenía desarrollada una estrategia para el desarrollo de los resultados estadísticos de las encuestas a aplicar en el municipio de Nezahualcóyotl, para esto tomamos como analogo el Diseño de la muestra Censal de 2010, en la cual podemos consultar el diseño de las preguntas que realiza INEGI en sus censos, se escogió éste porque cuenta con un número mayor de preguntas que el intercensal de 20015.

Al consultar en INEGI cual es el protocolo que se utiliza para desarrollar el tipo de encuesta que se tiene que realizar en poblaciones, se encontró que existe en la ONU, un departamento de asuntos económicos y sociales, en su división de estadística, el método de Diseño de Muestras para Encuestas de Hogares: directrices prácticas, en el cual nos da los parámetros en los que nos debemos basar para nuestro cuestionario, y consultando también en el trabajo de julio Cesar Martínez Sánchez en su artículo una aproximación metodológica al uso de datos de encuestas en los hogares se hizo el diseño de la encuesta.

Asesorado por la Mtra. Eva Leticia Ortiz Avalos, se diseñó un cuestionario de 70 preguntas, y se aplicaron 4 pruebas piloto, la primera fue una encuesta por redes sociales con conocidos, la segunda con 15 personas que cursan la maestría en arquitectura, la tercera el piloto fue con una familia de la zona de estudio y la cuarta con 10 personas al azar de la misma zona. Al hacer las correcciones en cada piloto se llegó a 60 reactivos.

Se tomaron en cuenta diferentes encuestas sobre consumo de agua, la única digital que se encontró y consultó, fue la que realiza la superintendencia de servicios sanitarios en Chile (SiSS, 2017b) que su estrategia es dividirla en pequeñas secciones para que el usuario no se abruma al ver el número de reactivos; la encuesta se clasificó en 6 partes:

1. Información para clasificación y localización: en ella se pregunta género, edad, tipo de vivienda y colonia donde vive, esto para poder clasificar la información posteriormente, cuenta con 4 reactivos.
2. Actividades en cocina: aquí se preguntó de las actividades de consumo de agua y lavado de trastes, frecuencias en el día y semana. Esta sección cuenta con 7 reactivos.
3. Aseo en el hogar: las preguntas se concentran en actividades de limpieza en los diferentes cuartos de la vivienda, su frecuencia a la semana y la cantidad de agua utilizada en ellos, cuenta con 9 reactivos.
4. Aseo personal: se le pregunta al encuestado la frecuencia con que realiza las actividades de bañarse, orinar, defecar, lavado de manos, cara, dientes, uso de bidet y su frecuencia en la semana. Esta sección cuenta con 13 reactivos.
5. Uso fuera de la vivienda: aquí se enumeran las actividades como lavado de patio, riego de plantas, árboles y jardines, actividades con algún tipo de mascota y aseo de autos. Esta sección tiene 15 reactivos.
6. Información extra: esta sección sirve para determinar los problemas que tiene con el servicio de agua en su vivienda, el conocimiento que tiene el encuestado sobre los sistemas de captación pluvial y si estaría dispuesto a instalar uno en su casa.

Para poder calcular la cantidad de agua que se utiliza en cada actividad se utilizó la unidad de medida más práctica para ello, por ejemplo para las actividades de consumo se le pregunta al encuestado cuántos litros de agua bebe al día, mientras que las actividades de higiene como el uso de regadera se le pregunta el tiempo y se calcula con los promedios de gasto que se tienen con regaderas comunes con tuberías de 1/4 “ de diámetro y en actividades de aseo en el hogar o fuera se utiliza la unidad de medida de cubetas que en promedio se utilizan las cubetas de 12 o 15 litros. Esto para facilitar al encuestado a poder calcular su gasto de la manera más fácil posible.

La consulta de todo el cuestionario se puede realizar en el apartado del anexo de este trabajo o en el enlace <https://goo.gl/forms/Xj41F80uLRuFa8ZW2>

Para su aplicación se descartó el uso de impresión en papel por la extensión del cuestionario y evitar el uso de más de 1000 hojas de papel, por eso se optó por el uso de una plataforma digital, INEGI nos dice que en 2017 ocho de cada diez personas cuentan con un teléfono celular (INEGI, SCT, & IFT, 2018) el cual nos puede servir de plataforma para la aplicación del cuestionario.

En el caso de plataformas digitales existe un sin número de páginas en las que se puede utilizar este servicio, habiendo plataformas muy profesionales como Survio o Survey Monkey, pero limitadas en el uso gratuito y con la dificultad de que la plataforma se encuentra en inglés y para su aplicación a los usuarios podría ser una dificultad en el entendimiento de las preguntas. Se optó por usar la plataforma Google formularios, ya que, al ser multiplataforma, nos facilita la aplicación de la encuesta tanto en celulares Android o IOS, y en los casos en los cuales no contaran con celular, se utilizaba una Tablet para poder realizar la encuesta.

En su aplicación con los usuarios se proporcionaba un link directo al cuestionario, también se daba la opción de escanear un código QR que los llevaba a la liga como se ve en la imagen 26, o en su página de Facebook *captacionpluvialneza*, esto para facilitar el acceso del usuario.



*Ilustración 26:* Código QR Para Acceso Al Cuestionario De Gasto Real De Agua. fuente: creación propia

Para seleccionar el método de encuesta nos pide que la muestra sea de entre 4 a 6% del total de la población a trabajar (Martínez Sánchez, 2017), donde la población de Nezahualcóyotl en el

censo de 2015 es de 1,039,867, (INEGI, 2015a) la aplicación del cuestionario tuvo que haber sido de 51,994 personas aproximadamente, al no poder realizarlo por medio de una sola persona y no contar con los recursos necesarios para hacerlo, los resultados presentados en este trabajo solo son representativos, y se trata de encontrar un patrón de comportamiento de las 182 personas encuestadas.

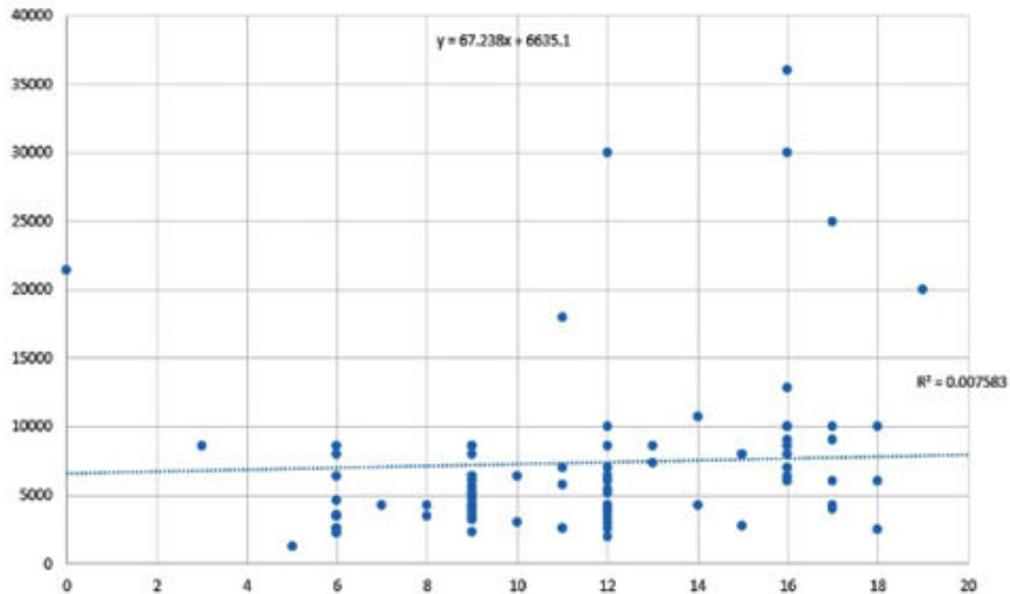
Para determinar las zonas de muestra, primero analizó la hipótesis nula, la cual determina que el gasto de agua va relacionado con el nivel económico de cada persona; Estas afirmaciones las viene utilizando la norma NMX-AA-164-SCFI-2013 al asegurar que entre mejor sea el nivel socioeconómico en la vivienda del usuario debe tener un gasto mayor, pero con las investigaciones que he consultado, han demostrado que no existe una relación entre esos dos factores y por esto la hipótesis de trabajo es comprobar que el consumo de agua no va relacionado al nivel económico y tiene mayor relación con las costumbres y educación de cada zona.

Para comprobar que no existe una relación en el nivel educativo y su ingreso se hizo una correlación entre dos las muestras obtenidas del inventario nacional de viviendas de 2015, de la zona de Nezahualcóyotl

- Nivel educativo: está se toma con valores cualitativos, y la clasificación va desde ningún tipo de estudio, kínder, primaria, secundaria, preparatoria, bachillerato tecnológico, estudios técnicos con primaria, estudios técnicos con secundaria, estudios técnicos con preparatoria, normal con primaria o secundaria, normal de licenciatura, licenciatura, especialidad, maestría y doctorado. En este orden se determina su nivel y se les da un valor de 0 a 12 dependiendo su rango para poder volverlo una variable medible o semicuantitativa.
- Ingreso Económico: en el valor económico lo podemos relacionar a una cifra en pesos que podemos relacionar directamente como una variable cuantitativa. Pero también por el código de

ID persona lo podemos ligar a una profesión o actividad económica y ver su relación con el consumo de agua.

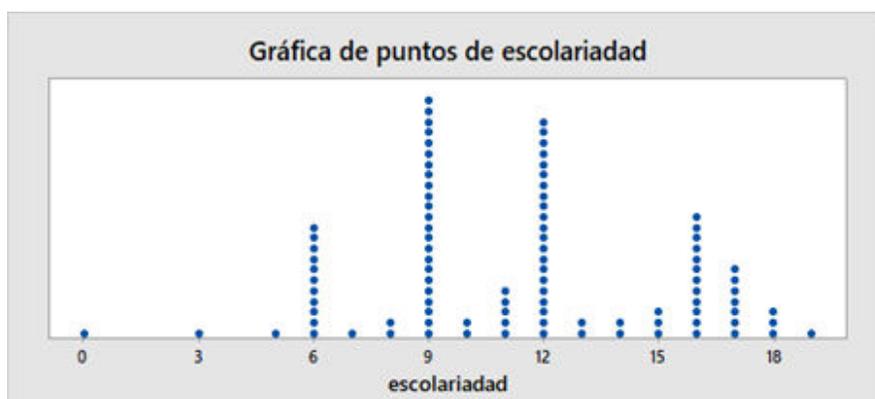
En la gráfica 8 se tomaron 100 muestras al azar en los que el eje X son los niveles educativos y en eje Y es el ingreso en pesos y se tuvo una correlación de 0.08.



Gráfica 8: Correlación Nivel Educativo / Ingreso Económico. fuente: creación propia

Como se puede observar no existe una relación para comprobar que entre mejor educación tenga la persona tiene un mejor nivel educativo.

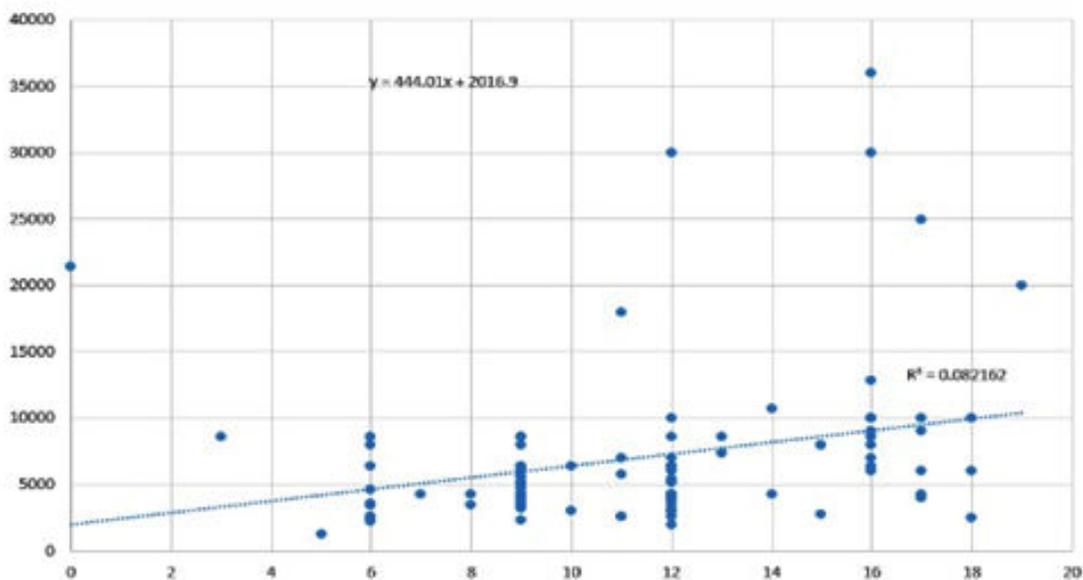
Para que estos resultados no caigan en el azar, debemos de limitar los datos, principalmente hacer una revisión tanto en los datos atípicos que en este caso fueron errores por parte del encuestador y también hacer varias pruebas con diferentes muestreos ya que esta muestra arroja que existe una tendencia a que existe más personas con niveles de educación intermedia y alta como lo muestra la gráfica 9:



Grafica 9:Densidad De Escolaridad En Muestra. fuente: creación propia

Para mejorar las posibilidades de obtener datos más certeros se realizarán dos muestreos de las variables económicas y educativas, y utilizando los resultados de la encuesta se podrá determinar un mejor resultado.

Posteriormente se trató de mejorar el modelo quitando los datos atípicos, y nos dio como resultado:



Grafica 10:Correlación Corregida Con Datos Atípicos. fuente: creación propia

En el segundo ejercicio se mejoró la correlación entre los datos, obteniendo un 0.28 entre los datos.

En los resultados podemos ver que la relación de ingreso económico y nivel educativo la correlación es muy baja y con esto podemos decir que no se puede generalizar que entre mayor nivel educativo existe una relación directamente proporcional a su nivel económico y con esto a que tendrá una mejor vivienda y mayor gasto de agua.

Con esto queremos demostrar que es erróneo dar tablas preestablecidas para el gasto de agua en viviendas y se tiene que hacer un análisis por zonas y el gasto se ve reflejado en las costumbres de esta misma y la educación que tengan sobre el ahorro de agua, más adelante se muestran en los resultados que una persona que vive en el mismo tipo de vivienda y colonia puede consumir 70 litros al día que otra que consumo 2,500 litros al día.

### **Población y muestra**

Para el diseño de la muestra se obtuvo la información de cómo se conforma la distribución del municipio de Nezahualcóyotl de la encuesta intercensal 2015 Panorama sociodemográfico de México.

El municipio de Nezahualcóyotl cuenta con una extensión de 63.74 km<sup>2</sup> y esta se distribuye en:

Tabla 18:

#### *Porcentajes de uso de suelo en Nezahualcóyotl*

No.	DISTRIBUCIÓN	%
1	Urbano	83.63
2	Área libre	15
3	Industria	0.37

Fuente:(INEGI, 2015a)

Y el área urbana se subdivide en:

Tabla 19:

*Porcentajes de tipos de vivienda*

No.	DISTRIBUCIÓN	%
1	Vivienda popular	46
2	Vivienda media	41
3	Vivienda residencial	13

Fuente: (INEGI, 2015b)

Actualmente se utilizan los datos del panorama intercensal 2015, los cuales nos dan una población de 1,039,867 habitantes y estos distribuidos en 280,391 viviendas, con una densidad de 16,436.2 habitantes por kilómetro cuadrado.

Otros datos que debemos tener en cuenta son:

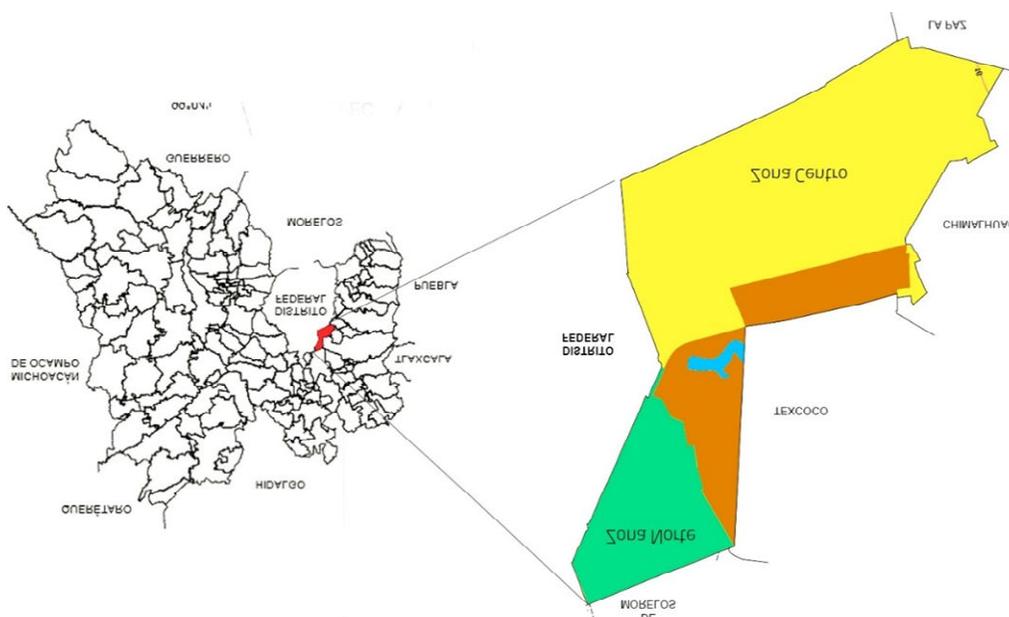
- La población es de 47.8% hombres y 52.2% mujeres.
- La edad promedio es de 32 años
- Las viviendas tienen un 82.4% de acceso al agua potable
- El 78.7% de las personas cuentan con celular (por cuestiones de la encuesta a aplicar)
- 2.9% sin escolaridad, 48.5% básica, 28.6% media superior, 19.8% superior.
- 52.9% población económicamente activa, 46.8% no activa, 34.2% estudiantes y 44% al hogar.

Para la selección del subconjunto del universo de estudio de la muestra, primero se definió la población objetivo, que en este caso es el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México, el cual cuenta con una población censada en el 2015 de 1,039,867 y para obtener la fracción de muestreo se utilizará la metodología de Cochran, donde la muestra seleccionada es muy grande y el factor se puede reducir a menos de un 5% o ignorar, ya que en censos de población y vivienda no existe corrección de población finita y el tamaño de muestra es un universo representativo, en esta metodología se concentra en la cobertura geográfica y la disponibilidad de recursos de la

institución que realiza la encuesta, aquí la intención es incorporar todos datos el elemento interesado, que en este caso es el consumo actual de agua.

La metodología que se utilizó es de forma determinística de juicio, al seleccionar dos áreas marcadas por niveles económicos y educativos que son las zonas norte y centro que están delimitadas geográficamente por la clasificación de INEGI de áreas rurales; la aplicación de la encuesta se realizó de forma probabilística aleatoria simple, ya que es el método de muestreo probabilístico más recomendado por ((DAES) & Departamento de Asuntos Económicos y Sociales División de Estadística, 2009) y nos ayudará a realizar observaciones independientes idénticamente distribuidas y ayuda a obtener datos algún tipo de tendencia.

La aplicación de la encuesta se hará en las dos zonas en que se divide el municipio de Nezahualcóyotl, la zona norte que se encuentra al oriente de la alcaldía de Gustavo a Madero y al sur del municipio de Ecatepec y la zona centro que se encuentra al sur del municipio de Texcoco, al poniente del municipio de Chimalhuacán y al norte de la alcaldía de Iztacalco.



*Ilustración 27:* Ubicación De Las Zonas Norte Y Centro De Nezahualcóyotl. fuente: creación propia

### 3.4 Resultados de Encuesta

Es importante señalar que para garantizar que los datos fueran lo más claro posibles, al inicio de la encuesta tenía una sección de instrucciones de cómo se debía responder el cuestionario y el encuestador respondía cualquier duda al encuestado al momento de realizar la encuesta y el uso de plataformas digitales se hizo para reducir los errores humanos de captura de datos.

Aun así, al ser una estadística poblacional el encuestado tuvo errores de captura, por eso cada dato se revisó para evitar algún problema en la base de datos. Principalmente el problema que existió fue que las personas respondían con caracteres de letra en vez de número (ej. Al momento de escribir 9, utilizó la palabra nueve y/o terminaban con un algún signo de puntuación) y solamente se realizó el cambio, sin alterar el resultado.

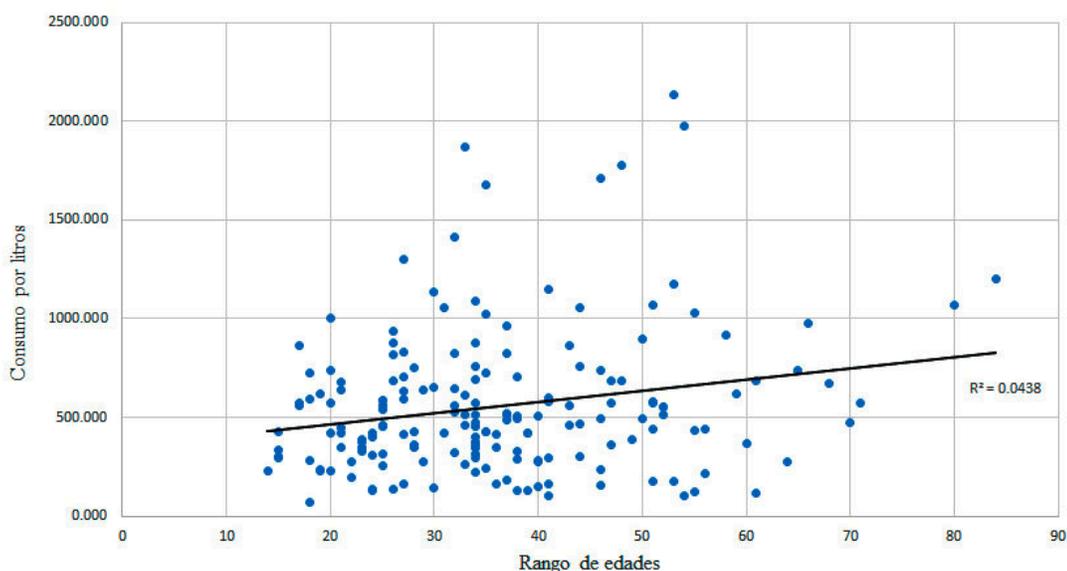
Los resultados estadísticos que nos proporciona Google formulario son entregados en la hoja de cálculo de Google con la posibilidad de ser exportados a formato xlsx para poder ser utilizados en Microsoft Excel 2019, el tratamiento grafico se realizó en esta plataforma y a continuación se presentan los resultados graficados más relevantes. (para consultar todos los resultados se puede entrar a:

[https://drive.google.com/open?id=1r\\_jXyG5DBRZ6SaMk0Tjbyrj-Jdz2lkyN](https://drive.google.com/open?id=1r_jXyG5DBRZ6SaMk0Tjbyrj-Jdz2lkyN)

En las gráficas se hace una correlación de datos en valor de “X” que es la constante de edad y en el eje “Y” la de consumo de agua, en las gráficas se presentan los valores con diferentes colores para hacer la diferenciación entre aspectos que considero importantes para entender el consumo del agua en la vivienda.

En la primera se Obtienen valores de consumo de agua desde los 67 litros a los 2132 litros al día. Aunque se obtiene un valor  $R=0.2092$  lo que demuestra que no existe una correlación entre el

consumo y la edad podemos ver que en la línea de tendencia existe un aumento de consumo entre más edad.



*Grafica 11: Consumo De Agua Por Edades. Fuente: creación propia*

Los gastos promedios obtenidos hasta ahora es de 557.12 litros por día, por un tratamiento estadístico no podemos utilizar la mediana, por la existencia de muchos datos dispersos como lo demuestra el resultado de la desviación estándar el cual es de 361.98 y los datos existentes de la moda son nulos a causa de que el tipo de encuesta realizada, con respuestas abiertas, para obtener datos sin ningún tipo de tendencia.

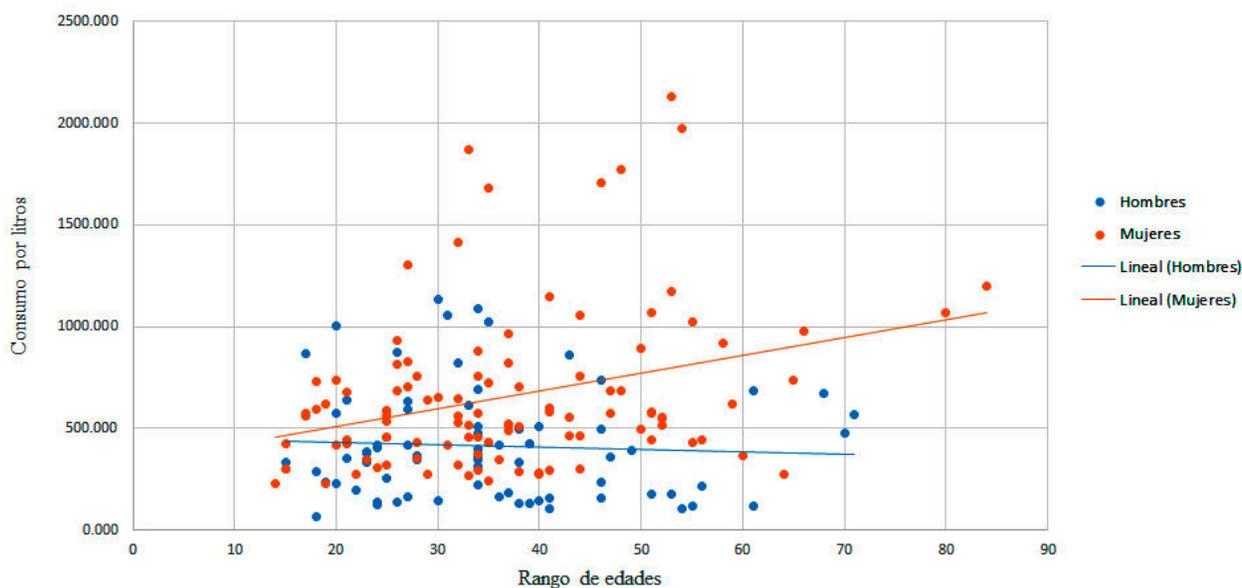
Tabla 20:

*Gasto promedio, mediana, desviación estándar y varianza de agua en encuesta en litros*

Cálculo	Gasto diario	Gasto semanal
Promedio	557.12	3,899.86
Mediana	474.79	3,323.50
Desviación estándar	361.98	2,533.85
varianza	131,028.57	6,420,399.98

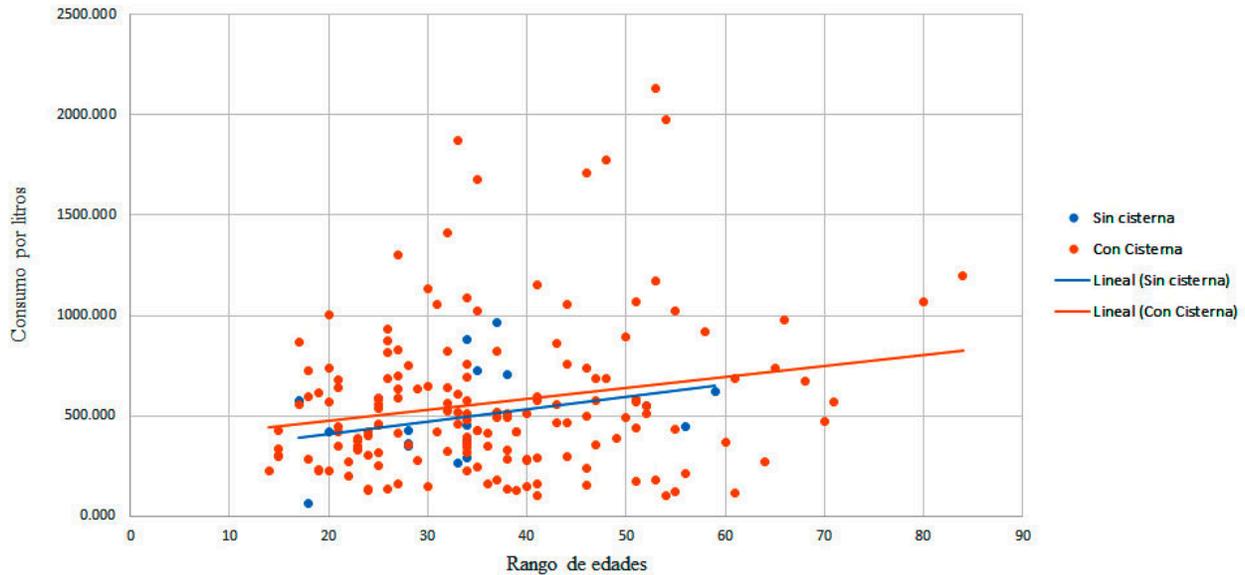
Fuente: creación propia

Aunque en los valores no existan una correlación, podemos analizar los datos en diferentes grupos para determinar que grupos y actividades se emplea el agua y su frecuencia, en la gráfica 12, se hace la comparación de las líneas de tendencia de consumo de hombres y mujeres, donde el promedio de consumo de los hombres es de 415.481 litros por día y el de las mujeres es de 656.404 litros por día.



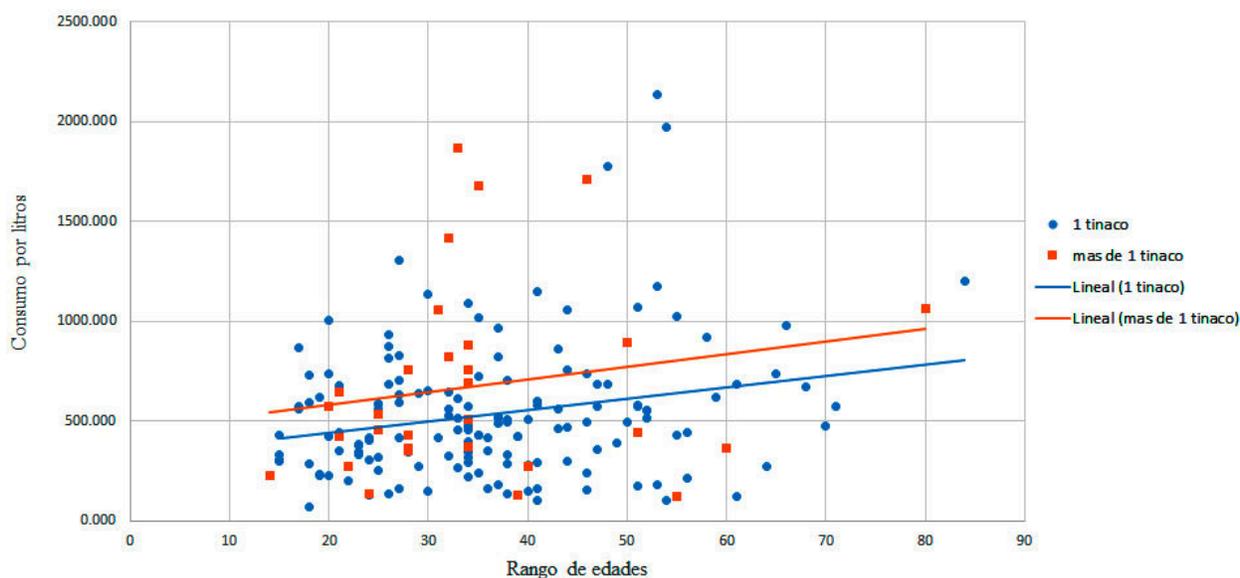
*Gráfica 12:* Consumo De Agua De Hombres Y Mujeres. fuente: creación propia

En la gráfica 13 se hace la comparación de consumos en grupos de personas que cuentan con cisterna en su vivienda y el otro grupo de las que no, donde el 94.8% de las viviendas cuentan con algún tipo de cisterna en su vivienda y solo el 5.2% no lo tienen, en este punto se encontraron seis viviendas que no cuentan con cisterna, se puede observar una pequeña tendencia al aumento de consumo al no tener cisterna, aunque no puede ser algún factor.



*Grafica 13:* Viviendas Que Cuentan Con Cisterna Y No Cuentan Con Cisterna. fuente: creación propia

En la gráfica 14 se compara el consumo de agua en viviendas que cuentan con un tinaco y las viviendas que cuentan con 2 o más tinacos, el 83.5% de las viviendas tienen un tinaco, 23 viviendas cuentan con dos tinacos, 5 viviendas cuentan con 2.74% y 4 viviendas tienen él 2.19%. cabe mencionar que en ningún caso salió un resultado donde la vivienda no contara con tinacos y el porcentaje de vivienda unifamiliar en concepto de “casa” es del 77.1% y vivienda plurifamiliar o “departamento” es de 22.9%: el aumento en el consumo de agua en viviendas con más de un tinaco es mayor que en el caso de cisternas.



Gráfica 14: Viviendas Que Cuentan Con Un Tinaco Y Viviendas Con Más De Un Tinaco. fuente: creación propia

Tabla 21:

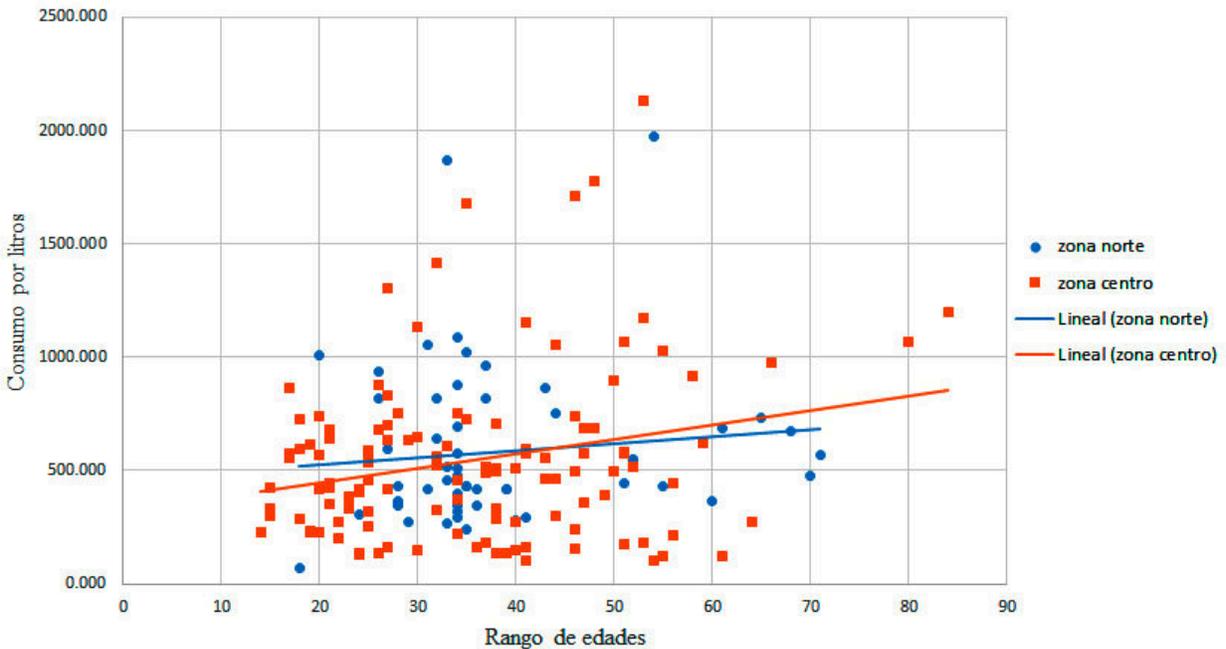
*Cantidades y porcentajes de tinacos en vivienda*

concepto	Número de viviendas	Porcentaje
Un tinaco	152	83.5
Dos tinacos	23	12.6
Tres tinacos	5	2.71
Cuatro tinacos	4	2.19

Fuente: creación propia

Una de las causas por las que se realizó esta encuesta, es que existen estudios (Blanco, Lara, Williams, Velezmoro, & Aguilar, 2014), que comprueba que el consumo de agua es diferente por la región de donde proviene la persona; por esta causa se usaron dos conglomerados de poblaciones de muestra del municipio de Nezahualcóyotl, con el fin de comprobar que existe un consumo

diferente en las dos zonas del municipio, donde la Zona norte consume promedio 581.81 litros por día y la Zona centro consumo 544.97 litros de agua. En la gráfica 15, se puede notar un consumo estandarizado en su población y con una diferencia mayor de varianza en la zona centro.



Gráfica 15: Consumo De Agua En Zona Norte Y Zona Centro De Nezahualcóyotl. fuente: creación propia

Posteriormente se separaron los tipos de consumo por actividad para poder analizarlos, en la encuesta se encontró que algunas actividades no se pueden clasificar en gasto de agua diario, ya que las actividades como, el aseo en la vivienda, regar jardín, plantas o árboles, lavado de auto y lavar la ropa no son actividades diarias. Entonces se obtuvieron los valores de consumo semanales y al final se dividieron entre los siete días de la semana, para las actividades que se realizan pocas veces al mes se dividía su actividad entre los 30 días promedio por mes.

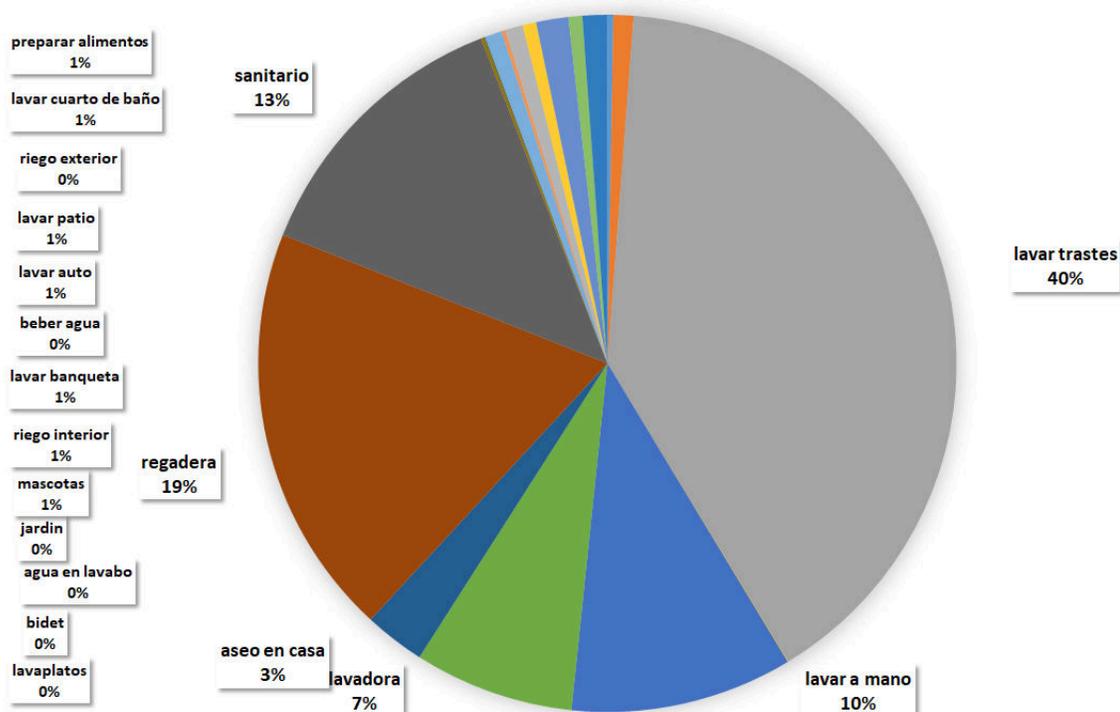
Así se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 22:

*Consumo de agua diaria promedio por actividad de gasto de agua en viviendas*

	beber agua	preparar alimentos	lavar trastes	lavaplatos	lavar a mano	lavadora	aseo en casa	regadera	sanitario
Nezahualc6yotl	10.56	36.33	1564.95	1.15	401.14	288.71	109.64	746.80	510.65
Zona norte	11.900	48.20	1811.93	1.00	484.47	341.00	89.48	666.30	427.56
Zona centro	9.898	30.49	1443.49	1.23	360.16	262.99	119.56	786.39	551.51
	bidet	riego exterior	riego interior	jardin	mascotas	lavar banqueta	lavar patio	lavar auto	lavar cuarto de ba6o
Nezahualc6yotl	0.69	1.82	31.20	7.11	31.43	24.82	58.04	25.01	44.66
Zona norte	0.93	4.88	34.61	16.14	37.92	8.02	39.33	13.92	30.71
Zona centro	0.57	0.32	29.52	2.66	28.24	33.09	67.24	30.46	51.52

Fuente: creacion propia



Grafica 16: Porcentajes De Consumo De Agua En Vivienda. fuente: creaci6n propia

Cabe destacar que el primer puesto en porcentajes de gasto de agua es el lavado de trastes, y esto se debe a que en las encuestas varias personas realizan la actividad de los 30 min a los 60 min y sin cerrar la llave del grifo, esto sumado a que el 85.3% de las viviendas no cuentan con ningun sistema de ahorro o reducci6n del flujo del agua.

En porcentajes obtenemos los siguientes de la grafica 16.

Al desglosar los consumos por actividad en la vivienda y obteniendo los porcentajes individuales, las cinco actividades con mayor consumo son:

Tabla 23:

*Porcentajes de las principales actividades de consumo de agua en vivienda*

concepto	Porcentajes por actividad	Consumo semana de agua promedio en viviendas
Lavado de trastes	40	1564.95
Regadera	19	746.8
Sanitario	13	510.65
Lavar la ropa a mano	10	401.14
Lavar con maquina	7	288.71

Fuente: creación propia

Estas 5 actividades representan el 90% del consumo total en la vivienda

Para entender mejor cómo se comportan estos consumos por actividad, a continuación, se desglosarán los resultados de los principales consumos: se colocaron los grupos más representativos y en ningún caso se obtuvieron datos de porcentajes cerrados, ya que al ser una encuesta de preguntas abierta, no se puede colocar todos los resultados.

Tabla 24:

*Actividad de lavado de trastes, se enlista de mayor a menor cantidad de personas.*

Tiempo en realizar actividad	Cantidad de personas	Porcentaje que representa
15 minutos	24	20
10 minutos	19	15.8
30 minutos	16	13.3
20 minutos	13	10.8
60 minutos	13	10.8

Fuente: creación propia

El tiempo se centra entre los 10 a 30 minutos al realizar la actividad, esto representa el gasto más alto, por minuto se llega a consumir entre los 8 a 10.4 litros dependiendo que tanto abran la llave del grifo

Tabla 25:

*Actividad de usar la regadera, se enlista de mayor a menor cantidad de personas.*

Tiempo en realizar actividad	Cantidad de personas	Porcentaje que representa
10 minutos	55	35.9
15 minutos	32	20.9
5 minutos	19	12.4
20 minutos	19	12.4
30 minutos	9	5.9

Fuente: creación propia

El rango se desarrolla principalmente entre los 5 a 15 minutos de baño, aunque cabe destacar que existieron resultados de 4 personas están en el rango de los 35 a 60 minutos y 5 personas en el rango de 1 a 3 minutos de baño.

Tabla 26:

*Actividad de uso del sanitario*

Veces al día	actividad	porcentaje
1 o 2	Veces al día orina	66.8
3 a 5	Veces al día defeca	76.1

Fuente: creación propia

Aunque los datos pueden notarse normales en la frecuencia de uso del baño, destaca que en las encuestas nos dice que el 84.3% de las viviendas cuentan con un sanitario viejo o que no cumple las normas de consumo de agua, y con esto se tiene un consumo mayor del agua, que al realizar un cambio de mueble sanitario o fomentar la instalación de mingitorios secos, se podría reducir el consumo en más del 40% en esta actividad.

Tabla 27:

*Actividad de lavar la ropa a mano*

Cantidad de cubetas	Cantidad de personas	Porcentaje que representa
4	16	22.2
3	14	19.4
2	10	13.9
5	9	12.5
10	8	11.1

Fuente: creación propia

El rango se encuentra en el uso de 2 a 3 cubetas de agua, aquí se contempla las cubetas comerciales que son 12 a 15 litros de capacidad.

Tabla 28:

*Actividad de lavar la ropa usando lavadora*

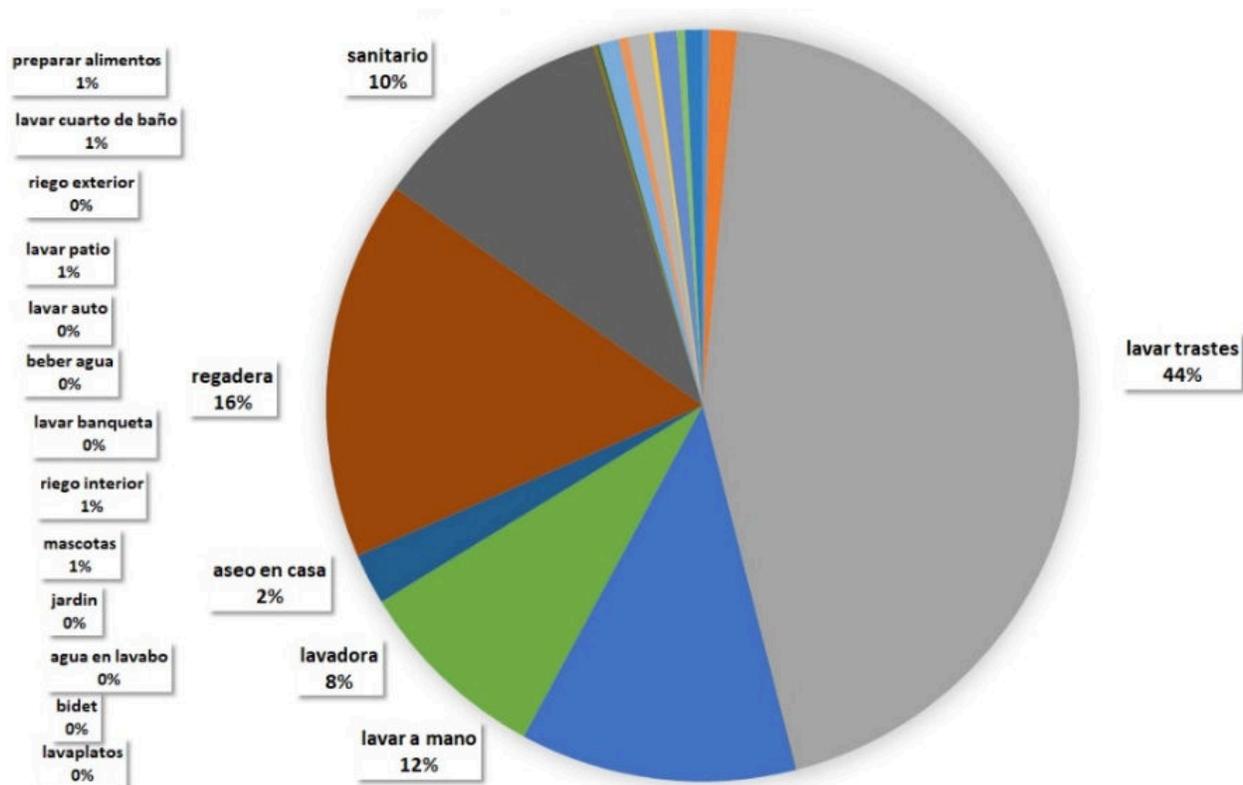
Capacidad de lavadora en kilos	Cantidad de personas	Porcentaje que representa
15	45	33.6
10	32	23.9
13	21	15.7
20	16	11.9

Fuente: creación propia

Analizando los resultados, la causa de que exista un mayor consumo de agua en la actividad de lavar la ropa a mano que en lavadora, se da porque, aunque el 73.6% que utiliza lavadora y el 39.6% lava a mano, el 34% del total encuestado realiza las dos actividades y por eso aumenta su consumo.

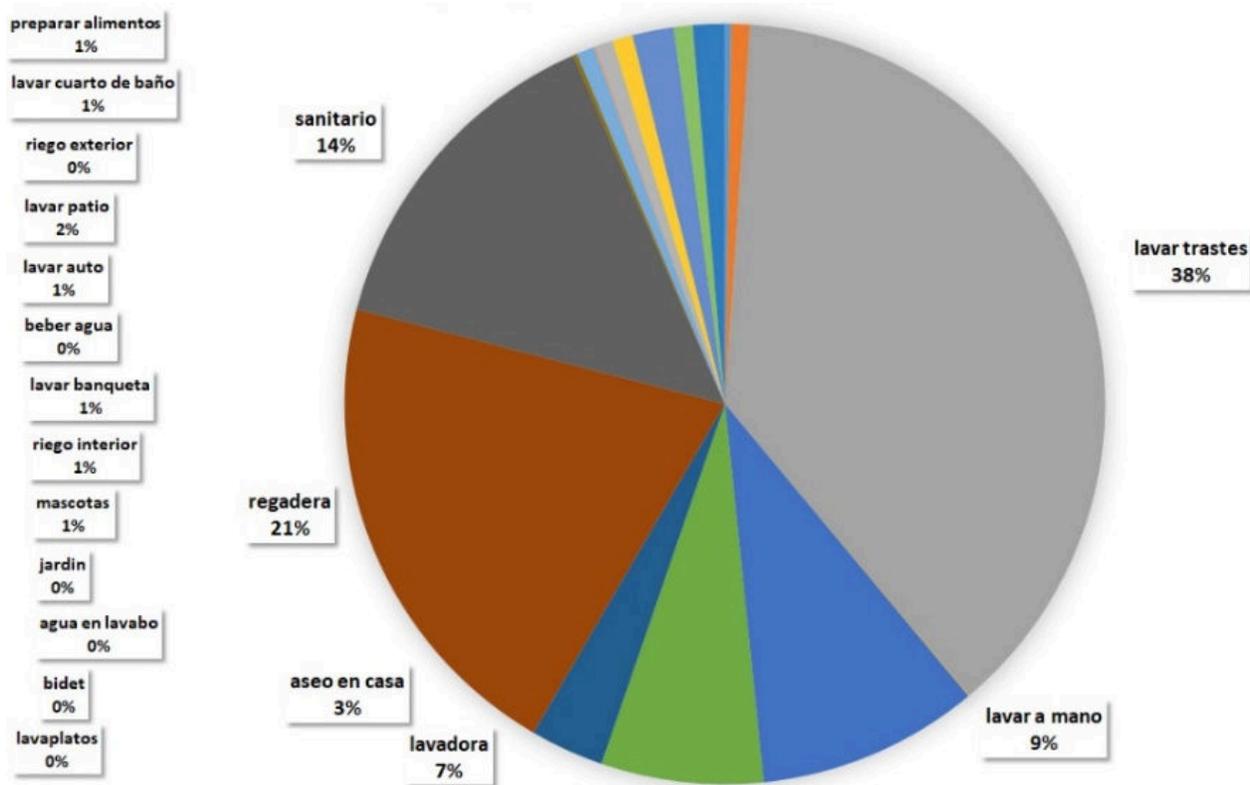
Otro dato a destacar es que el 64% de las lavadoras que se utilizan son rústicas o que no cumplen con las normas de consumo de agua.

Realizando una comparativa de las actividades por conglomerados de zonas, en la zona norte se puede observar que existe una disminución en las actividades de lavado de trastes y lavar a mano la ropa y aumentándose en el uso de sanitario y regadera.



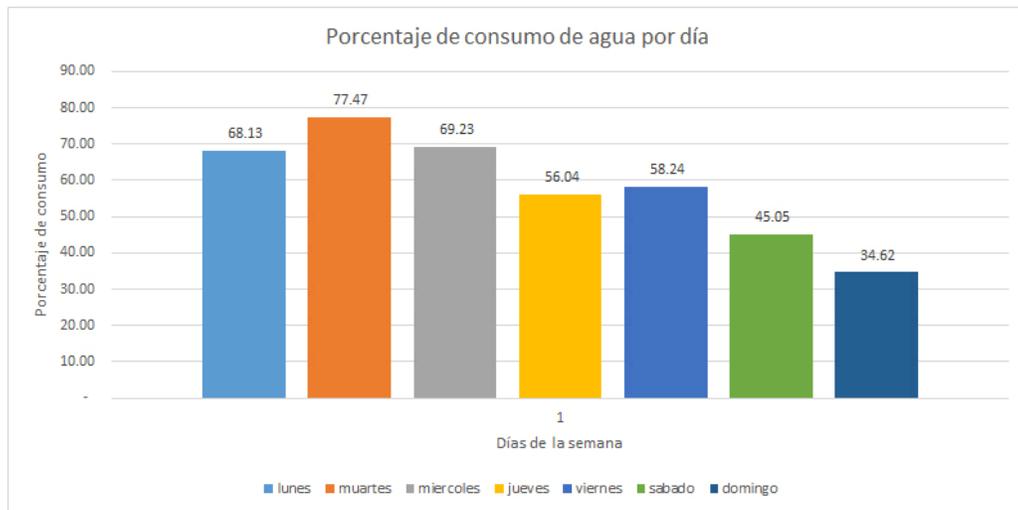
Grafica 17: Porcentaje De Consumo De Agua En Viviendas De La Zona Norte. fuente: creación propia

En caso contrario en la zona centro aumenta la actividad de lavar trastes y lavar ropa a mano, demostrando que en diferentes núcleos de población existes diferentes costumbres en el uso del agua.



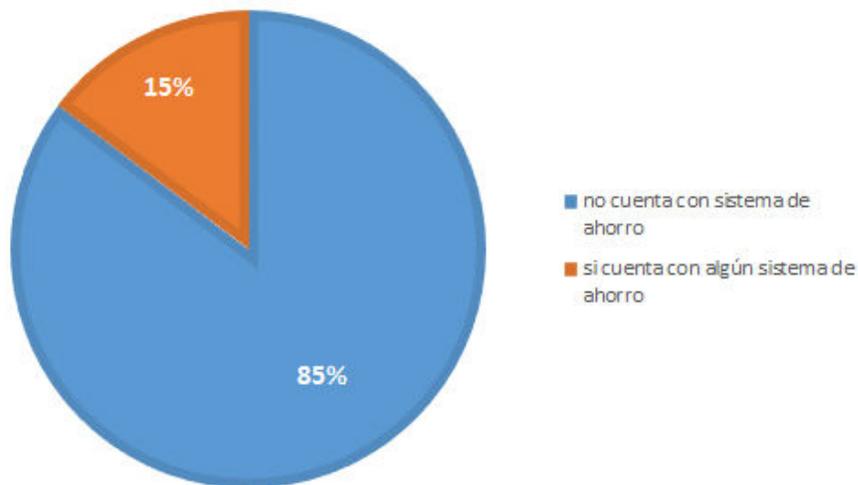
*Grafica 18:* Porcentaje De Consumo De Agua En Viviendas De La Zona Centro. fuente: creación propia

Podemos observar en la gráfica 19 la frecuencia con que se realizan las actividades por cada día de la semana, se tiene una tendencia de consumo en los primeros días de la semana y va disminuyendo hasta llegar al domingo, esto nos ayuda a determinar qué días se requiere más agua o en caso estratégico racionar el agua y evitar esos días en el tandeo.



Grafica 19:Frecuencia De Consumo De Agua A Lo Largo De La Semana. fuente: creación propia

Una de las cosas que se tiene que poner atención es el uso de sistemas ahorradores de agua dentro de una vivienda, en la gráfica 20 se puede notar que el 85% de las viviendas no cuentan con algún sistema de este tipo, que esto podría ayudar a reducir hasta en un 60% el consumo de agua total.



Grafica 20:Viviendas Que Cuentan Con Sistemas De Ahorro De Agua. fuente: creación propia

Desglosando las viviendas que no cuentan con un sistema ahorrador de agua instalados son:

Tabla 29:

*Porcentaje de elementos en vivienda que no cuentan con un sistema ahorrador*

Ahorrador en tipo de mueble	Porcentaje
Regadera	83
Lavabos y fregadero sanitarios	88.9 84.3

Fuente: creación propia

Otros datos sobresalientes que se obtuvieron en las encuestas son:

- 26 personas cuentan con tina o jacuzzi en sus viviendas, y el 88.5% no las utiliza.
- 25 personas cuentan con bidet en su vivienda y el 84% no lo utiliza.
- El 10.5% de las personas encuestadas cuentan con algún tipo de gotera en su vivienda

En la pregunta 50, que dice: ¿El agua que llega a su casa por conexión municipal la usa para?: 10 personas la beben y 57 personas la utilizan para preparar sus alimentos, esta respuesta destaca porque el 66.9% de las personas dicen tener algún problema con el suministro de agua municipal de su vivienda, de estas 44 personas dicen tener problemas con el suministro, 19 que cuenta con mal olor, 18 que el agua llega turbia y 15 que llega con algún tipo de basura o sedimento notable a la vista.

Los porcentajes de beber agua en un día son:

Tabla 30:

*Actividad de beber agua al día*

Litros de agua al día	Porcentaje que representa
Menos de 1	24.2
1	30.1
2	33.3
3 o más	12.4

Fuente: creación propia

Ya enfocándose a los sistemas de captación pluvial, se realizaron algunas preguntas y los resultados más destacados fueron:

- El 75.7% de los encuestados dicen no conocer los sistemas de captación pluvial.
- El 12.7% dice que recolecta agua de lluvia con algún tipo de instrumento como cubetas, valdes.
- El 76.5% estaría dispuesto a instalar un sistema de captación pluvial en su vivienda (sin mencionar algún costo, dando a entender que fuera gratis).
- El 43.1% de las personas estarían dispuestas a que se les instalara un sistema de captación pluvial y se les fuera haciendo el cobro en su recibo de agua y predio.
- Solo el 2.6% estaría dispuesto a instalar un sistema de captación pluvial que tuviera un costo entre los 35 a 50 mil pesos mexicanos, (siendo el costo actual agosto 2019, de un sistema tradicional).
- Pero si el costo rondara los diez mil pesos mexicanos el 42.5% estaría dispuesto a realizar la inversión e instalación del sistema de captación pluvial.
- 

Es interesante ver la participación de la gente en el tema del agua, se notó una opinión dividida al respecto, encontrando comentarios a favor en la encuesta como: “Recolección de agua de lluvia, reutilización de agua de lavadora y de regadera”, “Utilizo un mínimo de agua al asear áreas comunes, reutilizó el agua con las que lavo verduras o algunos trastes, lavo cargas grandes de ropa, para utilizar una tina por cada tipo de prendas; color ,obscura y blancos”, “No jalo la palanca del baño, si no hecho una cubeta, bañarme rápido” o “Pongo cubetas en la lluvia”, pero también se

encontraron respuestas donde la opinión es indiferente al tema como: “No ahorró agua”, “Uso platos desechables y vasos desechables, me baño con cubeta a veces”, “No tengo la cultura de ahorrar” o “Pues yo no ahorró agua”; o algunas respuestas un poco irracionales como: “no me baño diario para ahorrar agua”.

### **3.5 Datos de población y vivienda**

Para la gestión de información de información poblacional, INEGI utiliza los datos de vivienda y población de la Encuesta Intercensal 2015, que se llevó a cabo con la finalidad de actualizar la información sociodemográfica a la mitad del periodo comprendido entre el Censo de 2010 y el que habrá de realizarse en 2020. Aborda temas presentes en los últimos censos y guarda comparabilidad con ellos, pero también incorpora temas de reciente interés entre los usuarios.

Con un tamaño de muestra esperado de 6.1 millones de viviendas, permitirá proporcionar información a nivel nacional, entidad federativa, municipio y para cada una de las localidades con 50 mil o más habitantes, referida al 15 de marzo de 2015 que proporciona INEGI en su página oficial.

Para la cartografía se utilizó el Marco Geo estadístico de INEGI que es un sistema único y de carácter nacional, diseñado y creado en el año 1978, para referenciar correctamente la información estadística de los censos y encuestas con los lugares geográficos correspondientes.

Proporciona la ubicación de las localidades, municipios y entidades del país, utilizando coordenadas geográficas.

Divide al territorio nacional en áreas con límites identificables en campo, denominadas Áreas geo estadísticas, con tres niveles de desagregación: Estatal (AGEE), Municipal (AGEM) y Básica (AGEB), ésta puede ser urbana o rural, dependiendo de las diferencias de densidad de población y uso del suelo.

Las áreas geo estadísticas cuentan con una clave única en el territorio nacional, lo que permite relacionar los datos estadísticos específicos del lugar. (aunque en experimentación se demuestra que no es cierto)

La información del Marco Geo estadístico constituye un auxiliar en la delimitación entre entidades y municipios, sobre todo, en los lugares en que los límites político administrativos se encuentran indefinidos.

Después de contar con los datos necesarios de la encuesta de consumo de agua debemos determinar el área donde se realizará la intervención e instalación de captadores pluviales. Para el caso de estudio se escogió del municipio de Nezahualcóyotl, una manzana en la colonia Prados de Aragón, ubicada entre las calles Prados de Cedro y Prados de Caoba. En una coordenada central de  $19^{\circ}28'07.93''$  N y  $99^{\circ}02'49.96''$  O. con una extensión de 225m de largo por 48m de ancho aproximadamente.



*Ilustración 28:* Ubicación De Manzana Para Aplicación De Modelo De Captación Pluvial. fuente: página de INEGI, <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>

Para poderla encontrar en la página de inventario nacional de vivienda de INEGI, debemos saber su clasificación donde pertenece al Estado:015, Municipio:058, a la AGEB:2056 y a la

Manzana:011. Con estos puntos podemos acceder a su base de datos, donde podemos obtener información como:

- Vivienda: total de viviendas, viviendas habitadas, viviendas no habitadas, viviendas particulares
- Características de vivienda: con recubrimiento de piso, energía eléctrica, agua, drenaje, servicio sanitario, promedio de ocupantes.
- Población: total de población y en intervalo de 15 años las personas que hay. Población con alguna discapacidad, promedio escolar.
- Entorno Urbano con el que cuenta: encarpetao de calle, banquetas, guarnición, arboles, rampas para silla de ruedas, alumbrado público, letreros con el nombre de la calle, teléfono público, restricción de paso peatonal y automóvil, puestos semifijos, puestos ambulantes.

Donde los datos que nos importa es el de población total y número de viviendas que en este caso son:

Tabla 31:

*Datos extraídos del inventario nacional de vivienda*

Clasificación	Cantidad
Total de viviendas	104
Población	352

Fuente: página de INEGI, <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>

Se seleccionó esta manzana porque es una de las zonas que tienen escasez de agua constantemente y se podía tener acceso al área de azoteas que es un requisito que se debe de cumplir al momento de realizar misión de drone (capítulo 4) y tener control de los resultados.

### 3.6 Conclusión de resultados

La realización de la encuesta tiene el fin de obtener el resultado del promedio de consumo de agua de una persona al día, para poder encontrarlo, se tuvo que desarrollar una encuesta como se describe en este capítulo, para obtener los 557.12 L/hab./día.

Pero también sirve para observar el comportamiento que tiene la población de estudio con respecto a los usos y tendencias que tiene al consumo de agua, esto puede ayudar a los gobiernos municipales, estatales o federales a desarrollar estrategias o actividades para reducir el consumo de agua en la localidad, por ejemplo, en este caso se podría desarrollar un programa para concientizar a las mujeres de 20 a 45 años que vivan en la zona centro de Nezahualcóyotl a reducir su consumo de agua, que fueron las que tuvieron un comportamiento de consumo mayor de los 1500 L/hab./día.

También es importante tomar en cuenta la participación ciudadana con respecto a la implementación de estrategias de ahorro de agua y la utilización de sistemas de captación pluvial

Actualmente se tocó el tema en el encuentro de captación y manejo de lluvia en la ciudad de México, y expositores de Isla Urbana confirmaron que se logran mejores resultados de ahorro de agua, si se trabaja con la población en estrategias de apropiación de los sistemas y que la comunidad participe en la instalación. Pero todavía no cuentan con datos específicos.

Si se quiere consultar la encuesta realizada en línea o los resultados obtenidos pueden dirigirse a la parte del anexo de este trabajo.

Estos datos no son concluyentes, se deben usar solo como representativos de una población pequeña, y aunque se utilizaron metodologías oficiales, no se cumplen con los rangos poblacionales requeridos por la cantidad de encuestas que se tenían que realizar y el reducido tiempo y presupuesto para poderlo aplicarlos.

## **Capítulo 4: Áreas de cubierta para captación pluvial**

### **Generación de datos actualizados**

Una de las dificultades que se encontraron fue la obtención de información catastral actualizada en el Estado de México, para ser más específico en el municipio de Nezahualcóyotl; se solicitó información en la dirección de obras públicas y desarrollo urbano, y en el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y catastral del Estado de México (IGECEM), que su función es promover y compartir los datos e información geográfica territorial, pero solamente cuenta con información de 9 de los 125 municipios.

En sus páginas web oficial se comenta que cuentan con información actualizada y gratuita de estos datos, pero al contactarlos, se encontrarlo varias problemáticas como: son pocos los municipios que cuentan con esta información, la mayoría son links que nos dirigen al portal de INEGI, en el apartado de información catastral, los archivos que se pueden descargar son a nivel división de manzanas en un archivo CAD. Para contactar al personal de estas instituciones nos dirigimos a las oficinas del Centro de Servicios Administrativos “Josefa Ortiz de Domínguez”, Planta Alta, Interior Q, Av. Sor Juana Inés de la Cruz No. 100, Col. Metropolitana, 2a sección, C.P. 57740, Ciudad Nezahualcóyotl, México, donde al pedir información catastral a escala de vivienda, no se cuenta con esta información y solamente cuentan con fotos aéreas (no supieron decirme la fecha en que se tomaron las fotografías) de las cuales solamente se pueden tener acceso por medio de fotocopias de un costo de 80 pesos y no se puede acceder al formato digital.

Posteriormente pude acceder a unos planos digitales de catastro a nivel vivienda del municipio de Nezahualcóyotl, gracias a una persona que colaboró ahí, pero estos planos estaban en formato CAD, seccionados, no Georreferenciados y no contaban con algún dato de tipo de proyección o datum del plano, su actualización es del 2012, pero al no manejarse por algún sistema SIG o BIM

para ser consultados, se dificulta la gestión de información que contienen, cabe mencionar que estos planos no son de acceso público y solo se usan para las oficinas de servicios del padrón catastral.

Anteriormente INEGI contaba con la cartografía de predios y construcción, pero se dejó de actualizar y ahora ya no está para descargar en su página y tampoco en su Geodatabase de GAIA.

También se visitó el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística el cual cuenta con los productos y servicios que se clasifican en cuatro grandes apartados:

- Información geográfica,
- Información estadística,
- Información catastral y
- Servicios de información.

Con lo anterior se espera que los usuarios dispongan de información oportuna de una variedad de temas que le permitan desarrollar sus proyectos académicos, investigaciones o trámites administrativos, o de alguna instancia oficial.

Pero al llegar a las oficinas de Balderas 71, Colonia Centro, 06040 Ciudad de México, CDMX, ya no cuentan con archivos catastrales para disposición del público solamente se disponen en bases de datos en CD para la venta al público, pero es información generada en 2005.

A causa de esto nos vemos en la necesidad de crear nuestras propias bases de datos actualizadas del entorno urbano y vivienda, para eso se probaron otras formas de obtener esta información como:

#### **4.1 Imágenes satelitales**

El uso de imágenes satelitales fue desarrollado durante la guerra fría entre los Estados Unidos y la Unión Soviética para usos militares, hoy en día tenemos la oportunidad de aprovechar de imágenes satelitales para una gran variedad de aplicaciones:

- capa base de catastro – uso GIS de municipios
- desarrollo y planificación urbano
- mapeo / planificación / administración de uso de suelos
- infraestructura – teléfono, alcantarillado, agua potable, electricidad, gas etc.
- alineamientos – carreteras, canales, tuberías etc.
- recursos naturales – forestales, petróleo, minería etc.
- investigación ambiental – cuencas hidrológicas, planos de inundación, vegetación
- negocios o geografía empresarial – bienes y raíces, turismo, seguimiento de vehículos, espionaje industrial etc.
- respuestas rápidas a desastres naturales / emergencias
- asuntos militares, tales como planeación / simulación, monitoreo / mapeo de fronteras y otras áreas sensitivas

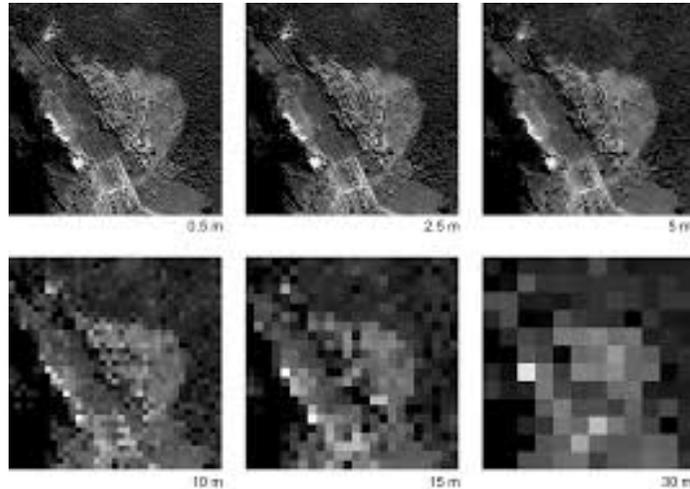
La principal donde obtuve la idea de usarlas es en la prospección arqueológica, que actualmente ha tomado una gran importancia en esta rama, para el descubrimiento de nuevos lugares arqueológicos.



*Ilustración 29:* Ejemplo De Prospección Arqueológica Satelital. fuente: (Tomás Bense, 2007)

Las imágenes satelitales proveen volúmenes de información a un bajo costo. Los nuevos satélites comerciales ofrecen características como resolución (tamaño cuadrado representado por un pixel), precisión posicional (la variación entre la posición de un objeto en la imagen y su posición verdadera) y tiempo de entrega revolucionaria, aumentando la variedad de posibles

aplicaciones. Dado el corto tiempo de entrega y sus precios bajos imágenes satelitales pueden ser alternativas y/o complementos a fotografía aérea convencional.



*Ilustración 30:* Ejemplo De Una Misma Área Captada A Diferentes Resoluciones. fuente: (Tomás Bense, 2007)

Las imágenes satelitales que están disponibles en este momento incluyen IKONOS (1m / 4m), IRS (5m) y Landsat 7 (15m / 30m). Ofrecemos datos Spot (10m) y datos rusos (1m o 2m) por caso especial, y datos activos (todos los satélites anteriormente mencionados son pasivos o sea ópticos), incluyendo Radarsat y ERS, para aplicaciones especializadas tales como la creación de DEM (Modelos Digitales de Elevaciones).

También se cuentan con satélites de nueva generación como el Sentinel 2 (10m,20m,60m), Landsat 8 (100m) y Geoeye 1 (0.46m pancromático y 1.84m)

Los datos IKONOS, Landsat 7, Spot y Radarsat podrán estar disponibles para todo el mundo ya que usan memoria interna así que si el satélite está fuera del alcance de alguna de las estaciones de tierra el satélite puede grabar los datos para una transmisión más tarde. Hay limitaciones en el cubrimiento de IRS y Landsat 5 ya que sólo pueden funcionar mientras están en el alcance de una estación de tierra.

tipo de imagen:

**Ikonos** – dado los detalles espaciales disponibles y la precisión posicional, estas imágenes sirven muy bien para mapeo base, aplicaciones GPS y visualización. Productos 1-P y 1-PSM son excelentes para planificación urbana, uso en sistemas GIS, infraestructura / transporte etc. 4-MS ofrece mucha utilidad en aplicaciones de agricultura, recursos forestales, recursos naturales y usos del suelo.



*Ilustración 31:* Ejemplo De Imagen Satelital Ikonos. fuente: (Tomás Bense, 2007)

IRS – 5-P y 5-PF ofrecen mayor cubrimiento y costos muy competitivos, y dada su alta resolución son excelentes para planificación urbana, mapeo/administración de infraestructura, etc. Los datos 180-MS, con su cubrimiento grande e información multiespectral, sirven para estudios regionales/de nivel de continente, mapeo de recursos, procesos globales, etc.



*Ilustración 32:*Ejemplo De Imagen IRS. fuente: (Tomás Bense, 2007)

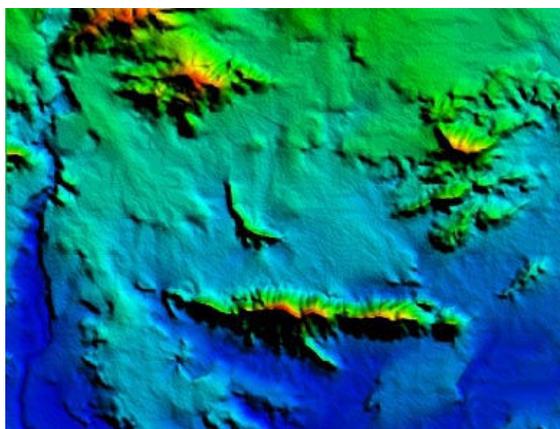
**Landsat** – Los datos 30-MS son excelentes para aplicaciones de usos / cubrimiento del suelo (clutter or LU/LC) – imágenes multispectrales contienen mucha información y son ideales para investigaciones ambientales. Dado que Landsat TM incluye banda 7, para trabajos de clasificaciones geológicas es la selección lógica en vez de IRS-20MS o SPOT 4 XI. Las 7 bandas de Landsat son:

- Band 1 - blue
- Band 2 - green
- Band 3 - red
- Band 4 - near-infrared
- Band 5 - shortwave infrared
- Band 6 - longwave infrared/thermal
- Band 7 - shortwave infrared
-



*Ilustración 33:* Ejemplo De Imágenes Landsat. fuente: <http://www.gisandbeers.com/combinacion-de-imagenes-satelite-landsat-sentinel-rgb/>

**Radarsat/ERS/JERS** – ya que Synthetic Aperture Radar funciona bajo condiciones nubladas y/o oscuras, estos tipos de imágenes pueden ser usadas en lugares donde los resultados con sistemas ópticos no serían buenos. Son ideales para monitorear características geológicas, de costas y agua abierta. Donde no es posible crear DEM bajo interferómetro (usualmente con datos ERS) o conseguir un par de datos SPOT sin nubes.



*Ilustración 34:* Ejemplo De Imágenes DEM. fuente: <https://www.remotepixel.ca/>

### Combinaciones de RGB para crear imágenes de falso color

La combinación de imágenes de satélite nos permite analizar elementos específicos de la superficie terrestre en función de su espectro de emisión. Gracias a las distintas bandas multispectrales de operación de los satélites podemos interpretar aspectos como la vegetación, los usos del suelo o las masas de agua. Combinaciones específicas RGB nos mostrarán y discriminarán los elementos de nuestras imágenes satélite de forma rápida.

La creación de estas imágenes parte del paso de bandas a través de tres canales: rojo, verde y azul. El paso de cada banda por un canal u otro permitirá la pigmentación de los elementos que ofrezcan mayor o menor reflexión de longitudes de onda. Así, por ejemplo, la vegetación refleja en la zona del infrarrojo y absorbe en la zona visible del rojo. El juego cromático de estas bandas nos ayudará a elaborar mapas específicos de vegetación.

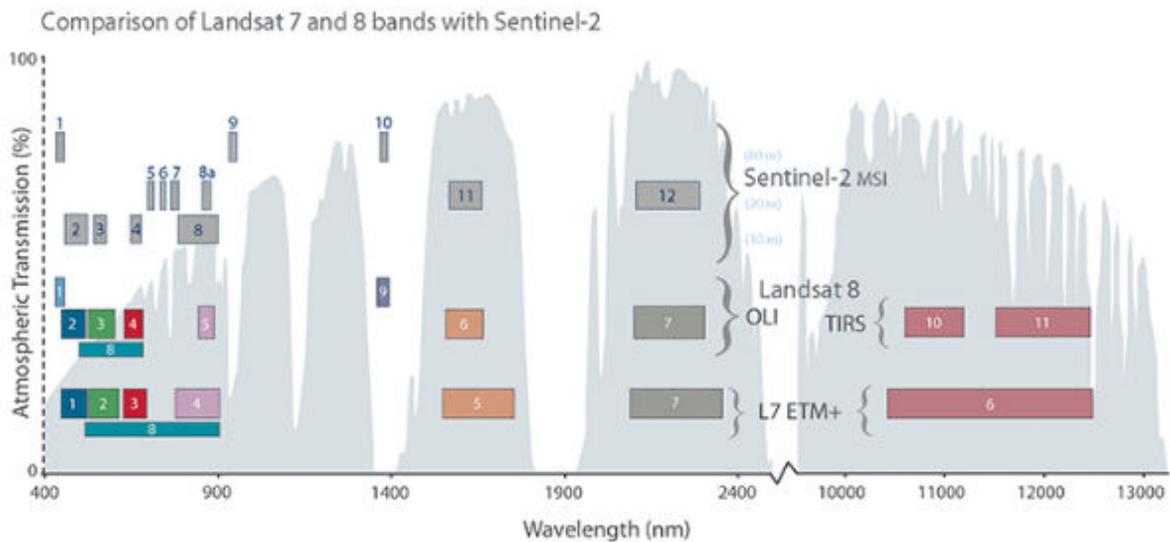


Ilustración 35: Tamaños De Los Espectros De Banda. fuente: (Tomás Bense, 2007)

Los pasos de bandas por los tres canales RGB dará, como resultado, la combinación de imágenes satélite para formar una imagen a color natural o falso color, realzando elementos muy

concretos para su posterior estudio y análisis. Podremos realizar estas combinaciones siempre y cuando conozcamos el rango de trabajo en el que operan las bandas del satélite seleccionado y el comportamiento de reflexión de los elementos objeto de estudio. Conociendo estos datos sabremos las bandas a utilizar en función del tipo de estudio planteado.

Comparativa de bandas Sentinel y Landsat. Fuente USGS

Landsat y Sentinel presentan diversas bandas que operan bajo rangos parecidos, lo que implica la necesidad de combinarlas de manera distinta en función del estudio deseado. Aquí os dejo una descripción de la combinación de imágenes satélite de las bandas y la composición RGB resultante para estudios específicos mediante análisis multiespectral.

Para obtener imágenes de Color natural, se tiene que realizar la suma de las siguientes bandas dependiendo el satélite que utilicemos: Landsat 8 (4,3,2), Sentinel 2B (4,3,2)



*Ilustración 36:* Ejemplo De Imagen Natural. Fuente: <https://viewer.remotepixel.ca/#3/40/-70.5>

Para la creación de imágenes de Falso color (para zonas urbanas, que es la parte en que nos interesamos) se sumaran las bandas: Landsat 8 (7,6,4), Sentinel 2B (12,11,4)



*Ilustración 37:*Ejemplo De Imagen De Falso Color Urbano. fuente: <https://viewer.remotepixel.ca/#5.66/38.912/-91.566>

La creación de este tipo de imágenes nos puede ayudar a la localización de zonas urbanas con un color en específico, en este caso el violeta, con lo cual en un programa de geoprocесamientos podemos crear de las imágenes raster, áreas de vectores de color falso que pueden ser interpretados por el programa como archivos, shapefile, dwg, o cualquier tipo de archivo de vectores utilizados actualmente.

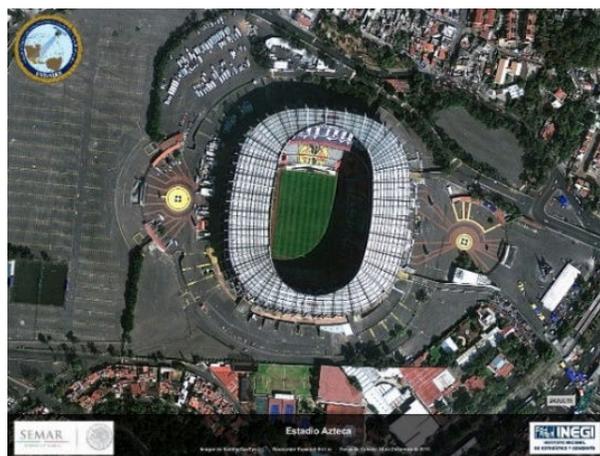
### **El satélite de imágenes ópticas**

Unos de los satélites más utilizados en esta área son IKONOS y GeoEye-1, este último fue lanzado en septiembre de 2008, es capaz de coleccionar imágenes ópticas con una resolución espacial de 0.41 m en la banda pancromática (blanco y negro) y de 1.65 m en la banda multiespectral (color), posee una órbita polar helio sincrónica que cruza por el territorio Mexicano alrededor de la 11:30 hrs. (hora del centro), se ubica a una altitud de 681 km y una velocidad de desplazamiento de 6.79 km/s., completando una vuelta a la Tierra cada 98 minutos con un total de 15 orbitas diarias.

En el modo pancromático, el satélite es capaz de recolectar hasta 700,000 km<sup>2</sup> en un solo día y en el modo multiespectral hasta 350,000 km<sup>2</sup> por día. Esta habilidad es ideal para proyectos a gran escala. El ancho de su trayectoria en nadir es de 15.2 km.

GeoEye-1 presenta una precisión en geolocalización superior a 2.5 m con un error circular de 90% (CE90) en planimetría para imágenes estereoscópicas y monoscópicas; y de 3 m de error lineal de 90% (LE90) en altura para estereoscopia.

El sensor del satélite GeoEye-1 está diseñado para realizar tomas en cualquier dirección, sin embargo, las direcciones preferentes son Este-Oeste y Sur-Norte, esta característica le otorga una gran maniobrabilidad que permite realizar colectas de la superficie terrestre en función de los objetivos del usuario final.

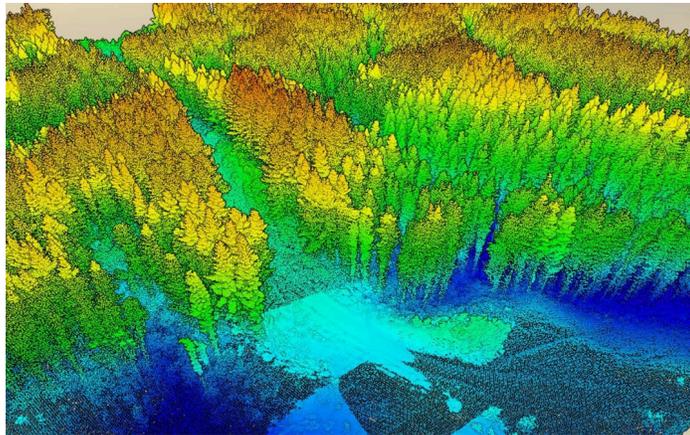


*Ilustración 38:* Ejemplo De Imagen Geoeye-1. fuente: <https://www.gob.mx/semar/galerias/imagenes-satelitales>

Nos enfocamos en las características de este tipo de satélite porque la resolución que nos muestra es de muy alta calidad; por eso se trató de contactar a la Estación Virtual de Imágenes Satelitales de Muy Alta Resolución (Evismar) que es una dependencia de la Secretaría de Marina que cuenta con un contrato servicio para obtener imágenes satelitales del satélite Geoeye 1 y al tener una participación con INEGI se puede tener acceso a estas imágenes por medio de una carta

institucional de investigación académica, pero después de 2 meses de intentar acceder a ellas se desistió intentar por este medio. Investigando más a detalles un problema que se tendría a futuro al utilizar la técnica de índices con las bandas de color RGB sería que no obtendríamos la altura de los objetos, por eso se dejó de intentar por medio de estas técnicas.

Posteriormente se encontró que existe otro tipo de imágenes conocida como light detection and ranging o (LIDAR), que son obtenidas por un satélite activo utilizando un láser para poder obtener mediciones exactas de la superficie terrestre, teniendo como resultado una nube de puntos y que al ser procesada por software podemos tener un modelo de elevación digital o DEM, y dependiendo de la calidad del detector se pueden obtener distintas resoluciones.



*Ilustración 39:* Ejemplo De Levantamiento Con LIDAR. Fuente: <https://interpine.nz/lidar-seeing-the-forest-for-the-trees/>

INEGI cuenta con una base de datos en la cual podemos descargar de forma gratuita la mayoría de la extensión territorial del país en formato raster, pero la mejor resolución que se puede obtener para escala Arquitectónica es 1:10,000 con resolución de 5 metros, y para los fines del ejercicio que se realizó no sirve este formato. Aunque sirvo para poder llegar al siguiente punto de la investigación, el uso de drones para mejorar la resolución.

## 4.2 Drones

Aunque la inmensa mayoría de personas asocian el uso de drones al sector audiovisual, bien es cierto que cada vez más empiezan a utilizar en otros muchos usos. Uno de los más relevantes es el uso en topografía y cartografía, realizando la técnica llamada fotogrametría para hacer levantamientos 3D, cálculos de volúmenes.

Los drones portan cámaras fotográficas y de vídeo. Esto viene bien desde luego para capturar imágenes aéreas, pero también para que estas imágenes, concretamente fotografías, sirvan para obtener modelos que den una serie de datos muy útiles en muchos campos.

Actualmente un equipo profesional, realiza una serie de captura de datos de posicionamiento satelital que incorpora en sus metadatos de cada imagen obtenida. con esta información al incorporarlas a un software puede realizar cálculos de volúmenes. La precisión de estos cálculos tiene errores que por medio de diversas técnicas pueden corregirse. Actualmente se pueden obtener cálculos increíblemente precisos del volumen exacto con errores de solo 1 o 2 milímetros.

Además, un drone puede hacer en una mañana el trabajo que harían varios técnicos durante una semana o más, Con la ventaja de tener acceso a lugares peligrosos o con materiales tóxicos, lo que permite reducir considerablemente los riesgos laborales.

El proceso consiste en la planeación del vuelo y captura de fotografías en primer lugar. Luego dichas imágenes son procesadas mediante programas específicos para la obtención de los modelos 3D y Ortomosaico como Pix4D o Agisoft PhotoScan. Con este tipo de programas es posible obtener una precisión de hasta 1 centímetro por pixel en planimetría, con ayuda de estación de puntos de control tomados por GPS topográfico.



*Ilustración 40:* Ejemplo De Generación De Un Ortomosaico. Fuente: <https://www.lidar-mexico.com/fotogrametria-drones>

Los ortomosaico obtenidos pueden alcanzar hasta 1 centímetro de GSD (Ground Sample Distance), es decir, un píxel de la imagen generada representa un cuadrado de 1 centímetro en la realidad, resoluciones favorables para su uso en la arquitectura.

Por otro lado, mediante programas Sistemas de Información Geográfica (SIG) es posible trasladar estos resultados y poder usarlos para generar coordenadas, distancias, áreas, e incluso volúmenes. Además, es posible generar curvas de nivel, realizar perfiles, y elaborar DEM.

La eficiencia de vuelo del drone se pueden conseguir millones de puntos RGB; mientras que antes el topógrafo debía ir observando punto por punto, obteniendo solamente unas coordenadas en las que difícilmente podría conseguir 500 puntos por jornada. De esta manera, la superficie queda mejor representada y es posible obtener un DEM que se ajuste más a la realidad.

El trabajar con un drone no da un gran valor visual y la posibilidad de disponer de un documento gráfico con un histórico en el que se puede apreciar el avance como posible aval a futuras reclamaciones o simplemente para un análisis visual. De esta forma, es posible comparar visualmente la cantidad de material o volumen que ha variado a través del tiempo.

Los plazos de entrega se reducen por el tiempo de procesado y, por lo tanto, los costos de trabajo disminuyen. Hace años, los vuelos fotogramétricos mediante aviones con rutas de vuelo específicas eran complicados, a este tipo de trabajos demoraban plazos de entrega de aproximadamente 1 mes. Mediante un vuelo de un dron y la toma de puntos de apoyo, este tiempo se reduce a días.

En el caso de estudio de Nezahualcóyotl el uso de un dron es ideal para cubrir áreas de entre 2 a 25 km<sup>2</sup> con una pila, pero puede haber algunas desventajas como la altura máxima, está limitada en el ámbito de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) en su apartado de la circular obligatoria para el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones o RPAS) entre los 120 y 150 metros.

La batería, la desventaja más importante, suelen dar un tiempo de vuelo limitado. Es cierto que es el componente que más se está investigando en la actualidad para poder dotar de más tiempo de vuelo al dron.

Aunque lo anterior dificulta la forma más eficiente de trabajo, se soluciona de manera sencilla, con la inclusión de un par de baterías de repuesto con las que poder realizar varios vuelos, ya que aun teniendo una larga duración de batería seguiríamos teniendo la dificultad de la restricción de distancia y altura. Pese a todo, lo que parece una desventaja a día de hoy suele ser lo más sencillo de realizar, dado que la mayoría de localizaciones que requieren este tipo de trabajos se encuentran alejados de núcleos urbanos.

#### **4.3 Equipo utilizado para el levantamiento:**

Un punto importante para poder realizar el trabajo de levantamiento de información y procesamiento es: software, hardware y almacenamiento.

Hardware: para realizar los procesos de cálculo en tiempos competitivos se debe contar un equipo de cómputo con capacidades de alto rendimiento conocidas como estaciones de trabajo, son computadoras armadas con requerimientos específicos que en 2018 deberán tener como mínimo capacidad: procesador i7 de cuatro núcleos de 2.5GHz , 8gb de memoria ram, tarjeta de video que realice cálculo de GPU mínimo NVIDIA GTX 750 0 Quadro 4000 y almacenamiento libre de 50 o 60 GB para almacenamiento de fotografías, cálculos de levantamiento y resultados.

Software: en este caso win7 o superior ya que versiones anteriores no pueden administrar más de 4GB de ram a x64, aunque existen en el mercado una docena de softwares para el procesamiento de imágenes para fotogrametría, para esta investigación se utilizó en un principio Agisoft:Photoscan 1.4.5, que más adelante se corroboraron datos con la versión Metashape 1.5.0.

Para proceso geoespacial se utilizó ARCGIS, arcmap para la obtención de curvas de nivel, porcentaje de pendiente y cálculo de áreas a través de la reclasificación ipsométrica. Para la planeación de vuelo y misión Pix4D.

### **Equipo utilizado para obtener Modelo de elevación digital Drone.**

Para la captura de imágenes se utilizó un vehículo aéreo marca DJI Mavic Pro no tripulado (VANT) o UAV de sus siglas en inglés (unmanned aerial vehicle), comúnmente conocido como dron, pero catalogado como un RPAS (remotely piloted aircraft) por la Secretaría de Comunicaciones y transportes, y la Dirección General de Aeronáutica Civil, quienes son las encargadas de normativizar su uso en el territorio nacional; con las siguientes características:

Tabla 32:

*Características del drone utilizado (DJI Mavic Pro)*

AERONAVE		CONTROL REMOTO	
Plegado	H 83 mm x W 83 mm x L 198 mm	Frecuencia de funcionamiento	2.4 GHz - 2.483 GHz
Tamaño diagonal (sin hélices)	335 mm	Distancia de transmisión máx.	Según normas FCC: 7 km (4.3 mi);
Peso (batería y hélices incluidas)	734 g (Sin el protector del estabilizador)		Según normas CE: 4 km (2.5 mi);
	743 g (Con el protector del estabilizador)		Según normas SRRC: 4 km (2.5 mi);
Velocidad de ascenso máx.	Modo-S: 5 m/s (16.4 ft/s)		(sin obstáculos, libre de interferencias)
Velocidad de descenso máx.	3 m/s (9.8 ft/s)	Rango de temperatura de funcionamiento	De 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)
Velocidad máx.	65 km/h (40 mph) (modo-S) sin viento	Batería	2970 mAh
Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	5 000 m (16 404 pies)	Potencia de transmisión (PIRE)	FCC : ≤ 26 dBm
Tiempo de vuelo máx.	30 minutos (sin viento a una velocidad constante de 25 km/h)		CE : ≤ 20 dBm
Tiempo de vuelo estacionario máx.	27 minutos (sin viento)		SRRC: ≤ 20dBm
ESC (Controlador de Velocidad Electrónico)	FOC	Corriente/Voltaje de funcionamiento	950mA @ 3.7V
Distancia de vuelo máx.	15 km (9.3 mi) sin viento	Dispositivos móviles compatibles	Grosor compatible: 6.5-8.5mm
Rango de temperatura de funcionamiento	De 0 a 40 °C (de 32 a 104 °F)		Longitud máx.: 160mm
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS		Tipos de puertos USB compatibles: Lightning, Micro USB(Tipo B),USB(Tipo C) <sup>TM</sup>
Rango de precisión de vuelo estacionario	Vertical:	<b>ESTABILIZADOR</b>	
	±0,1 m (con posicionamiento visual)	Intervalo controlable	Inclinación: -90° a +30°
	±0,5 m (con posicionamiento por GPS)		Rotación: 0° o 90° (Horizontal y vertical)
	Horizontal:	Estabilización	3-ejes (cabeceo, alabeo, guiñada)
	±0,3 m (con posicionamiento visual)	<b>SISTEMA DE VISIÓN</b>	
±1,5 m (con posicionamiento por GPS)	Sistema de visión	Sistema de visión frontal	
Frecuencia de funcionamiento	FCC:	Rango de detección de obstáculos	Sistema de visión inferior
	2.4-2.4835GHz; 5.150-5.250 GHz; 5.725-5.850 GHz		Rango de medición de precisión: de 0.7 m (2 pies) a 15 m (49 pies)
	CE:	Rango detectable: de 15 m (49 pies) a 30 m (98 pies)	
	2.4-2.4835GHz; 5.725-5.850 GHz	Entorno operativo	Superficie con un patrón definido y una iluminación adecuada (lux ≥ 15)
	SRRC :	Rango de velocidad	≤36 km/h (22.4 mph) a 2 m (6.6 pies) del suelo
2.4-2.4835 GHz;5.725-5.850 GHz	Rango de Altitud	0.3 - 13 m (1 - 43 pies)	

Fuente: [https://www.dji.com/mx/mavic?site=brandsite&from=landing\\_page](https://www.dji.com/mx/mavic?site=brandsite&from=landing_page)

Para la planificación de vuelo y obtener los datos ambientales de velocidad de viento, ráfagas, probabilidad de precipitación, densidad de nubes, visibilidad, cantidad de satélites, magnetismo solar, mapas de vuelos, se obtienen de las aplicaciones recomendadas por la circular de la dirección general de aeronáutica civil:

- Magnetology
- UAV Forecast
- DJI GO 4
- 

Para la planificación de levantamiento de sitio, se realizó con GPS Garmin eTrex 10 Glonass y para para transformar los datos de latitud y longitud a UTM 14 se utilizó la aplicación de UTM Geo Map.

La programación de la misión de vuelo en México solo existe un documento de la secretaria de comunicaciones y transportes el cual nos da parámetros de cómo realizar este procedimiento, (Vasquez & Backhoff, 2017) aunque con la rápida actualización de software y hardware algunos pasos queda obsoletos rápidamente..

Para el análisis de imágenes se requiere un método de uso de software. a continuación, se comparan distintos métodos consultados y el propuesto para generar los resultados de DEM y ortomosaico.

Tabla 33:

*Comparativa de métodos encontrados para realizar vuelos de RPAS*

factores contemplados	reglamento de aviación civil	circular CO-AV 23 10 r4	planeación de vuelo ambiente							localización de área de estudio				apps	calibración de instrumentos	tipo camara
			kp	viento	rafagas	satelites	visibilidad	lluvia	mapas	gps	puntos de control	kmz	plan de vuelo			
metodos																
burbano suarez																
teledeteccion forestal																
info. Tecnica de SCT																
fotogrametria y fotointerpretación																
sig arteaga																
Haminton Smithk																
metodo captacion comunitaria																

factores contemplados	especificar hardware a usar	imágenes estereoscópicas	metodo de calculo de imágenes	software CAD	software nube de puntos	software SIG	resolucion de imagen	áreas	DEM	ortomosaico	curvas de nivel	pendientes	niveles
metodos													
burbano suarez													
teledeteccion forestal													
info. Tecnica de SCT													
fotogrametria y fotointerpretación													
sig arteaga													
Haminton Smithk													
metodo captacion comunitaria													

Fuente: creación propia

#### **4.4 Método para planear el levantamiento de información con drone**

Este método se crea después de consultar varios libros y cursos en los cuales se adaptan a ingenierías o áreas de geografía, pero no contemplan necesidades arquitectónicas, con esto podremos obtener imágenes, realizar su procesamiento y demás actividades que debemos de tener en cuenta para la correcta obtención de los datos.

1. Para realizar un correcto levantamiento, se recopilará la siguiente información:  
nombre completo del lugar, ubicación, croquis, información básica del clima del lugar, teléfono, correo electrónico del interesado.
2. En un correo electrónico se confirmarán los datos de ubicación del lugar de trabajo, como estado, municipio, si cuenta con ubicación por puntos GPS o alguna información más del predio, y las dudas que se pueda tener del proyecto.
3. Al contar con los datos se hará una revisión del área necesaria a levantar para poder calcular el tiempo de vuelo y pilas necesarias para esto. También se buscará información meteorológica para verificar si es posible realizar la misión de vuelo ese día.
4. Al verificar y que sea posible realizar el vuelo se hará una programación de la misión de vuelo en el programa PIX4D
5. Se realizará una entrega de correo interesado confirmando la información proporcionada, posibles días donde se pueda realizar el trabajo, entrega de presupuesto y si es aceptado los datos bancarios para el depósito del anticipo para realizar el trabajo.
6. Al llegar al lugar se tendrá que realizar el vuelo en un horario de 10:00 am a 2:00pm, se hará un reconocimiento del lugar para poder determinar un posible contratiempo que pueda ocasionar un problema en el vuelo.

7. Se realizará un levantamiento con GPS en el sitio para comparar contra la programación de vuelo y así poder eficientar tiempos de recorrido.
8. Se volverán a revisar los datos de ambientales como:
  - a. La intensidad magnética del sol (que no rebase los 4Kp)
  - b. Ubicación de por lo menos 12 satélites
  - c. Velocidad del viento no rebase los 10 km/h
  - d. No exista posibilidad de precipitación
  - e. Que el terreno se encuentre dentro de las áreas aceptadas para vuelo de RPAS
  - f. Verificar que el drone se encuentre calibrado
  - g. Revisar puntos de control
  - h. Quitar seguros de gimbal y cámara
  - i. Tener carga de batería necesaria para realizar el vuelo
  - j. Revisar que la unidad de almacenamiento este vacía
  - k. Cargar misión en drone (en este punto después de 4 pruebas el mejor resultado se obtuvo al realizar el levantamiento en sentido horizontal y vertical y no el de un solo sentido).
- l. Realizar vuelo.
9. Al recibir el drone de vuelta, preferentemente revisar los datos obtenidos en la unidad de almacenamiento en una computadora portátil, para evitar mala adquisición de datos y repetir el vuelo, y así evitar una segunda visita al lugar.
10. Al confirmar el paso 9, se podrá regresar al lugar de trabajo de procesamiento de imágenes.
11. Se procesarán las imágenes a lo requerido por el cliente.

#### 4.5 Procesamiento de imágenes

Ya que se tienen las imágenes almacenadas en la computadora que se utilizará para realizar los cálculos, se recomienda realizar un respaldo de información aparte en un disco externo, en este caso se requirió más en promedio unos 10 GB de espacio. Para este proceso se utiliza el software Agisoft, Metashape versión 1.5.0 y después de varias pruebas se recomienda utilizar estos pasos, ya que fueron los que nos dieron un mejor resultado, con menor rango de error.

1. Al procesar las imágenes en Metashape se realizaron en primera instancia un alineamiento de las imágenes como se muestra en imagen:



*Ilustración 41:* Alineamiento De Puntos De Fotografías. fuente: creación propia

2. Posteriormente, se realiza una nube de puntos densa, la cual intersecta los puntos en que coinciden varias fotografías y así va generando el modelo 3d
- 3.



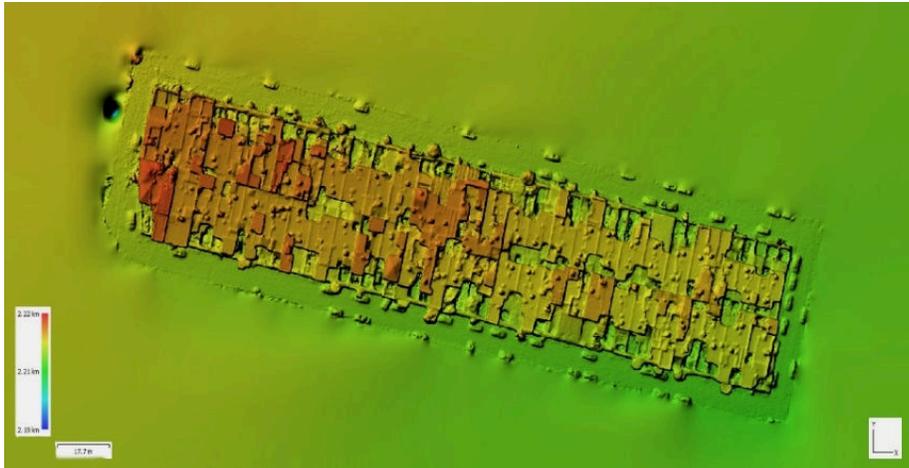
*Ilustración 42:* Generación De Nube Densa De Puntos. Fuente: creación propi

4. Al tener la nube de puntos, se genera un tildado el cual dará un color al pixel de elevación correspondiente a la intersección de puntos de la alineación.



*Ilustración 43:* Tildado De Nube De Puntos. Fuente: creación propia

5. Al obtener estos tres puntos se podrá generar el modelo de elevación digital correspondiente a la zona que se realizó el proyecto.



*Ilustración 44:* Modelo De Elevación Digital Generado. Fuente: creación propia

6. Y finalmente con esta información el programa puede generar una imagen de ortomosaico correspondiente a la proyección de UTM 14 Norte



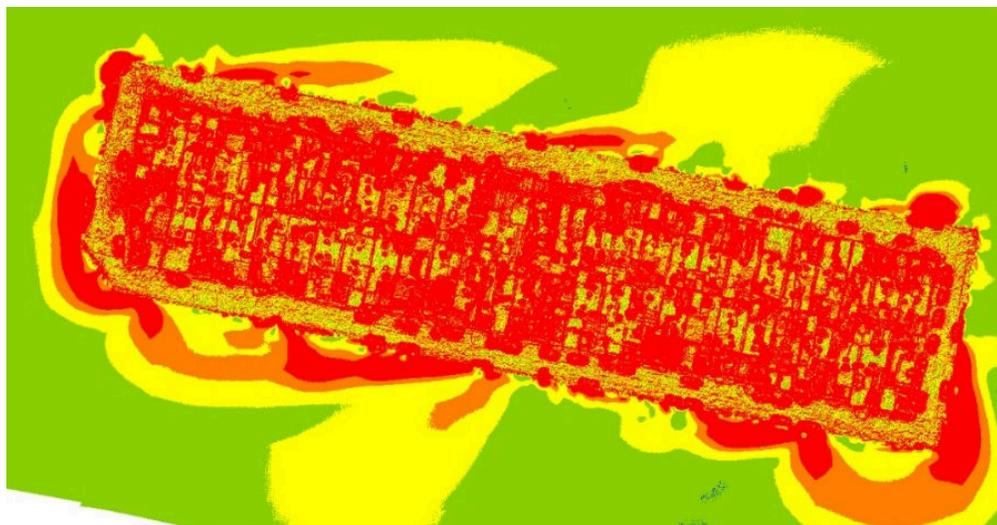
*Ilustración 45:* Imagen De Ortomosaico Generada En Photoscan. Fuente: creación propia

7. En ArcGIS podemos hacer uso de la información que tiene el DEM y obtener curvas de nivel de nuestro proyecto.



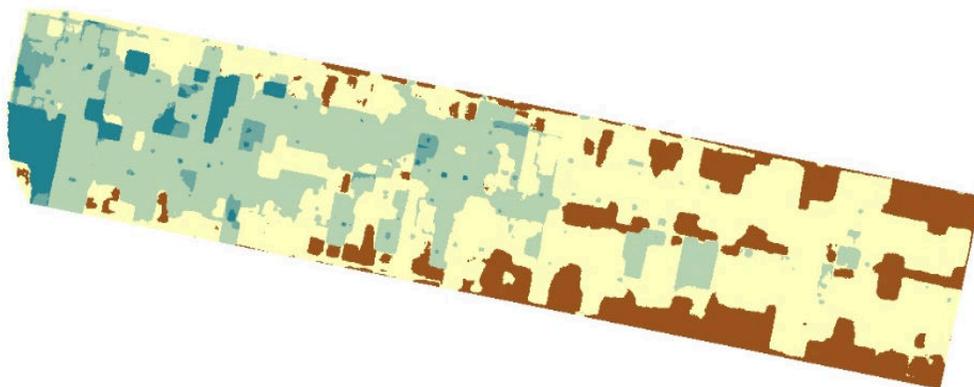
*Ilustración 46:* Plano De Curvas De Nivel Obtenida Del DEM. Fuente: creación propia

8. También se pueden obtener las pendientes por porcentaje, así podremos visualizar si las tuberías pasan por reglamento.



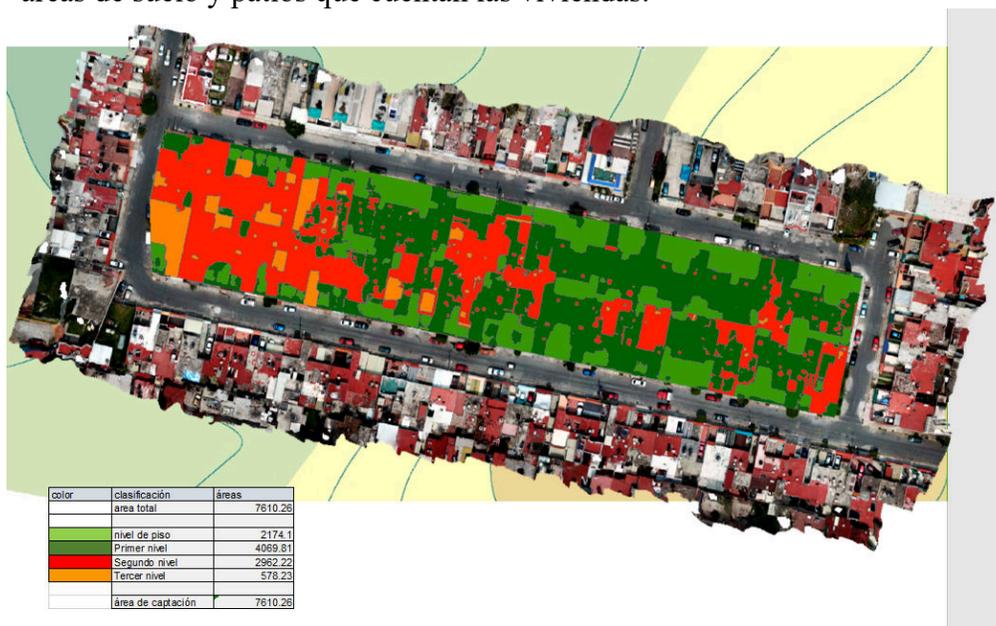
*Ilustración 47:* Plano De Pendientes Obtenidas Del DEM. fuente: creación propia

9. Y el plano principal, la reclasificación de alturas por medio de una clasificación hipsométrica, que dándole los valores de las alturas de las losas podremos obtener las áreas.



*Ilustración 48:* Imagen De Reclasificación Hipsométrica. Fuente: creación propia

10. Y finalmente al hacer uso de la información obtenida del modelo de elevación digital podremos tener los datos de las áreas de captación pluvial de cubiertas, descartando las áreas de suelo y patios que cuentan las viviendas.



*Ilustración 49:* Imagen De Reclasificación Hipsométrica Con Tabla De Áreas Por Nivel. Fuente: creación propia

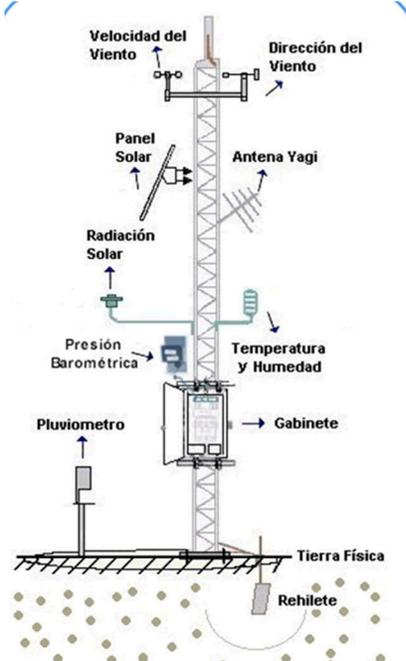
## **Capítulo 5: Análisis pluvial y cálculo de consumo**

### **5.1 Datos de para captación pluvial**

El uso de estaciones meteorológicas se da principalmente para el pronóstico del tiempo, al recolectar datos de temperatura, presión atmosférica, viento, humedad y precipitaciones podemos entender un poco mejor el comportamiento climático; pero estos datos también se utilizan para otras ramas, como en este caso, los datos de precipitación pluvial para obtener volúmenes de lluvia.

Para la obtención de estos datos se utilizaron las estaciones meteorológicas autónomas mejor conocidas como (EMAS), estas están conformadas por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica automáticamente desde los sitios donde fueron estratégicamente colocadas. Las estaciones recolectan información a cada 10 minutos y representan datos de 5 km de radio.

Para poder acceder a estos datos debemos entrar al portal del Servicio Meteorológico Nacional y de ahí accedemos al sistema de información y visualización de estaciones autónomas donde en un plano interactivo de la republica mexicano podremos encontrar la estación meteorológica más cercana al proyecto deseado.



*Ilustración 50:* Ejemplo De Estación Meteorológica. Fuente: <https://smn.conagua.gob.mx/es/pronosticos/8-smn-general/38-estaciones-meteorologicas-automaticas-emas>

### 5.1.1 Precipitación pluvial del lugar

En el modelo de captación pluvial se obtuvieron los datos de precipitación pluvial de la estación 15061 ubicada en el centro del municipio de Nezahualcóyotl con coordenadas (19°24'57" N, 99°02'44" O, altura:2,278m), con un rango de 1967 a 2015, los datos se extrajeron de manera remota a su conexión en la página <http://clicom-mex.cicese.mx/>, la ventaja de utilizar este enlace es que se pueden descargar datos diarios históricos, ya que si se utiliza la página del SMN solo se obtienen rangos promediados y no podemos acceder a los datos generados por la estación. Estos datos se consultaron en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automatias-ema-s>, (septiembre 2019).

Al contar con la base de datos de precipitación diaria en milímetro de la estación, el tratamiento estadístico para obtener Histórico, 15 años y 10 años fue:

- Eliminar el año 1967, por no contar con los datos completos del año y comenzamos desde 1968.
- Se hizo la sumatoria diaria de cada mes, para obtener la cantidad total de agua acumulada en cada mes en milímetros y así completar cada año.
- Al tener la tabla con todos los resultados se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 34:

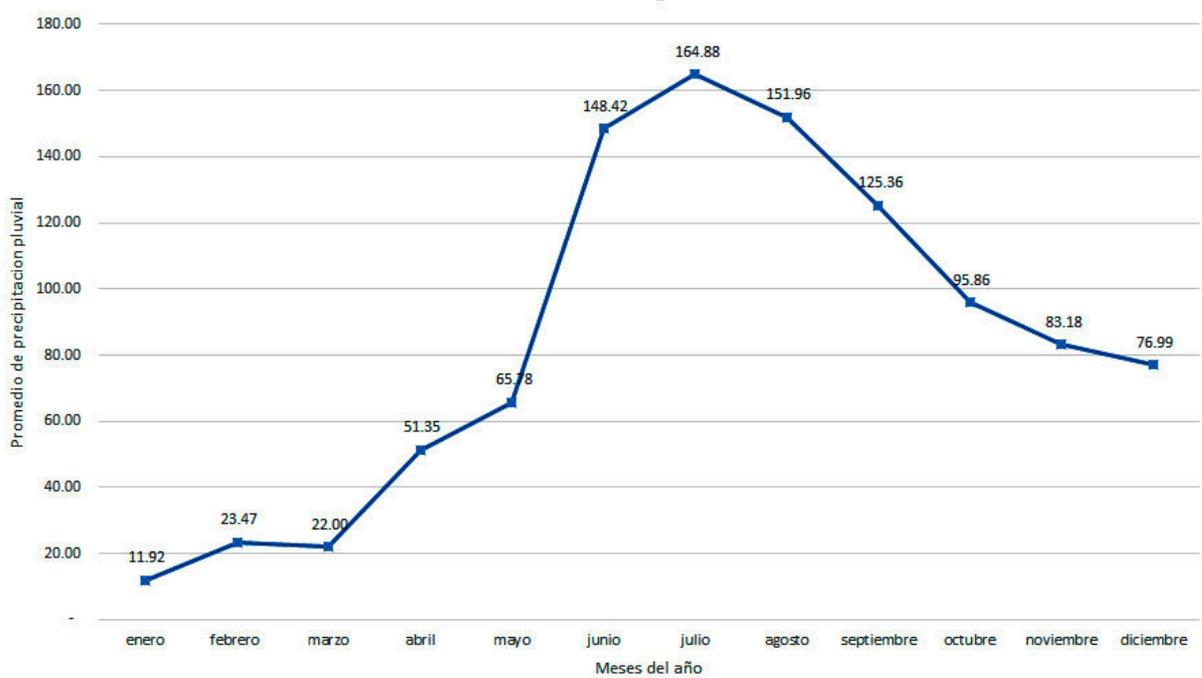
*Promedios históricos, a 15 años, a 10 años de precipitación pluvial por mes*

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Histórico	11.92	23.47	22.00	51.35	65.78	148.42
15 años	7.08	47.31	26.10	80.33	77.93	158.13
10 años	7.42	48.25	19.46	69.15	56.40	146.04
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Histórico	164.88	151.96	125.36	95.86	83.18	76.99
15 años	229.43	229.27	154.23	68.64	96.57	204.69
10 años	227.56	194.26	155.72	58.77	119.35	169.57

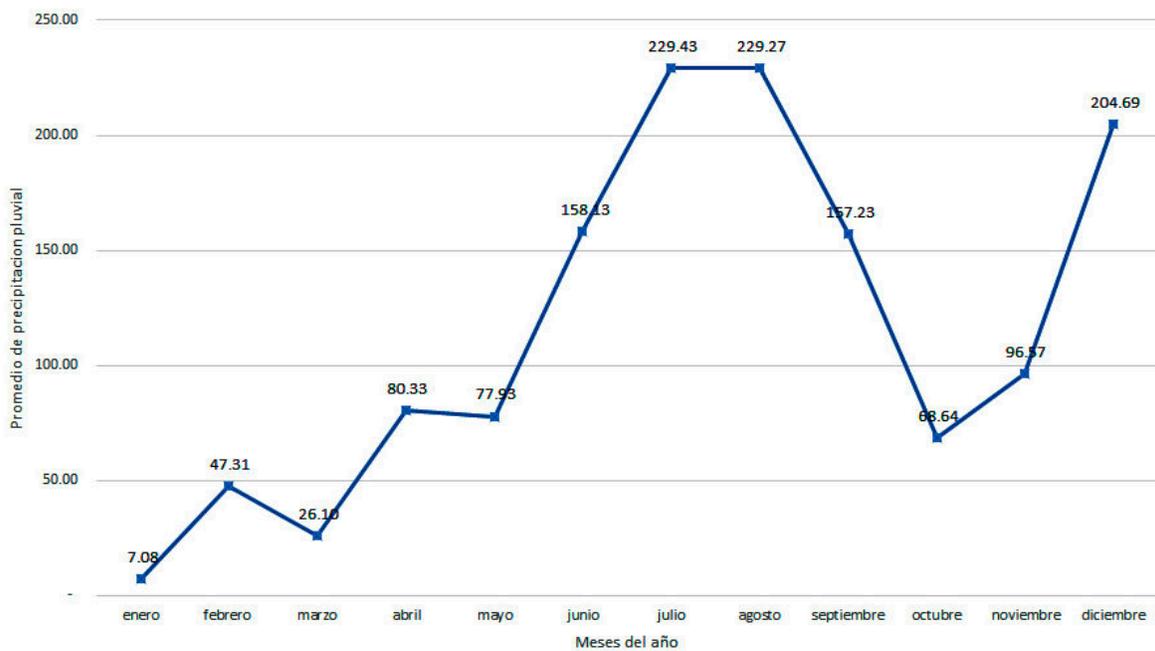
Fuente: creación propia

Con estos resultados podemos ver que dependiendo del modelo que utilizemos para realizar el cálculo pluvial podemos obtener distintos resultados, que graficados podemos observar sus distintos comportamientos.

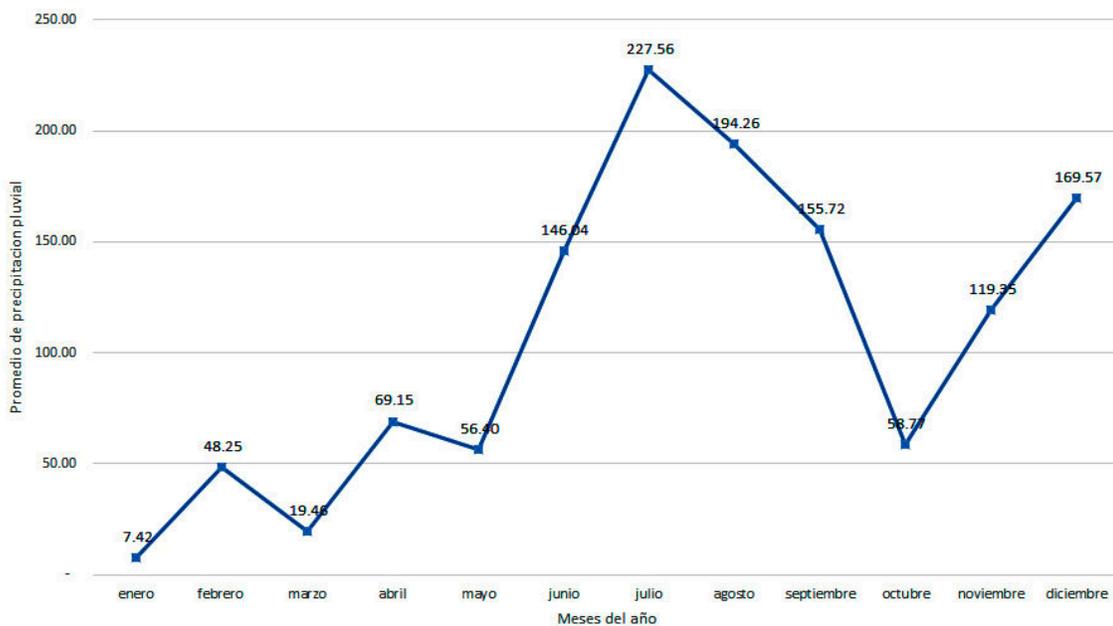
A continuación, se presentan las gráficas con los diferentes resultados obtenidos de la precipitación pluvial promedio de la zona de Nezahualcóyotl, Estado de México.



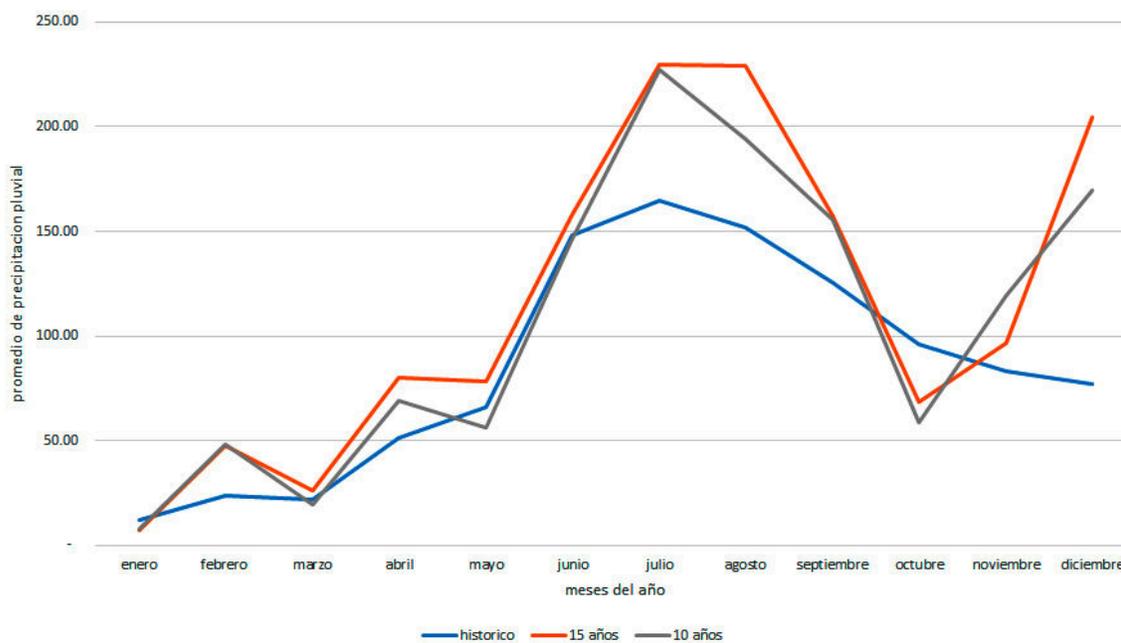
Grafica 21: Promedio Mensual De Rango Histórico De Precipitación Pluvial. Fuente: creación propia.



Grafica 22: Promedio Mensual De Rango A 15 Años De Precipitación Pluvial. Fuente: Creación propia



Grafica 23: Promedio De Rango A 10 Años Precipitación Pluvial. Fuente: Creación propia



Grafica 24: Promedio Mensual De Rangos Histórico, 15 Años, 10 Años De Precipitación Pluvial. Fuente: creación propia

Dependiendo del modelo que usemos para realizar el cálculo se obtienen resultados distintos al calcular el acumulado y la media, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 35:

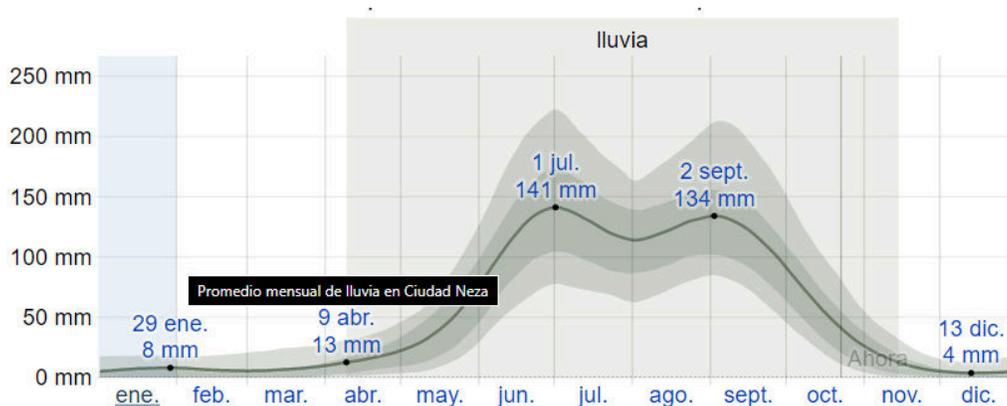
*Resultados de captación acumulada anual y media mensual*

	Acumulado anual	Media mensual
Histórico	656.87	59.06
15 años	818.73	73.81
10 años	766.83	71.08

Fuente: creación propia

otro dato que debemos obtener son los rangos de máximos y mínimos de lluvia, para poder determinar cuál es el nivel de almacenamiento que se necesita.

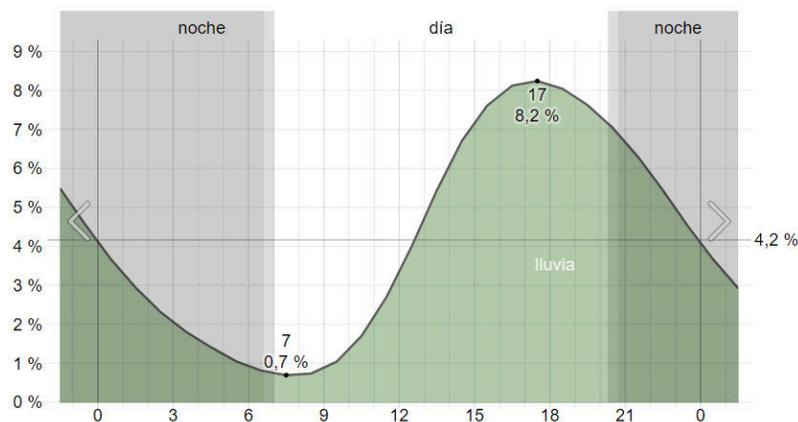
En la gráfica 26 podemos verificar que el promedio se encuentra en la línea sólida, teniendo como mínimos de lluvia los 4mm y a inicios de julio tenemos los máximos con promedios de 141 milímetros.



Gráfica 25: Precipitación De Lluvia Mensual Promedio. Fuente: weatherspark

Pero este valor contempla la lluvia de todo un mes, debemos obtener los valores diarios promedios de los días más lluvioso para saber cuánta agua máxima podemos obtener en promedio, por eso se obtuvo el valor de los días con más lluvias.

En la gráfica 27 podemos observar que en los días de julio que se registran las lluvias con más precipitación se encuentra que la mínima es de 7 mm y la máxima es de 17 mm, entonces podemos contemplar que el promedio máximo de lluvias para esta zona es de 17mm



Gráfica 26: Precipitación De Lluvia Por Día En Horas Promedio. Fuente: weatherspark

Aquí podemos encontrar las primeras contradicciones en las normatividades, ya que en NMX-AA-164-SCFI-2013 en el apéndice 9 en la metodología para el cálculo de agua pluvial en el inciso 1, nos pide que por lo menos recopilemos 10 años de información pluviométrica y en los Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda en el capítulo 5.1 de procedimientos para la determinación del consumo de agua en el punto 3, que se requiere analizar registros de precipitación de al menos 15 años. En el modelo de cálculo se presentarán los tres resultados utilizando los diferentes resultados utilizando el histórico, 15 años y 10 años, para que se puedan observar los diferentes resultados que se pueden obtener. Aunque para desarrollar el capítulo 6, donde se pone en práctica el método

propuesto, se considerara el modelo de 15 años que proponen en los lineamientos técnicos de CONAGUA, ya que a mi consideración es el modelo de cálculo más detallado y contempla factores que otros modelos de cálculo consultados.

### **5.1.2 Modelo de cálculo**

Al consultar a varios autores en el campo de métodos de cálculo pluvial y sistemas de Ecotecnias, se pudo encontrar que existen muchas formas de abordar la problemática desde la aplicación de cuestionarios, como el sistema ESPA (Arroyo, 2013) siendo de las pocas Ecotecnia encontrada que realiza este tipo de investigación previa con sus clientes antes de instalar un sistema, y otras que monitorean el uso del agua en familias para determinar su consumo (Hansel Michel Ramírez Flores, 2012).

En la tabla se resumen los métodos de cálculo y Ecotecnias consultadas, obteniendo conceptos e ideas para tomarse en cuenta y ser analizados en beneficio del modelo de cálculo propuesto. Los métodos que se adaptan mejor a las necesidades de esta investigación se encuentran marcados con azul en la tabla siguiente, siendo relevantes los siguientes modelos:

- Modelo Palacios: contempla detalladamente las isoyetas a 10 años, fenómenos naturales que en otros métodos no son tomados en cuenta como huracanes, frentes fríos, fenómeno del niño entre otros, además contempla datos de consumo del agua que podrían adaptarse a los datos que se obtendrán con el cuestionario diseñado en la investigación.
- Sistema Dávila: cuenta con un sistema de purificado de agua a través de métodos pasivos, condensación y vegetación
- Sistema IRRI: de los pocos sistemas que se realiza con poca inversión económica, tiene soluciones ingeniosas y puede ser instalado por personas sin capacitación previa.

Para poder desarrollar el método adecuadamente se utilizará la metodología planteada por (García, 2011) la cual plantea los pasos a seguir cuando, se desea diseñar un sistema de captación pluvial específico para un proyecto Arquitectónico.

En la tabla 36 se pueden ver las fuentes consultadas y descartadas.

Tabla 36:

*Fuentes consultadas para métodos de cálculo y modelos de Ecotecnias.*

calculo				
no.	modelo	país	ventajas	desventajas
1	sistema filtrante ESPA	España	lista cuestionario para obtener volumen de agua optimo lista de cálculo de necesidad de agua por proyecto	necesita cubiertas con pendientes mayores a 5% estándares españoles
2	criterios de cálculo JIMTEN	España	cálculo fácil de entender y realizar sistema ecotecnico fácil de instalar	formulas necesitan cubierta a gran pendiente valores ya prestablecidos por tablas producción de materiales en Francia
3	FERNANDEZ	Cataluña	fácil de desarrollar solo se concentra en sistema de almacenamiento	valores ya prestablecidos por tablas no contempla el consumo de agua por vivienda no soluciona sistemas ecotecnicos
4	UNATSABAR	Lima, Perú	contempla costos de cubierta si no se cuenta con ella se concentra más en el costo y materiales económicos	deja un poco a lado los valores de gasto de luz solo se enfoca a la captación pluvial enfoca en teja, material mas usado en el lugar
5	Modelo palacios	Antioquia, Colombia	análisis detallado de datos de lluvia a más de 10años contempla fenómenos meteorológicos contempla datos de demanda mensual formulas fáciles de entender	no es muy detallado en el consumo de agua
modelos de Ecotecnias				
no.	modelo	país	ventajas	desventajas
6	modelo Mesenza	Berlín Alemania	se piensa en un sistema con o sin filtro para el uso de agua plantea características específicas para el almacenaje	características arquitectónicas muy diferentes temperaturas diferentes a México calidad de agua diferente a México
7	modelo SCAPT	España	contempla un elemento de pre almacenamiento para el lavado del techo	por características de diseño , el almacenaje requiere material específico de la zona.
8	modelo SMAGEM	México	contempla Ecotecnias económicas	carece de cualquier calculo
9	ULTRAFILTRACIÓN	México	sistema complejo para el reutilizamiento de agua Económicamente viable	solo funciona en vivienda nueva
10	SCLAR y LEBOLEIRO	México	sistema para potabilizar el 100% del agua pluvial	sistema económicamente alto se necesitan por mínimo dos niveles de vivienda
11	BOJALIL	México	sistema se adapta a las necesidades de uso	el sistema completo con dos almacenes requiere instalación especializada
12	AQUA	Méx/Esp	se maneja como sistema alternativo al ya actual maneja sistemas de gestion de agua	solo se utiliza al momento de escases del suministro normal de agua economicamente alto
13	CONAFOVI	México	contempla un sistema de filtrado basico en canaletas	es una adaptación del sistema SCAPT
14	AGU/agua	España	se concentra en el almacenaje y mantener limpia el agua contempla conexiones al alcantarillado por excesos y el debido aislamiento para evitar contaminación	los demás elementos muy similares a otros sistemas
15	DAVILA	México	purificación de agua por medio de condensación limpieza de agua por separación de densidades proyecto adaptable a diferentes proyectos arquitectónicos limpieza de agua a través de vegetación	requiere asesoría profesional
16	IRRI	México	sistema graficamente entendible Económicamente viable y de facil instalacion no requiere de mano de obra especializada	no se enfoca en ecotecnias y cálculos

Fuente: creación propia

En México existen normas como la NOM-015-CONAGUA-2007 para la captación pluvial para infiltración de subsuelos y propuestas para la captación y el abastecimiento de agua a zonas rurales,

pero al darse por hecho que en zonas urbanas existe un suministro por parte del municipio, no hay norma que especifique como debería ser la captación pluvial en zonas urbanas en vivienda.

Lo más cercano a un modelo de captación pluvial para vivienda son los Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda, y su objetivo de estos lineamientos es establecer la metodología de cálculo, especificaciones y características generales que debe cumplir un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) a nivel vivienda para el abastecimiento de agua potable.

Estos lineamientos deberán ser aplicados a sistemas de captación de pluvial que vayan a ser instalados, o también para realizar cambios, modificaciones, mantenimiento o reparaciones a sistemas previamente instalados.

Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia son capaces de producir agua de alta calidad, sin embargo, es necesario que el proceso de captación sea el adecuado para que la calidad del agua almacenada sea la mejor posible, así también es necesario que desde el diseño y hasta el mantenimiento del sistema sea efectuado correctamente con la finalidad de mantener una calidad y cantidad adecuada

En la metodología del cálculo existen algunos valores que deberían cambiar al momento de extrapolarlo al uso urbano y a continuación se marcaran los puntos donde se cree que esto tendría que cambiar y el porqué de ello.

### **5.1.3 Procedimiento para la determinación del consumo de agua.**

1. Calcular la cantidad de ocupación permanente y temporal de la vivienda, según el INEGI, 2010. el promedio de ocupantes por vivienda particular habitada es de 3.9. Para efectos de un cálculo inicial se puede considerar una ocupación de 4 habitantes por vivienda, y para cada proyecto específico, se tendrá que utilizar la cantidad real de habitantes

Tabla 37:

*Promedio de ocupantes de vivienda en México.*

Indicador	Unidad de medida	Año	Valor
Población total <sup>a</sup>	Miles de habitantes	2010	112 337
Densidad de población <sup>a</sup>	Habitantes/km <sup>2</sup>	2010	57
Edad mediana <sup>a</sup>	Años	2010	26
Promedio de ocupantes por vivienda particular habitada. INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2010. Cuestionario básico.	Ocupantes	2010	<b>3.9</b>
Viviendas particulares habitadas propias INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2010. Cuestionario básico.	Por ciento	2010	76.4
Viviendas particulares habitadas con disponibilidad de agua (a) INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2010. Cuestionario básico.	Por ciento	2010	88.7

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/temas/vivienda/>

2. Calcular el consumo de agua para la vivienda siguiendo los siguientes parámetros. Dependiendo el parámetro que usemos se deberá utilizar el que pide el Reglamento de construcciones para el distrito federal que es de 150 o 200 lt/hab./día, el que nos da CONAGUA en la NMX-AA-164-SCFI-2013 que dependiendo la clasificación de la vivienda y el clima en el que se encuentre tendrá un valor distinto que en el caso, y el método que se propone, que es extraer la información del inventario nacional de vivienda para saber la cantidad de personas que viven en el área donde se aplicaría la captación pluvial. (En este parámetro se considera que el uso de agua sea en vivienda en área urbana y en los casos de vivienda rural puede las recomendaciones que dan es seguir los parámetros ofrecidos por la OMS que van de los 50 a 100 lt/hab./día, pero puede cambiar por el tipo de costumbres y educación que se tenga la zona de estudio, por esta razón en la experimentación se realizarán simulaciones con los valores obtenidos de la encuesta mencionada anteriormente)

Tabla 38:

*Clasificación de climas de CONAGUA según temperatura.*

<b>*Clasificación de climas por su temperatura</b>	
TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	TIPO DE CLIMA
Mayor que 22	Cálido
De 18 a 22	Semicálido
De 12 a 17.9	Templado
De 5 a 11.9	Semifrío
Menor que 5	Frío

Fuente: NMX-AA-164-SCFI-2013

Tabla 39:

*Tabla de consumo de agua en vivienda según clima y nivel de vivienda.*

<b>Consumos domésticos per cápita</b>			
CLIMA*	CONSUMO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (l/Hab/día)		
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100

Fuente: NMX-AA-164-SCFI-2013

3. Restar la cantidad de agua pluvial anual que se podrá captar y al tamaño del tanque de captación que se utilizará. Para cálculos de captación pluvial se requiere analizar registros de precipitación de al menos 15 años, en el caso no encontrar actualizados los datos, se podrán consultar directamente en la dependencia de CONAGUA. La precipitación permitirá determinar el área mínima requerida para captar el volumen necesario que permita brindar la dotación establecida. En este punto el RCDF recomienda colocar un almacenaje que abastezca el consumo total de 2 o 3 días.

4. Para poder determinar si la instalación de un sistema de captación de agua de lluvia y escurrimientos pluviales es factible en una vivienda, se debe de realizar el siguiente análisis:

a). Recopilar la información pluviométrica de la zona de por lo menos 15 años anteriores. Con esta información, se obtiene la precipitación anual promedio con la siguiente expresión:

$$\bar{p} = \sum_{i=1}^n \frac{(p_i)}{n}$$

Donde:

$\bar{p}$ : Precipitación promedio anual con distribución mensual, en mm.

$p_i$ : Precipitación en el año "i" en mm.

n: número de años

(que en el caso anterior se hace la misma observación del histórico pluvial).

5. Después de la obtención de las láminas de lluvia promedio, se obtiene el volumen anual promedio de captación (VA) con una distribución mensual; para esto se tiene que definir el área de influencia de las instalaciones de captación (superficie de captación en su proyección horizontal). Este volumen se obtiene con la siguiente expresión:

$$V_A = \frac{\bar{p} * A * k_e}{1000}$$

Donde:

VA: Volumen promedio de captación anual con distribución mensual, en m<sup>3</sup>.

$\bar{p}$ : Precipitación promedio anual con distribución mensual, en mm.

A: Área de la proyección horizontal de las instalaciones de captación, en m<sup>2</sup>.

$k_e$ : Coeficiente de escurrimiento de acuerdo al material de las instalaciones de captación, adimensional, para el caso se consideró 0.95.

Tabla 40:

*Coefficiente de escurrimiento*

Material o tipo de construcción	Kc
Cubiertas metálicas o plásticas (PVC, Polietileno)	0.95
Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros (p. ej. Tejas)	0.9
Concreto hidráulico	0.9
Lámina metálica corrugada	0.8

Fuente: (CONAGUA, 2016d)

5b. Otro parámetro que podemos considerar para saber el volumen de almacenamiento podría ser calcular el consumo total de los habitantes y multiplicarlo por 3, de esta manera se pueden reducir los costos de almacenamiento.

6. Después se tiene que obtener la demanda de agua anual con distribución mensual de la vivienda (DA), de acuerdo al uso asignado al recurso (excusados, aseo personal, preparación de alimentos, etc).

$$DA = \frac{Ca * Ov * Dm}{1000}$$

Donde:

DA: Demanda de agua mensual de la vivienda, en m<sup>3</sup>/mes

Ca: Consumo de agua, en L/hab./día

Ov: Ocupación de la vivienda, hab./vivienda

Dm: Días del mes, días

7. Obteniendo estos valores se calcula el funcionamiento del almacenamiento (tanques)

$$Alm_n = Alm_{n-1} + V_A - DA$$

Donde:

$Alm_n$ : Volumen de almacenamiento mensual en el tanque, en m<sup>3</sup>

$Alm_{n-1}$ : Volumen de almacenamiento en el tanque del mes anterior, en m<sup>3</sup>

$V_A$ : Volumen de captación mensual, en m<sup>3</sup>

$DA$ : Demanda de agua mensual de la vivienda, en m<sup>3</sup>

8. Del cálculo anterior se determina la cantidad de días al mes que satisfizo dicho funcionamiento

$$F_s = \frac{Alm_{n-1} + V_A}{DA}$$

Donde:

$F_s$ : Factor que determina si satisface la demanda mensual

Si  $F_s > 1$  Satisface el total de días del mes

Si  $F_s < 1$  no satisface el total de días del mes

Para determinar la cantidad de días satisfechos mensualmente, se realiza el siguiente cálculo:

$$D_s = F_s * D_m$$

Donde:

$D_s$ : Días satisfechos de la demanda mensual

$D_m$ : Días del mes en cuestión

9. De los cálculos anteriores se determinan los días satisfechos anualmente

$$D_{sa} = \sum_{i=1}^{12} D_{s_i}$$

10. Al final se obtiene cuantos días satisface  $D_{sa}$ , la precipitación promedio anual  $\bar{p}$ .

El objetivo del cálculo es determinar para cada caso particular, la distribución temporal de las lluvias, el área de captación necesaria, el tamaño del depósito del filtrado el agua de forma que este aislada del entorno para evitar contaminación, se es consciente que el funcionamiento de los sistemas de captación pluvial dependen de la época de lluvias, pero como se puede ver en las imágenes de la 21 a la 24, no importa el modelo de precipitación usemos existe lluvia en todo el año y una de las misiones de las instalaciones sustentables es aprovechar el recurso al máximo.

## 5.2 Conclusiones de capítulo

Este método propuesto retoma puntos de otros métodos propuestos que al irlos analizando, se encontraron factores que se consideran importante como la separación de las primeras aguas, considerar factores de escurrimiento dependiendo el material de la cubierta y principalmente el consumo actual de los habitantes según la región, y que en otros métodos no son considerados, con esto pretendemos determinar la dotación de agua correcta para las viviendas que puede ir cambiando con el tiempo y la evolución de la cultura del agua que se vaya modificando.

Un dato importante a tomarse es ¿Cuándo se puede instalar un sistema de captación pluvial y cuando no? ¿Debe de existir un mínimo de precipitación para poder implementarlo? Y esto nos lo respondió Enrique Lomnitz director general de isla urbana en el 1er encuentro de captación y manejo de lluvia en la ciudad de México, que, por su experiencia en el manejo e instalación de sistemas, el utiliza un rango mínimo de 420 a 450 mm de precipitación total anual, esto para que el costo beneficio tenga un resultado positivo al usuario.

## Capítulo 6: Aplicación de Método

Como se comentó en el capítulo 1 con respecto a la situación del agua en Nezahualcóyotl y en el capítulo 3 las causas del porque se seleccionó este lugar, la finalidad de este método, es que se pueda aplicar a cualquier área urbana, donde el único requisito es que exista una precipitación pluvial superior a los 450mm y se recomienda aplicarlo donde exista una gran densificación de vivienda para aumentar el área de captación, como se encuentra en la mayor parte de ciudad Nezahualcóyotl.

Otra de las ventajas de este método es que al habituarnos al uso de los softwares utilizados y las herramientas como el drone y procesos de información en la computadora, podremos realizar un análisis del sitio de 2 o 3 Ha en menos de 24 horas y así obtener un presupuesto rápidamente para saber la factibilidad de implementación de los sistemas de captación pluvial en ese lugar.

Cabe resaltar que la propuesta de geotecnia que se hace en este trabajo y se explica en el capítulo 2, se centra en que sea económicamente viable. Se utilizan materiales comerciales de fácil acceso, para que sea más sencilla su adquisición. Al ser materiales populares, la mano de obra no tiene que ser especializada y a causa de esto eleve los costos en presupuesto. También se analizaron tuberías de polipropileno mineralizado, PVC-O, CPVC, PEX, Polipipe o tradicionales como cobre o fo.fo, pero en la actualidad el que mantienen la mejor proporción costo / resistencia es el PVC, se considera que es un material que no contamina el agua al contacto con el material, pero tiene un impacto ecológico al crearse, y otras opciones más ecológicas como el uso de Polietileno reciclado (PEAD) se encuentra en fases de prueba o pequeños distribuidores.

A continuación, se muestra la aplicación del método de captación pluvial comunitaria para viviendas.

## 6.1 Ubicación de zona de trabajo

El área seleccionada es una manzana ubicada en el Estado de México, en el Municipio de Nezahualcóyotl, colonia Prados de Aragón, entre las calles de Prados de Cedro y Prados de Caoba, cuenta con una extensión de 48.00 metros de un lado y 225.00 metros del otro lado y un área de 9,784.36 metros cuadrados, aunque tiene 5 vértices por la extensión de dos viviendas, puede considerarse un polígono de 4 lados.



*Ilustración 51: Ubicación De Manzana Para Estudio. Fuente: Google Earth 2019*

Su ubicación en coordenadas con Datum WGS 1984 y proyección UTM Zona 14 N es:

Tabla 41:

*Tabla de coordenadas de ubicación*

Puntos	Punto	Punto Y	Dirección	Distancia
1	494949.505	2152754.8	257.785	43.249
2	495165.367	2152707.27	167.6315	216.444
3	495156.217	2152665	90.3462	22.444
4	494944.796	2152711.37	77.0087	21.547

5	494944.661	2152733.81	347.5822	221.033
---	------------	------------	----------	---------

Fuente: creación propia

Y su ubicación con la clasificación de INEGI es:

Tabla 42:

*Ubicación con clasificación INEGI*

Ubicación	Clave
Estado	015
Municipio	058
AGEB	2056
Manzana	011

Fuente: creación propia

## 6.2 Características de vivienda, población y consumo de agua.

Conforme se explica en el capítulo 3 de consumo real de agua y características de su población debemos de obtener los datos de la cantidad de viviendas y población que se encuentran en el área de estudio, que al seguir los pasos de cómo obtenerlos se pudieron obtener los siguientes datos de la manzana 011 de la AGEB 2056:

Tabla 43:

*Datos de vivienda y población del área de estudio.*

Clasificación	Cantidad
Total de viviendas	104
Población	352

Fuente: creación propia

Así también como se explica la forma de obtener el consumo real de agua de una zona determinada a través de un cuestionario, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 44:

*Tabla de consumo real de agua de la zona de estudio*

Cálculo	Gasto diario	Gasto semanal
Promedio	557.12	3,899.86
Mediana	474.79	3,323.50
Desviación estándar	361.98	2,533.85
varianza	131,028.57	6,420,399.98

Fuente: creación propia

### **6.3 Cálculo de áreas efectivas de cubiertas para captación pluvial**

Como se explica en el capítulo 4 de áreas de cubierta para captación pluvial, en el apartado de método para planear el levantamiento de información con dron, se siguieron los pasos explicados ahí para obtener los siguientes resultados:

#### **Datos climatológicos:**

Para realizar este paso se utilizaron las aplicaciones de Magnetology para obtener disturbios de energía electromagnética generada por el sol que altera equipos de comunicación y obtención de resultados y UAV Forecast, para datos del clima en el lugar donde estemos ubicados, se obtuvo información para el día 8 de octubre de 2018 que fue programada la misión de vuelo del dron, obteniendo los parámetros:

Tabla 45:

*Datos climatológicos para planeación de vuelo de drone*

Punto de método	Concepto	Rango obtenido
A	K <sub>ps</sub>	3
B	Satélites localizados	14
C	Velocidad de viento	1 km/h
D	Prob. Precipitación	1%
E	Restricción de vuelo	Aeropuerto cercano

Fuente: creación propia

A continuación, se anexan las capturas de pantalla donde se obtuvieron estos datos para corroboración de los mismos:



Ilustración 52: Capturas De Pantalla De Aplicaciones Magnetology Y UAV Forecast. Fuente: creación propia

## 6.4 Planeación de vuelo

después de confirmar que el clima fuera apto para realizar la misión de vuelo, se procedió a realizar la programación de vuelo, este se realizó con un dron Mavic pro y un celular Huawei p20 y se utilizó con la aplicación Pix4Dcapture, en la cual se optimizo para obtener la mejor resolución e información posible, lo cual nos llevó a realizar un vuelo a 45m de altura para obtener una resolución de 1.57 cm/pixel, un overlap de 80% y con una velocidad lo más lenta que da de rango la aplicación para mejorar los datos de posicionamiento.

El vuelo se realizó a las 13:05pm con una duración de 21 min, se obtuvieron 241 imágenes de 4000 x 3000 pixeles, con un peso aproximado de 5mb cada una, al final la carpeta de almacenamiento tenía un peso de 1.16 GB

Information			
Drone	Date	Time	Type
Mavic Pro	8 oct 2018	1:05:23 p. m.	Double Grid
Location	Dimensions	Overlap	Camera Angle
19.468847°, -99.047127°	57 m x 235 m	80% (72%)	80°
Altitude	Images	Path	Flight time
45 m	241	2272 m	20min:57s

*Ilustración 53:* Captura De Pantalla De Información De Aplicación Pix4Dcapture. Fuente: creación propia

Después de revisar que la información que se había obtenido de la misión de vuelo fuera correcta, se hizo una copia de respaldo y se procedió al procesamiento.

## 6.5 Procesamiento de imágenes

Para poder generar la imagen de ortomosaico y el modelo de elevación digital se utilizó el software Agisoft Metashape Professional versión 1.5, en el cual se siguieron los siguientes pasos y configuraciones para poder llegar al resultado final:

- Se añadieron las 241 imágenes en un solo Chunk obteniendo 227,845 puntos
- Después de optimizar las cámaras, se realizó una alineación de photos con parámetros de accuracy en nivel high, activando generic preselection y reference preselection
- Para construir la nube densa de puntos se hizo con quality en nivel ultra high y Depth filtering aggressive
- Para la construcción de mallas, en los datos de Surface type se utilizó arbitrary 3d, source data dense cloud y fase count en high; y activando la interpolación.
- Para general el DEM, se utilizó la proyección WGS 84(EPSC:4326), se usaron los parámetros de source data de Dense cloud y con la interpolación activa.
- Y para el ortomosaico se utilizó la misma proyección del DEM y los parámetros de Surface de DEM.

Con estos parámetros se crearon las imágenes del modelo de elevación digital de un tamaño de 6640 x 3758, para obtener una resolución final de 5.87 cm/pix y un ortomosaico de medidas 21,251 x 11,227 para tener una imagen final de 1.47 cm/pix., Si se requiere más información con respecto a los resultados obtenidos en este proceso de fotogrametría, se puede ver el informe en la parte de anexo de este trabajo. Estos datos fueron exportados como GEOTIFF para poder utilizarse en el siguiente proceso en el software ArcMap de ArcGIS.

El archivo raster obtenido puede clasificarse como falso LIDAR, ya que fue obtenido de manera indirecta por medio de una superposición de imágenes y metadatos de geoposicionamiento obtenidos por el drone en su misión de vuelo.

Técnicamente esta imagen obtenida debería de llamarse Modelo digital de superficie (MDS) ya que obtiene un plano de elevaciones de todos los elementos existentes al momento de pasar el drone por la zona, capturando parte de la superficie topográfica, pero también, vehículos, árboles y personas.

Teniendo las imágenes las podemos usar para procesarlas en un programa de sistemas de información geográfica (SIG) que en este caso utilizaremos ArcMap.

Como primer paso para ver si están correctamente georreferenciadas descargamos la información de la división política del Estado de México, división de sus municipios, y del municipio de Nezahualcóyotl su división de AGEB, todo esto se puede descargar de la página de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>, donde podemos encontrar distintos tipos de mapas, pero en este caso solamente buscamos los archivos shapefile (SHP).

Para poder utilizar estos mapas de manera correcta debemos de utilizar un sistema de proyección y datum que se adecue a lo que necesitamos; anteriormente en 1968 existía La Comisión de Estudios del Territorio Nacional ( CETENAL), que utilizaba el DATUM North América Datum 1927 ( NAD27), pero dejó de usarse porque estaba pensado para el territorio de Estados Unidos y Canadá, quedando el territorio mexicano muy alejado y teniendo errores de cálculo, aunque en algunos territorios de la frontera se sigue utilizando.

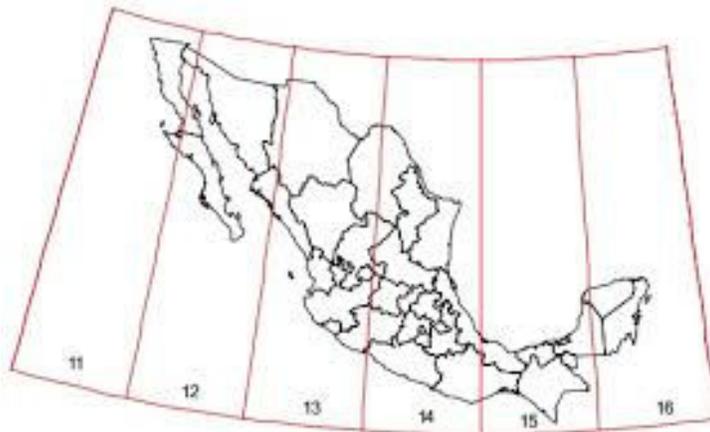
Posteriormente cuando se institucionalizó el INEGI como entidad oficial, se empezó a utilizar MEXICO\_ITRF\_2008\_LCC para toda la república mexicana, y ha tenido actualizaciones, en el 2016 se oficializó el ITRF08 época 2010 el actual.

Actualmente se utiliza más el WGS84, ya que la mayoría de los programas SIG lo detectan automáticamente y para el ITRF se tiene que instalar un pack aparte.

Para explicar la diferencia entre las dos proyecciones cito la explicación de (GISGeek, 2014) que fue la más corta y entendible que encontré, “Qué WGS84 a diferencia de ITRF no cuenta con una red activa como el ITRF en el territorio nacional, para ser más explícitos: ITRF92 después de posicionarse en el territorio, se reposiciona o mejora su ubicación después de mandar señales a las antenas pertenecientes dicha red, es decir el usuario tendrá mejor posicionamiento.

Posteriormente tenemos que trabajar con el mismo sistema de proyección y datum, de aquí en adelante se trabajó en WGS84.

Después de seleccionar el datum correcto debemos especificar la posición que en este caso se utiliza Universal Transversa de Mercator o (UTM) que simplemente es la división del planeta en 60 zonas norte y sur, ubicando a México entre las zonas 11 y 16 de la parte norte del planeta.



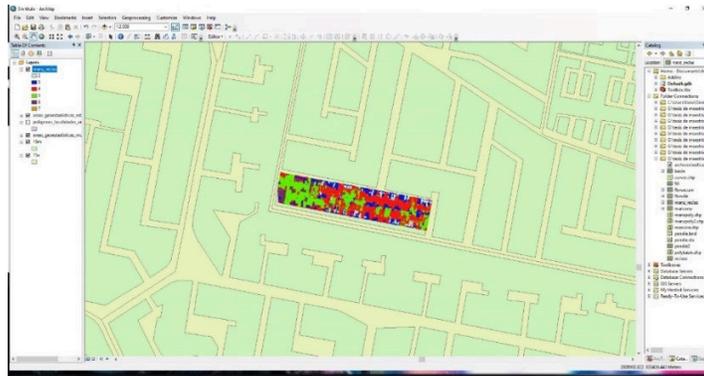
*Ilustración 54:* División UTM De La República Mexicana. Fuente: (GISGeek, 2014)

Y para este trabajo se utilizó WGS84 UTM Zona 14 N, que es un método de proyección cilíndrica, con dos líneas de contacto paralelas con una distancia de 180 km.

Se uso este método porque entre sus propiedades nos ayuda a representar de manera exacta formas pequeñas reduciendo la distorsión. También es el mejor método para reducir la distorsión de cálculo de áreas teniendo un error de escala de menos del 0.1% dentro de la zona de trabajo (Olaya, 2014), unas de sus limitaciones es que no se pueden realizar cálculos entre zonas UTM, pero para este caso no es un impedimento, ya que solo se trabaja a escala urbana.

Se recomienda su uso de UTM entre las escalas de cartografía a escala de 1:250,000 y 1:50,000.

Después de esta breve explicación del método de datum y proyección, tenemos que verificar que toda nuestra información trabaje sobre el mismo método.



*Ilustración 55:*Uniendo Mapas De INEGI Con Datos Capturados Con Drone. Fuente: creación propia

Para los geoprocensos, para obtener las curvas de nivel a cada metro se utilizó:

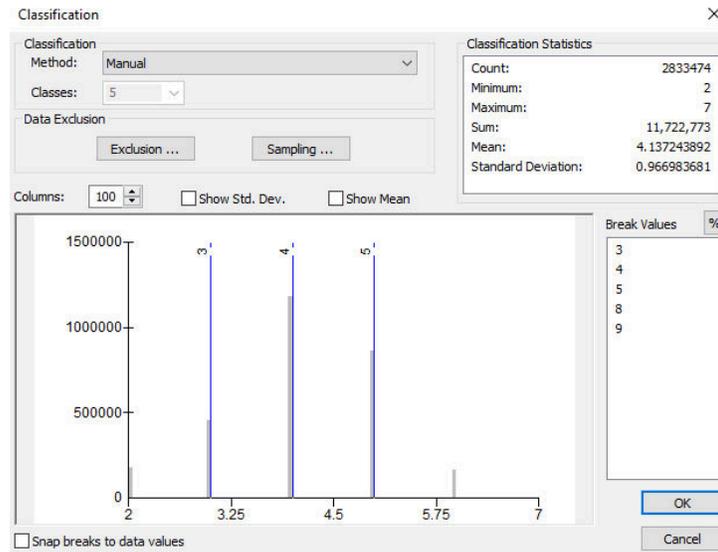
ArcToolbox>SpatialAnalyst Tools>Surface>Contour

ArcToolBox>Cartography Tools>Generalization>Smooth Line

Posteriormente para poder realizar una reclasificación de alturas a través del DEM, se utilizó:

ArcToolBox>SystemToolBox>3DAnalistTools>RasterReclass>Reclassify

Cabe mencionar que esta es la parte difícil, ya que al ser un software que maneja escalas muy grandes, la reclasificación de altura con la diferencia de solo 50 cm, lo hace un poco tardado, y se tiene que hacer a prueba y error, hasta que salga un resultado esperado como se puede ver en la gráfica de configuración de la reclasificación.



*Ilustración 56:* Configuración De Reclasificación De Alturas En ArcMap. Fuente: creación propia

Posteriormente el archivo raster se vectoriza y solo se hace un cálculo de las áreas de cada color, dentro de la tabla de atributos, en calculador de geometría, para obtener el área de cada color.

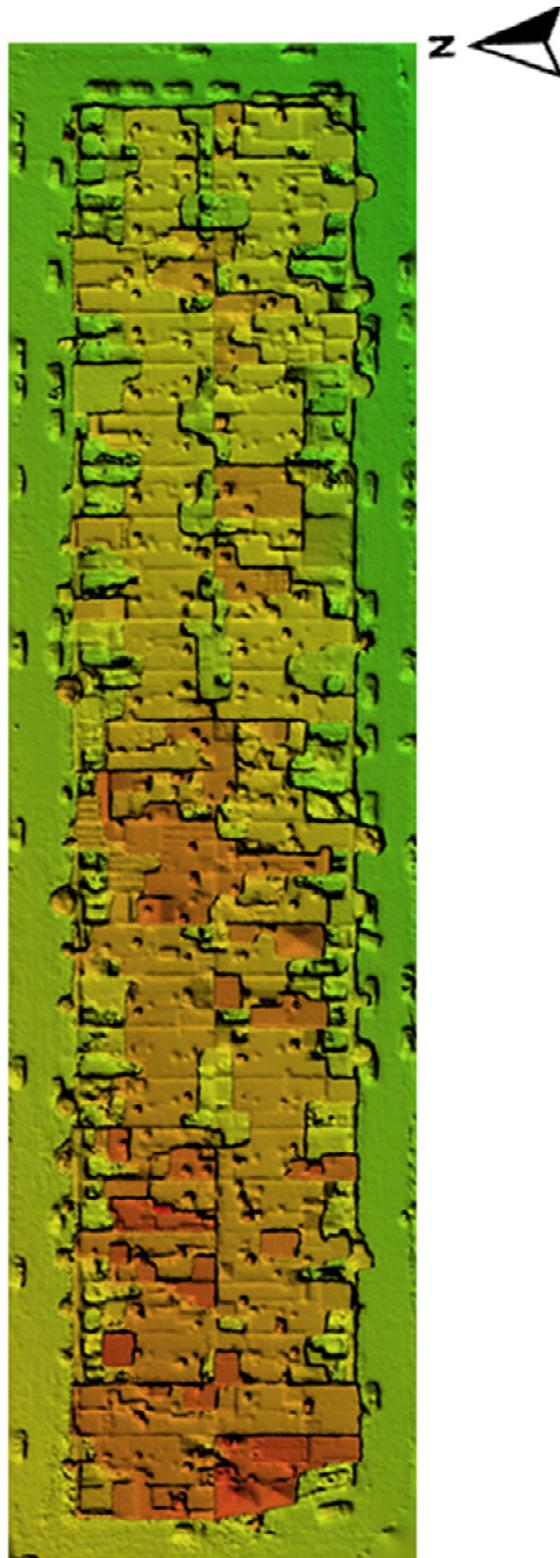
Table					
manzpoly					
	FID	Shape *	Id	gridcode	area
▶	2	Polygon	13	3	2174.100195
	0	Polygon	1	4	4069.809133
	1	Polygon	4	5	2962.219692
	3	Polygon	80	6	578.229094

*Ilustración 57:* Obtención De Áreas De Cubiertas A Través De Arcmap. Fuente: creación propia

A continuación, se muestran las imágenes resultantes de este proceso:



*Ilustración 58:*Ortomosaico Generado A Través De Fotogrametría. Fuente: creación propia



*Ilustración 59:*Modelo De Elevación Digital Generado A Través De Fotogrametría. Fuente: creación propia

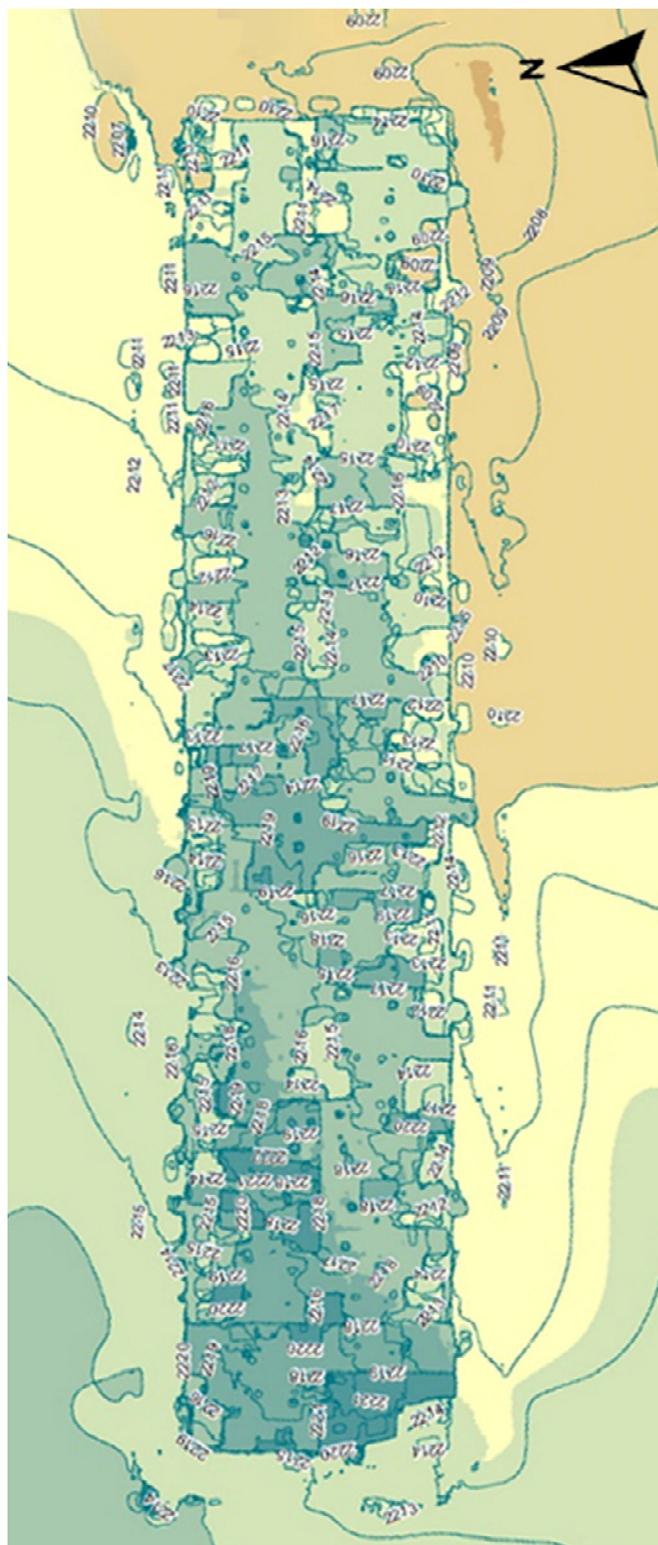


Ilustración 60: Curvas De Nivel A Través De Geoproceso En ArcMap. Fuente: creación propia



Ilustración 61: Reclassificación De Las Alturas De Viviendas En ArcMap. Fuente: creación propia

Se obtuvieron los resultados del cálculo de áreas para captación pluvial en la tabla 46, en este caso se descarta el nivel de piso, ya que se requiere otro tipo de geotecnia para aprovechar el agua a este nivel, al ser de las áreas más contaminadas, que quiere evitar el filtrado de agentes contaminantes complejos, como heces fecales de mascotas, aceites, detergentes u otro tipo de factor que pueda alterar la calidad de agua.

Tabla 46:

*Resultado de áreas obtenidas para captación pluvial*

Nivel de vivienda	área
Nivel de piso	1635.0861
Primer nivel	4296.1496
Segundo nivel	2869.0797
Tercer nivel	474.5604
total	7639.7897

Fuente: creación propia

## 6.6 Cálculo de captación pluvial

Al ya saber cuál es el área de captación efectiva de toda la manzana a la que se va a intervenir, solamente debemos de seguir los pasos de cálculo del capítulo 5, en la tabla 47 se muestran los resultados del agua que podemos obtener con los tres tipos de datos pluviales obtenidos de las estaciones meteorológicas:

Tabla 47:

*Cantidad de agua captada por mes en litros*

Meses del año	histórico	15 años	10 años
Enero	81,951.07	48,646.36	51,006.01
Febrero	161,381.01	325,311.80	331,726.61
Marzo	151,299.35	179,467.25	133,778.27
Abril	353,044.23	552,342.47	475,431.06
Mayo	452,285.10	535,797.55	387,795.73
Junio	1,020,513.56	1,087,237.57	1,004,118.40
Julio	1,133,663.62	1,577,482.88	1,564,684.49
Agosto	1,044,865.39	1,576,408.53	1,335,720.00
Septiembre	861,919.45	1,081,049.34	1,070,688.75
Octubre	659,126.92	471,938.46	404,110.15
Noviembre	571,947.87	664,019.96	820,659.26
Diciembre	529,361.03	1,407,386.78	1,165,949.98
<b>Total acumulado</b>	<b>7,021,358.59</b>	<b>9,507,088.95</b>	<b>8,745,668.71</b>

Fuente: creación propia

Se puede notar que dependiendo el método de cálculo utilizado podemos obtener distintas cantidades de agua, y para este cálculo se toman los datos de 15 años, ya que es el que propone la norma de CONAGUA y es el que al parecer es el más similar al comportamiento de la precipitación actual de esta zona de estudio.

Contemplando que con los datos obtenidos anteriormente debemos satisfacer a 352 personas de agua en su vivienda, y dependiendo la necesidad de agua según la institución que se contemple

como RCDF, CONAGUA o este método propuesto de gasto real de agua, obtenemos los siguientes porcentajes de cómo se satisface esta necesidad.

Tabla 48:

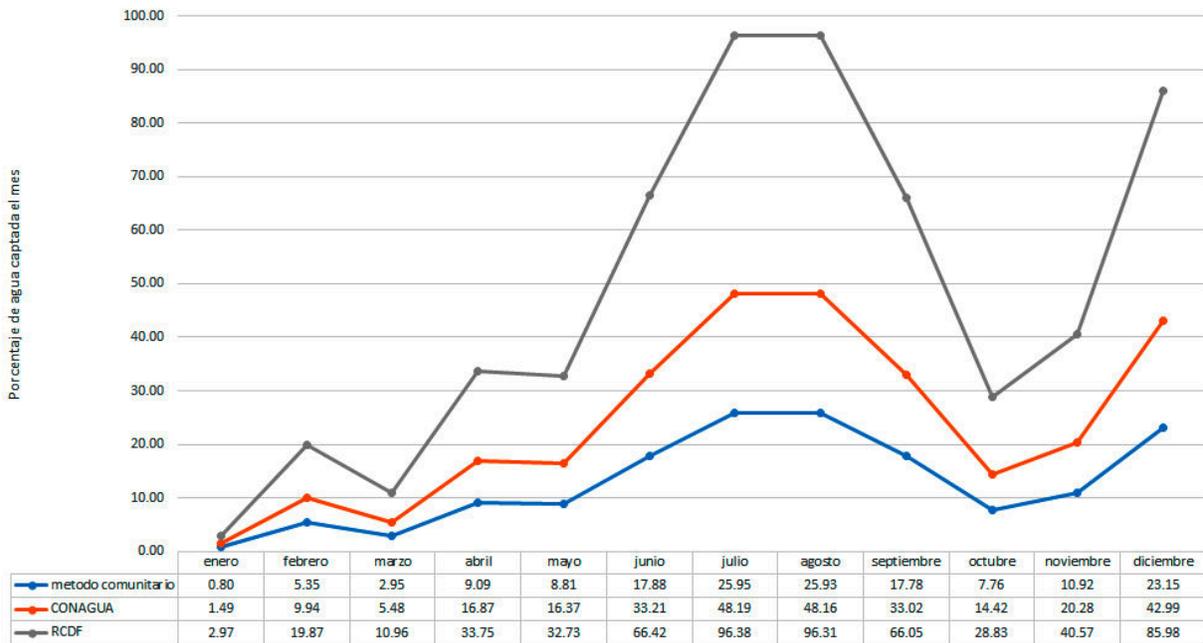
*Porcentaje de agua que se satisface con captación pluvial*

Meses del año	RCDF	CONAGUA	Método propuesto
	150L/hab/día	300L/hab/día	557L/hab/día
Enero	2.97	1.49	0.80
Febrero	19.87	9.94	5.35
Marzo	10.96	5.48	2.95
Abril	33.75	16.87	9.09
Mayo	32.73	16.37	8.81
Junio	66.42	33.21	17.88
Julio	96.38	48.19	25.95
Agosto	96.31	48.16	25.93
Septiembre	66.05	33.02	17.78
Octubre	28.83	12.42	7.76
Noviembre	40.57	20.28	10.92
Diciembre	85.98	42.99	23.15
promedio	<b>48.40</b>	<b>24.20</b>	<b>13.03</b>

Fuente: creación propia

Al comparar los resultados podemos ver la diferencia de cantidad de agua obtenida, existe una gran brecha entre captar el 48.4% de agua entre el RCDF y el 13.03% del gasto real de agua de la zona.

Para ver mejor el comportamiento se presenta la siguiente gráfica:



Grafica 27: Porcentaje De Agua Que Se Satisface Con Captación Pluvial. Fuente: creación propia

Como resultado tenemos que en esta manzana de estudio podemos obtener 9,507,088.95 litros de agua por medio de captación pluvial y en promedio podemos satisfacer el 13.03% del total de agua necesaria para realizar todas las actividades con respecto al consumo de agua en vivienda.

### 6.7 Estudio de tipología de viviendas

Al tener los resultados para poder hacer los cálculos para saber cuánta agua se va a poder obtener; es necesario entender la tipología de la vivienda en la cual se va a implementar los sistemas de captación pluvial.

En este caso, son viviendas tipo dúplex de planta baja y primer nivel, estas fueron creadas en los años 80's, al no contar con una normativa de diseño en conjunto, los usuarios fueron realizando diferentes tipos de ampliaciones dependiendo sus necesidades particulares y olvidándose de la imagen urbana, paisajística o responder a algún tipo de lectura en materiales.

Para el diseño original las viviendas cuentan con un predio de 8.00 m de frente, por 19.50 m de fondo, con un área de 156 m<sup>2</sup>, tomando en cuenta que son casas dúplex, a cada usuario les corresponden 78.00 m<sup>2</sup>.

Estas viviendas cuentan con un patio de acceso donde pueden guardad un vehículo, sala / comedor, cocina, cuarto de lavado, dos recamaras, un baño completo y un patio trasero. La única diferencia de diseño es que dependiendo de la casa cuentan con un patio frontal más grande que otra y esto se ve afectado en el patio trasero.

En las cubiertas de casas que no cuentan con alguna modificación, se tiene un área efectiva de 74.52 m<sup>2</sup>, dando para cada vivienda 37.26 m<sup>2</sup>.

Es importante analizar este diseño para poder determinar cuál va a ser la trayectoria de la tubería de este sistema. Actualmente no existe una casa con el diseño original y todas cuentan con algún tipo de ampliación. A continuación, se presentan algunos tipos de ampliaciones que se detectaron en la manzana.

En las imágenes se muestra el diseño de la planta arquitectónica original.

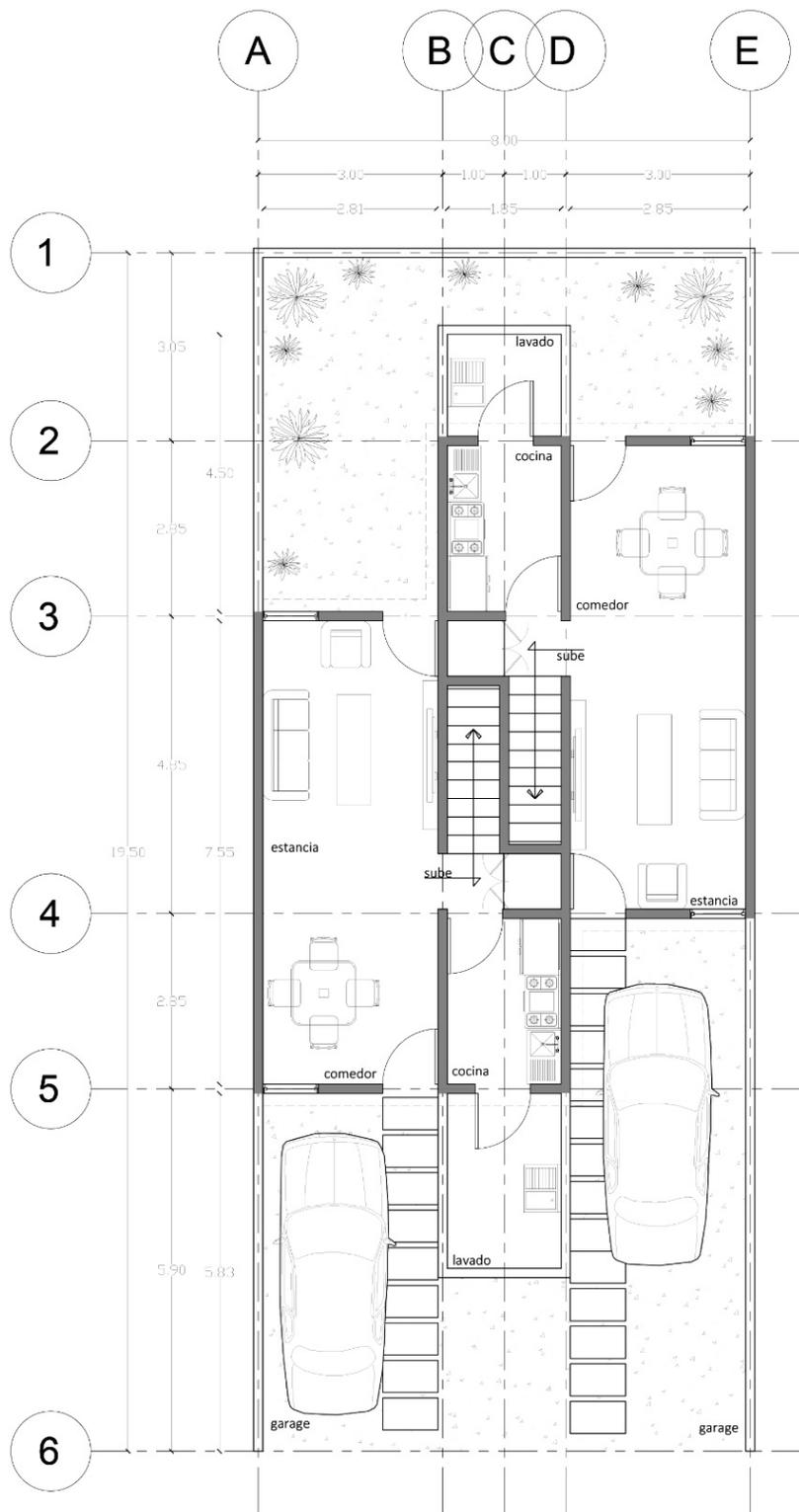
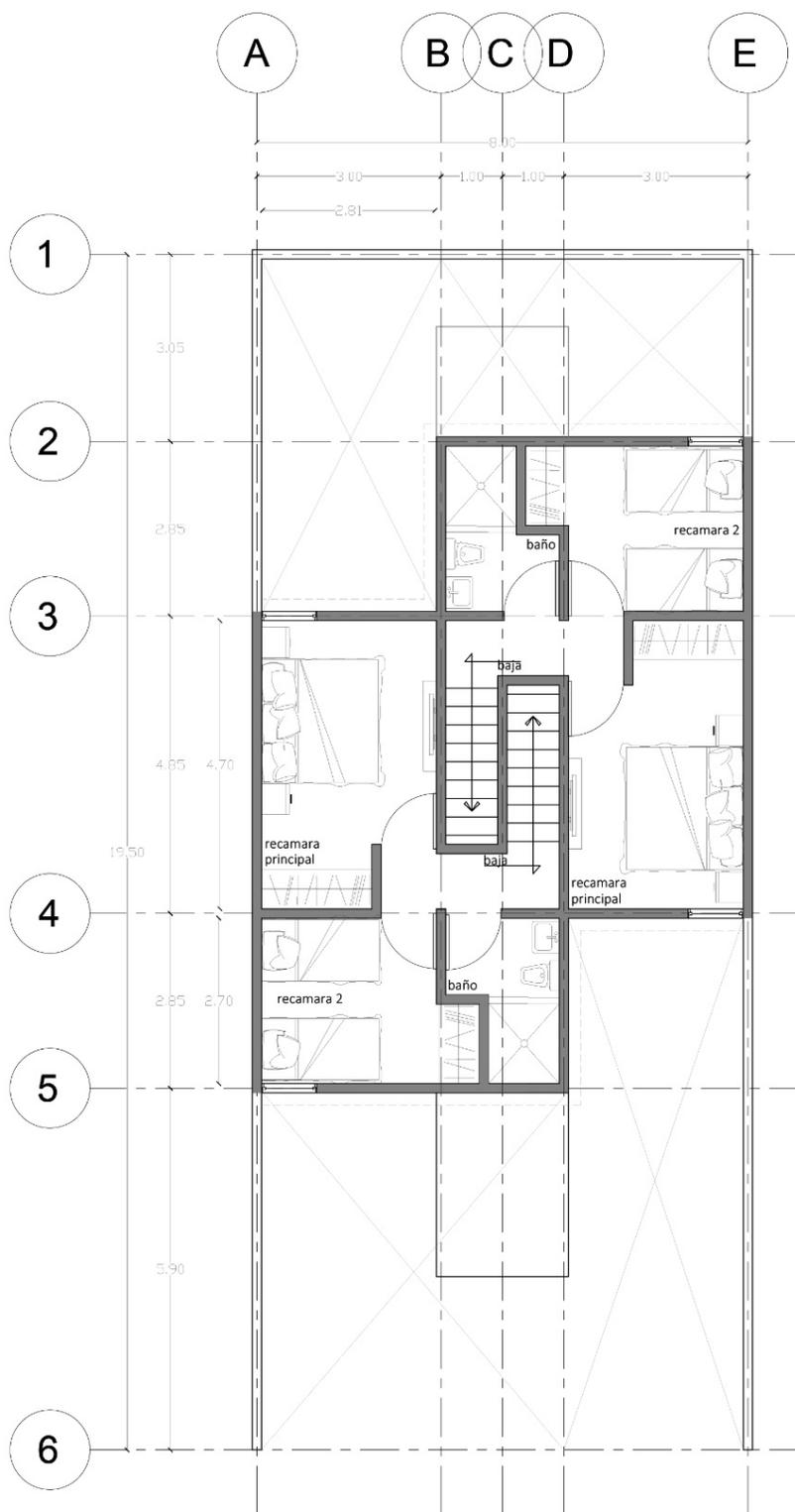


Ilustración 62:Planta Baja De Diseño Original De Viviendas De Manzana De Estudio. Fuente: captura digital de planos originales entregados a los dueños



*Ilustración 63:* Planta Alta De Diseño Original De Viviendas De Manzana De Estudio. Fuente: captura digital de planos originales entregados a los dueños

En el primer caso se encuentran las viviendas en las cuales tienen la menor intervención, que es llegar sus muros colindantes hasta el límite frontal de sus predios, instalar una puerta que en el mayor de los casos sirve como acceso vehicular y construyen una marquesina para remarcar el acceso, como se puede ver en la imagen 64:



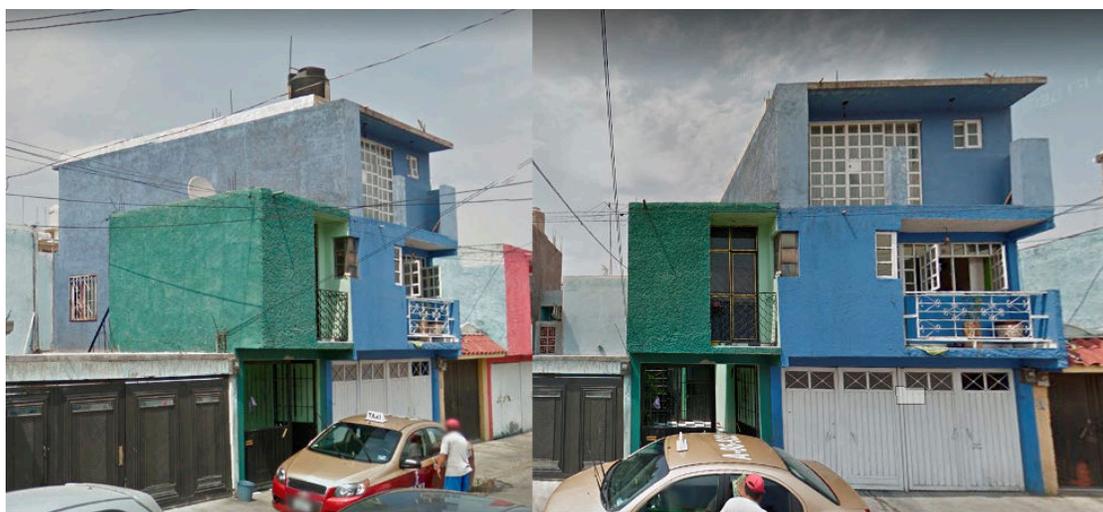
*Ilustración 64:* Viviendas Que Cuentan Con La Menor Ampliación. Fuente: creación propia

En el segundo caso se observa que existe una ampliación de la recámara principal y/o la sala, no existe algún eje rector que lo delimite y esto queda a consideración de los usuarios de la vivienda, encontrando casas con diferentes distancias de la fachada al límite frontal del predio como se puede notar en la imagen 65:



*Ilustración 65:* Viviendas Con Diferentes Profundidades En Fachada. Fuente: creación propia

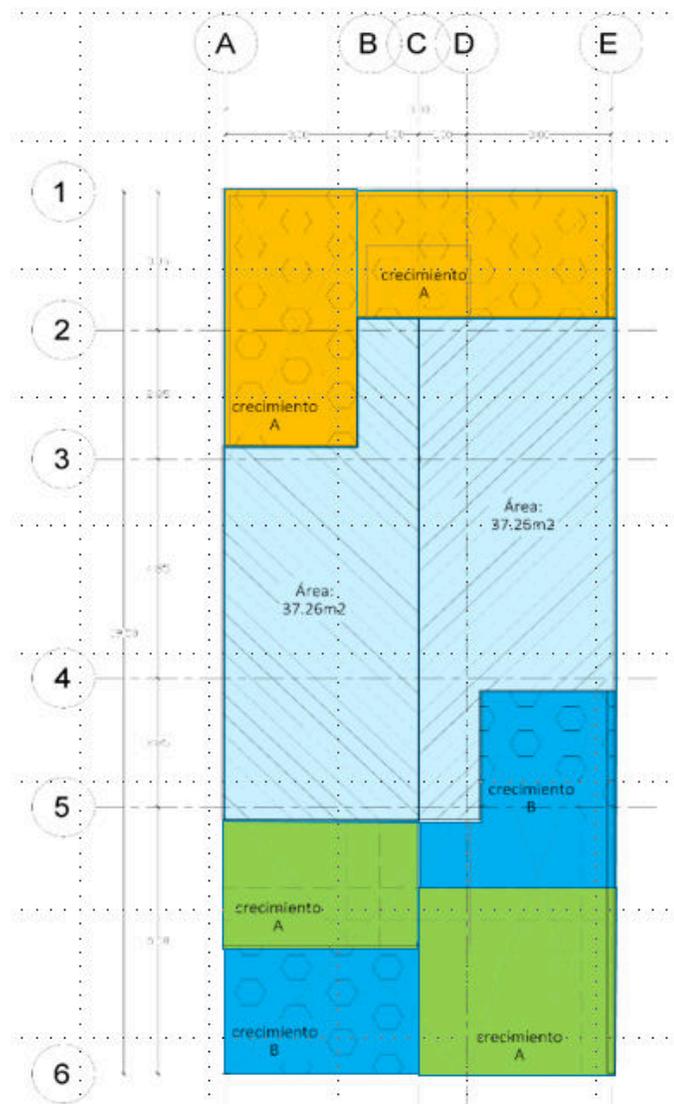
En el tercer caso, son viviendas que decidieron construir hasta el límite de su predio, pero con una variante, en el caso de la imagen 66 podemos ver la casa de color verde que realizó un cuarto independiente y si comunicación con la vivienda principal y la vivienda contigua, aparte de construir al límite frontal del predio, construyó un nivel extra.



*Ilustración 66:* Viviendas De Cuartos Independientes O Más De 1 Nivel. Fuente: creación propia

Por último, se podría catalogar como un cuarto caso, las viviendas que cuentan con algún tipo de cubierta ligera, pero para cuestiones de captación pluvial facilita la recolección de agua, solamente sería colocarle una canalización directa a la tubería y realizar el mismo sistema.

Para resumir, contamos con tres tipos de ampliaciones en las viviendas, tomándolas en cuenta se podrá diseñar el tipo de canalización de tuberías para poder recolectar el agua pluvial en cualquier tipo de vivienda sabiendo las variantes existentes.

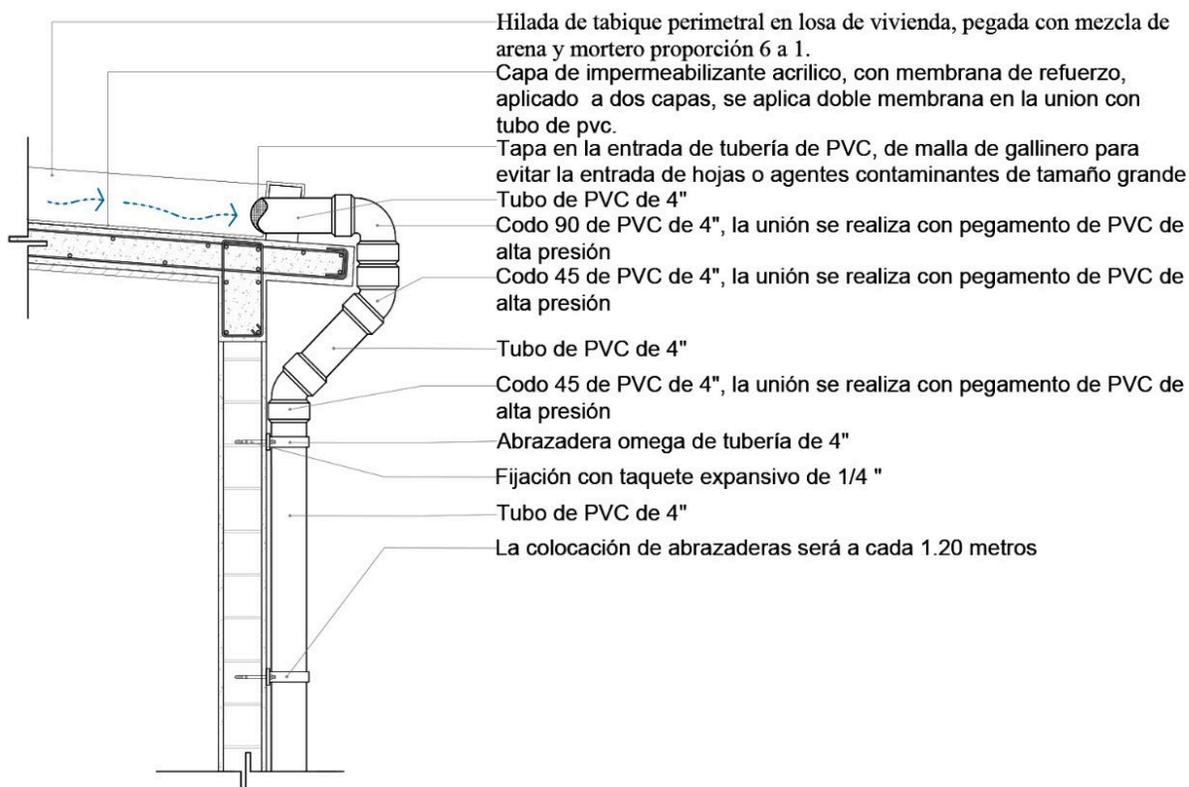


*Ilustración 67:* Los Tres Tipos De Aplicación Que Pueden Tener Las Viviendas De La Manzana De Estudio. Fuente: creación propia

## 6.8 Implementación de geotecnia para captación pluvial

Y para la instalación del sistema de captación pluvial se tomó en cuenta que tendría que ser una instalación que no contara con mano de obra calificada para que cualquier persona lo pueda instalar, reduciendo los costos de mano de obra y principalmente, que los mismos usuarios puedan dar el servicio de mantenimiento para aumentar tu tiempo de vida útil.

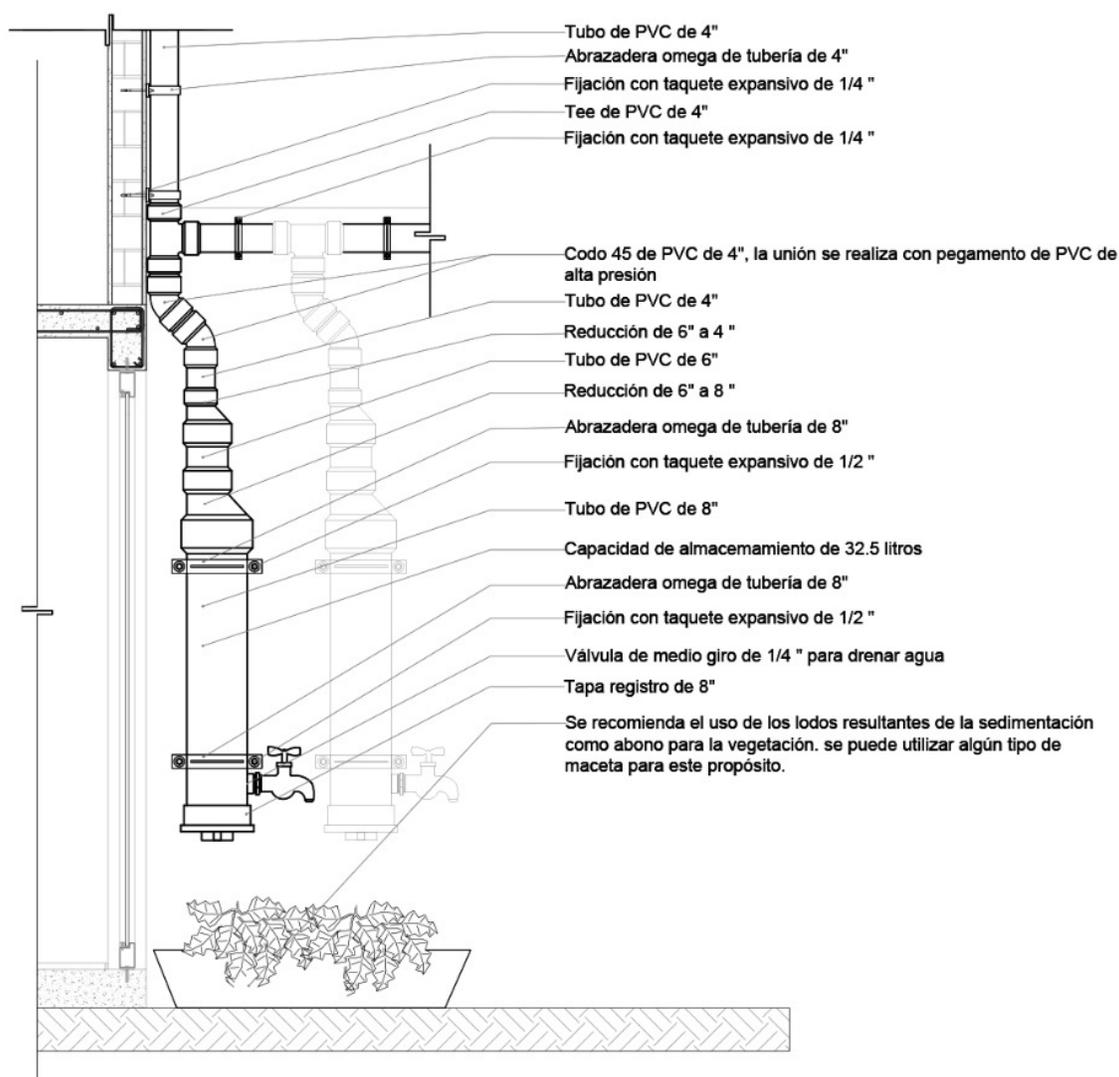
Teniendo en cuenta que las cubiertas por reglamento deben de tener una pendiente mínima de 2% o mayor, se aprovecha esto para contener el agua construyendo una hilada de tabique alrededor de la cubierta efectiva, y en donde se encuentre el final de la pendiente, se colocará un tubo de 4" de PVC para comenzar la canalización de agua.



*Ilustración 68:*Detalle De Instalación De Tubería En Cubierta. Fuente: creación propia

En la mayoría de los métodos consultados se recomienda realizar una impermeabilización para no tener residuos de elementos de los que esté construida la cubierta, aunque esta recomendación se puede omitir, ya que en las pruebas de laboratorio que se realizaron no se encontró algún contaminante a causa de la cubierta, pero si se recomienda lavar la cubierta al inicio de la época de lluvias, así eliminaremos mucho de los sedimentos que se acumularan en el tren de filtrado y así se reduciría el mantenimiento en el sistema.

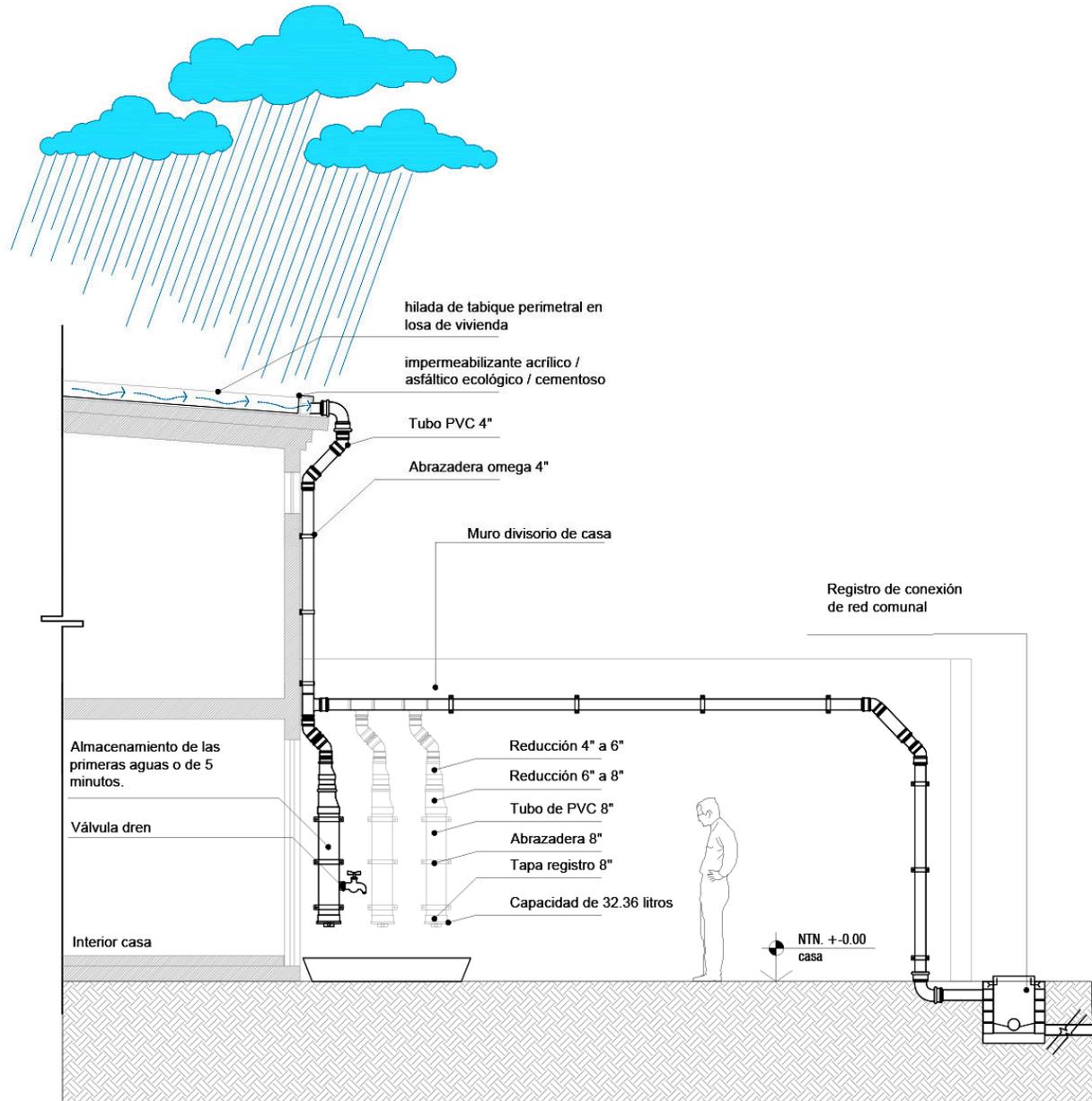
Todo el sistema está elaborado con tubería de PVC de 4", y solamente la parte de filtrado de la separación de las primeras aguas, tendrá un diámetro de 8", esto a causa de que el almacenaje de 37 litros corresponde al áreas de cubiertas de un modelo de casa sin modificar, en el caso de que fuera mayor el área de captación a causa de algún tipo de ampliación de la vivienda, se instalaría un complemento de filtrado que compense este incremento como se muestra en la imagen .



*Ilustración 69:* Detalle De Separador De Primeras Aguas. Fuente: creación propia

La fijación entre tuberías será con pegamento de PVC de alta resistencia, esto ayuda a que el secado sea más rápido y resista a mayores presiones la tubería.

La fijación de las tuberías será con abrazaderas de forma omega y con taquetes de expansión de un 1/4" de pulgada y en los casos de los filtros de separación de las primeras aguas será de 1/2"



*Ilustración 70:* Instalación De Sistema De Captación Pluvial En Casa Tipo. Fuente: creación propia

Después de canalizar el agua y filtrar los principales elementos contaminantes por medio del separador de primeras aguas, toda el agua llega hasta un registro que se conecta a una red perimetral alrededor de la manzana, y así puede llegar al sistema principal de tren de filtrado.



*Ilustración 71:* Distribución De La Red Perimetral De Agua Pluvial. Fuente: creación propia

Esta fue diseñada gracias al levantamiento con dron y la obtención de curvas de nivel, con esto se pudo comprobar que la pendiente extiende a lo largo de la manzana y el punto más bajo se encuentra en la esquina Sur-Oriente.

Los registros se colocan en el centro de las viviendas para poder alimentarlo de dos bajadas de agua pluvial por cada registro, estos se interconectan con una tubería de 8" de PEAD corrugado flexible para evitar fracturas por sismo o algún otro movimiento posterior.

Al llegar al tren de filtrado para determinar su capacidad, debemos recordar que en el capítulo 5 se obtuvo el promedio máximo de precipitación diario del mes con mayor lluvia, y se encontró que son 17 mm al día.

Al considerar este valor y que tenemos un área efectiva de captación de 7639.79 m<sup>2</sup>, obtendremos en los días con más lluvia 129,876.42 litros de agua.

Para esto se considera un tren de filtrado de dos pasos, el primero es un volumen de almacenaje donde se sedimentará el agua para reducir los contaminantes de partículas suspendidas.

Y el segundo paso consta de un filtrado lento de arenas que nos ayudará a cambiar la forma química de las sustancias disueltas y bacterias encontradas en el agua y que no pudieron ser eliminadas en el primer paso.

autores Huisman and Wood y World Health Organization han comprobado que los filtros por arenas pueden eliminar partículas en suspensión, sólidos en suspensión, materia orgánica, y organismos patógenos.

La filtración lenta o también conocida como biológica, es el paso del agua a través de un medio granulado como arenas o gravas, las impurezas que lleva el agua quedan atrapadas o retenidas entre los poros creados entre las arenas y el agua creándose paso a través de ellas, se van removiendo dichas impurezas.

Considerando que el diámetro promedio de las arenas es de 150 micras o  $\mu\text{m}$ , y las partículas promedio que se encuentran en 20  $\mu\text{m}$ , se puede garantizar el filtrado.

Al colocar las arenas lo más importante es la regularidad de los granos, por eso se debe tamizar para obtener los 150  $\mu\text{m}$  y así poder tener un conocimiento sobre la porosidad existente entre los granos.

La arena tiene que estar limpia, si hace falta se tendrá que lavar, para evitar que contenga cantidades de arcilla, lodos o materia orgánica. Un indicador puede ser el contenido de calcio y magnesio siendo como máximo del 2 % de  $\text{Ca}^{2+}$  y/o  $\text{Mg}^{2+}$ .

En general se asumen de arriba a la base del lecho de arena:

- 0,30-0,40 m para la zona bacteriológica
- 0,40-0,50 m para la zona de oxidación
- 0,5 cm para garantizar la existencia de arena tras unos años
- 

En total observamos que la capa de arena tendrá entre 1,2-1,4 m. Además, si queremos una mejor calidad de agua en la salida podemos añadir unos 0,10 m de carbón activado en la base

del tubo de salida de la tubería.

Se recomienda el uso de carbón activado de elementos como conchas de mar triturada o de huesos de animal, ya que se observan menores incrementos en las concentraciones de pH en el agua.

Las dimensiones del filtrado de arenas se obtuvieron de un curso impartido por el Dr. Arturo Cruz Ojeda, de “Potabilización Del Agua: Criterios De Diseño Y Evaluación” del capítulo 9, dimensionamiento de filtros.

Las dos áreas contarán con registros para su mantenimiento y una tubería de retrabado, el cual permitirá reutilizar las arenas en el momento que se hayan saturado y no permitan la filtración, así se tendrá un ahorro en el cambio paulatino de arenas.

En un inicio se pensaba incorporar un área de almacenamiento para el agua, pero al observar que se necesitaban más de 130 metros cúbicos de agua para el abasto de 3 días, se descartó la idea por el alto costo que implica.

Por eso se llegó a la idea de que esta agua fuera reintroducida a la línea de agua potable del municipio, pero antes de llegar a esta conclusión, se hizo un muestreo de la calidad de agua obtenida por este sistema de captación pluvial.

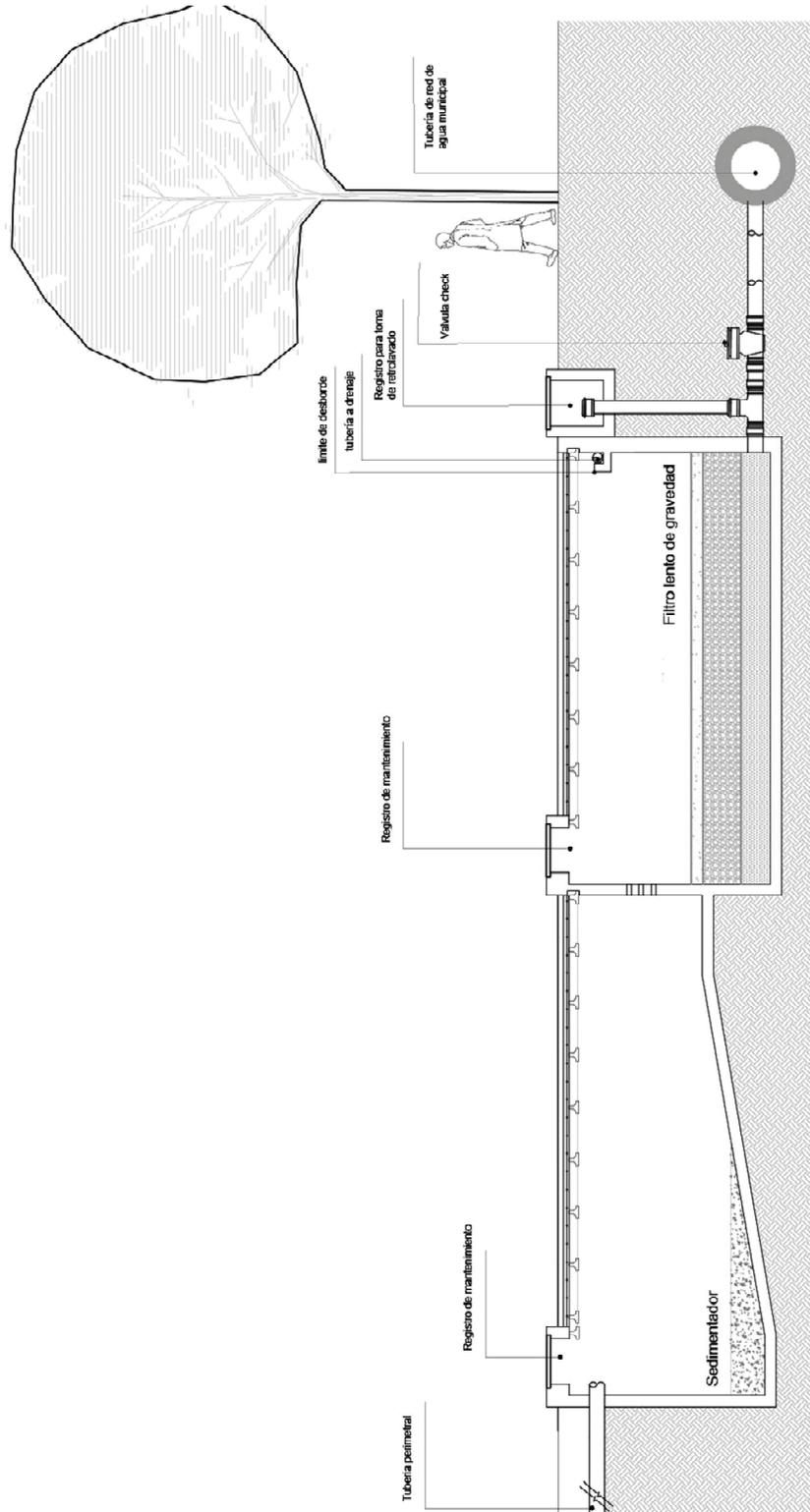


Ilustración 72: Corte Del Sistema De Filtrado. Fuente: creación propia

## 6.9 Calidad de agua

Para realizar las pruebas de calidad de agua pluvial y poder determinar el nivel de contaminación del agua, se necesitó la participación de un laboratorio que realice las pruebas, se pidió la asesoría al Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Centro Tecnológico de Aragón, en la FES Aragón, con el M. en C. e I. Sergio Alfonso Martínez González, el cual ayudó con la selección de pruebas que se tenían que realizar, así como en el uso de los equipos de laboratorio.

Las pruebas que se recomendó llevar a cabo fueron las siguientes:

- DQO
- Organismos coliformes totales
- Organismos termotolerantes
- Características organolépticas (color, olor, sabor y turbiedad)
- pH

Para la realización de estas pruebas se siguieron los pasos que dictan las normas:

- NMX-AA-030/1-SCFI-2012 y NMX-AA-030/2-SCFI-2011, para DQO
- NMX-AA-042-SCFI-2015 para coliformes totales y termotolerantes
- NMX-AA-008-SCFI-2000 para pH

Para las pruebas se utilizaron los siguientes equipos:

- Termorreactor marca Hatch mod. DRB200
- Colorímetro marca Hatch mod. DR890
- Espectrofotómetro UV visible Marca Hatch mod. 3900
- Balanza analítica marca OHAUS mod. PA224C
- Incubadora marca BINDER mod. BD 56
- Potenciómetro de pH marca HANNA HI 2211

Para las muestras de agua se utilizaron envases de vidrio esterilizados, las muestras se tomaron de la lluvia directamente, de lluvia que había recorrido cubiertas de vivienda y tuberías, similar a

la trayectoria que realizaría con el sistema de captación pluvial y de la toma municipal, para comparar calidades de agua entre ellas.

Ilustración 73:

*Fotografía de las muestras de agua tomadas en sitio*



Fuente: creación propia

### **Prueba DQO**

Como dicta la norma NMX-AA-030/1-SCFI-2012 y NMX-AA-030/2-SCFI-2011, la demanda química de oxígeno sirve para determinar las concentraciones de materia orgánica e inorgánica en muestras de agua, La ventaja de utilizar esta técnica, es que es un método rápido para determinar el grado de contaminación del agua.

Los rangos resultados se pueden comparar en la siguiente tabla:

Tabla 49:

*Rangos de Demanda Química de Oxígeno*

Demanda química de oxígeno (mg/L)	
Excelente	$\leq 10$ mg/L
Buena Calidad	$>10$ y $\leq 20$ mg/L

Aceptable	>20 y ≤ 40 mg/L
Contaminada	>40 a ≤ 200 mg/L
Fuertemente Contaminada	>200 mg/L

Fuente: CONAGUA, Semarnat. Estadísticas del agua en México 2013.

La primera prueba de demanda química de oxígeno se realizó con reactivos Hach de DQO de bajo intervalo, que miden las concentraciones hasta de 150 mg/L, pero al realizar las pruebas, en todas las muestras se obtuvieron valores de 165 mg/L, entonces se optó por reactivos Hach que miden concentraciones de hasta 1500 mg/L, las pruebas se realizaron con y sin blanco, utilizando el Colorímetro marca Hatch mod. DR890 y el Espectrofotómetro UV visible Marca Hatch mod. 3900 los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 50:

*Resultados de las primeras muestras de agua de lluvia en DQO*

PRUEBA DE DQO ALTA 1500 mg/L										
P017		DR3900		HATCH			DR3900		HATCH	
		SIN BLANCO	CON BLANCO	SIN BLANCO	CON BLANCO		SIN BLANCO	CON BLANCO	SIN BLANCO	CON BLANCO
05-oct-18	P1	/	/	/	851	TP1	/	/	/	1020
07-oct-18	P2	/	/	/	1227	TP2	/	/	/	785
07-oct-18	P3	/	/	/	83	TP3	/	/	/	429
07-oct-18	P4	/	/	/	67	TP4	/	/	/	565
10-oct-18	P5	/	/	/	550	TP5	/	/	/	55
10-oct-18	P6	/	/	/	554	TP6	/	/	/	34

Fuente: creación propia

Posteriormente, se realizaron las mismas pruebas pero con otra tanda de muestras recolectada en el mismo lugar de lluvias posteriores, los resultados de muestran en la tabla 51:

Tabla 51:

*Resultados de la segunda tanda de muestras de agua de lluvia en DQO*

PRUEBA DE DQO ALTA 1500 mg/L										
P018		DR3900		HATCH			DR3900		HATCH	
		SIN BLANCO	CON BLANCO	SIN BLANCO	CON BLANCO		SIN BLANCO	CON BLANCO	SIN BLANCO	CON BLANCO
05-oct-18	P1	/	229	/	258	TP1	/	226	/	349
07-oct-18	P2	/	227	/	348	TP2	/	227	/	227
07-oct-18	P3	/	222	/	0	TP3	/	229	/	116
07-oct-18	P4	/	219	/	0	TP4	/	227	/	177
10-oct-18	P5	/	226	/	157	TP5	/	20	/	5
10-oct-18	P6	/	225	/	141	TP6	/	40	/	0

Fuente: creación propia

Finalmente, se realizó una tercera tanda de pruebas, con una menor cantidad de muestras, por estar en los últimos días de lluvia del año, se recolectaron el mismo día, en diferentes lugares de captación, los resultados son los siguientes:

Tabla 52:

*Resultados de la tercera tanda de muestras de agua de lluvia en DQO.*

PRUEBA DE DQO ALTA 1500 mg/L										
P017		DR3900		HATCH			DR3900		HATCH	
		SIN BLANCO	CON BLANCO	SIN BLANCO	CON BLANCO		SIN BLANCO	CON BLANCO	SIN BLANCO	CON BLANCO
29-oct-18	M01				15					
29-oct-18	P01				15					
29-oct-18	TP01				25					

Fuente: creación propia



Ilustración 74: Fotografías De Las Pruebas De DQO. Fuente: creación propia

Los resultados de las primeras dos tandas de muestras de agua arrojan resultados de rangos de calidad excelente, hasta fuertemente contaminadas, y en la tercera muestra se obtuvieron resultados estables en el rango de calidad aceptable.

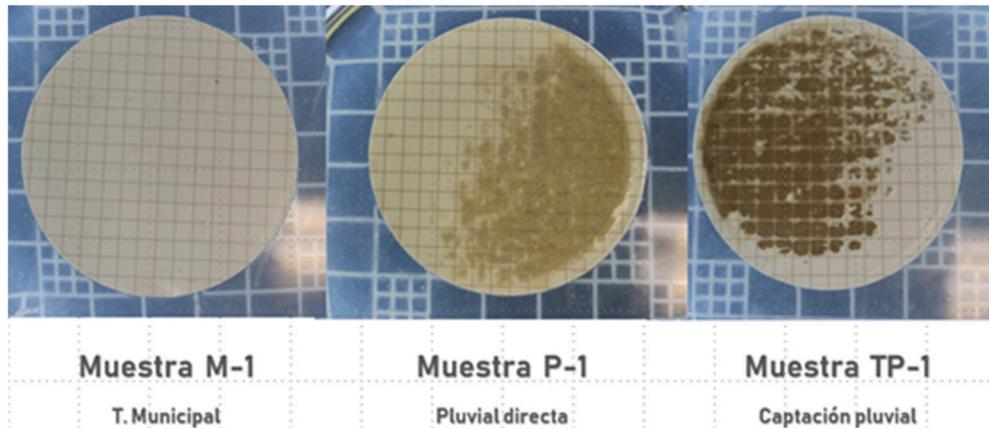
Se tiene la teoría es que dependiendo de la calidad del aire y limpieza que se tenga de las cubiertas, se pueden tener resultados satisfactorios, tomando como ejemplo que las ultimas muestras son del fin de época de lluvias y las lluvias pasadas hicieron una limpieza paulatina de la cubierta donde se tomaron las muestras.

### **Organismos Coliformes totales y termotolerantes**

Las bacterias coliformes están presentes en los intestinos humanos y de algunos animales de sangre caliente, son transmitidas por falta de higiene y cuidados a través de los alimentos y agua contaminados. Estas bacterias tienen la característica de poder sobrevivir fuera de los intestinos en todo tipo de calidad de agua, y al llegar a algún tipo de alimento estas se pueden reproducir, haciéndolas peligrosas para personas.

Los principales grupos están conformados por 4 géneros, Enterobacter, Escherichia, Citrobacter y Klebsiella, sus características es que fomentan la lactosa con producción de gas a las 48 h.

Para realizar las pruebas, las muestras utilizadas fueron de la lluvia del 29 de octubre de la lluvia de las 7:50 pm, para realizarse al día siguiente a las 2:00 pm, y evitando que transcurrieran más de 24 horas a la prueba, en la ilustración 75 podemos ver los resultados obtenidos:



*Ilustración 75:* Pruebas De Coliformes Totales Y Termotolerantes. Fuente: creación propia

Se pueden notar diferentes proporciones de presencia de organismos, pero en ninguno de los casos se presentó del tipo coliforme.

### **Pruebas Organolépticas**

El agua sin ningún tipo de contaminante es incolora, inodora e insípida, pero dependiendo de las características del medio en que se encuentre puede llegar a presentar algunos cambios en estas características, y dependiendo de la saturación de algunos elementos en ella, se puede llegar a considerar algún tipo de contaminante.

Las pruebas de gusto pueden ayudar a determinar este tipo de saturaciones, como un exceso de CO<sub>2</sub> da un sabor ácido, concentraciones de hierro o manganeso un sabor metálico, el sulfato magnésico da un sabor amargo. Un bajo pH da sabor a ácido, mientras que un pH alto da sabor a jabón, aunque estas pruebas no pueden considerarse exactas, pueden ayudar a dar una idea del tipo de contaminante sin contar con instrumentación especializada, solamente se recomienda hacerlas de fuentes de agua seguras.

A causa del corto de tiempo que se tenía, estas pruebas se realizaron de manera visual, olfativa y de sabor, en la cual no se encontraron alteraciones mayores a algunos sedimentos que a menos de 1 hora de reposo ya se encontraban depositadas hasta el fondo.

Tabla 53:

Tabla de pruebas organolépticas realizadas en las muestras de agua pluvial

CARACTERISTICA	agua pluvial sin captar						agua pluvial captada						agua pluvial captada					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p1	p2	p3	p4	p5	p6
Color	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Olor y sabor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Turbiedad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: creación propia



Ilustración 76: Pruebas Físicas Y Organolépticas Del Agua. Fuente: creación propia

## Pruebas de pH

Una de las pruebas más comunes en el agua es la de pH, y nos ayuda a saber el grado de acidez o alcalinidad de la misma, esto es el potencial de iones de hidrogeno encontrado en el agua. Su rango va de 0 a 14, siendo 7 el valor neutro. En la ilustración 77 se puede ver la escala de pH.



Ilustración 77: Escala de pH. fuente carbotecnia.org

Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural. De la unidad de posgrado de Arquitectura, con la ayuda de la Dra. Ilse García Villalobos se realizó la calibración del potenciómetro y las pruebas a las muestras de agua pluvial obteniendo parámetros entre los 6.5 y 8.5 como lo pide la norma NOM-127-SSA1-1994. Como se puede ver en la tabla 54.

Tabla 54:

### Resultado de pruebas de pH

CARACTERISTICA	agua pluvial sin captar						agua pluvial captada						agua pluvial captada					
	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p1	p2	p3	p4	p5	p6
pH	7.1	7.2	7.1	7.1	7.2	7.1	7.3	7.4	7.3	7.4	7.4	7.3	7.7	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8

Fuente: creación propia

Al observar los resultados, y a pesar de que no se realizaron las pruebas que pide la norma NOM-127-SSA1-1994, con los valores obtenidos con la prueba de DQO, se puede inferir que se tiene una calidad aceptable y no representa un riesgo para el contacto directo con personas. Por esta razón el diseño del sistema de captación pluvial comunitario cuenta con un tren de filtrado de separación de primeras aguas, sedimentador, filtro lento de arenas y la opción de utilizar carbón activado, que ayudara a remover algunos contaminantes del agua, como metales pesados y algunos solidos suspendidos.

### **6.10 Costo de implementación del sistema de Captación Pluvial**

Otro punto importante a evaluar en este método, es el costo, en la encuesta realizada en el capítulo 2, fue que el 75.7% de las personas no conocen algún tipo de sistema de captación pluvial, posteriormente al explicarlo, se les pregunto que si estarían dispuestos a instalarlo en sus viviendas, por lo que el 76.5% contesto que sí, pero al comentarles que el costo de un sistema tradicional va de los 35 a 50 mil pesos mexicanos, el 97.4% contesto que no lo instalaría por ese precio.

Posteriormente preguntando que, si estaría dispuesto a instalar un sistema de captación pluvial por un costo de 10 mil pesos, este rango se redujo y tuvo una aprobación del 42.5%.

Por esto se realizó el presupuesto para poder saber con exactitud cuál sería el costo de implementación de este método.

A continuación, se presentan los presupuestos de la construcción de este sistema de captación pluvial, instalándolo en las 104 viviendas, realizando los registros de interconexión, tuberías perimetrales, y la construcción del sedimentador, filtro de arenas y tuberías para mantenimiento.

Los precios de materiales se cotizaron en septiembre del 2019 en las empresas de construrama, ferreterías Myers, el impermeabilizante en un distribuidor fester.

Los costos de mano de obra se obtuvieron de la página de NEODATA, construbase de septiembre de 2019

Para obtener el costo de la instalación individual de una vivienda, se cotizo a 4 plomeros y se sacó un promedio del costo a continuación se presenta el presupuesto de costo directo de la imagen

72:

Tabla 55:

*Costo directo de instalación de sistema de captación pluvial comunitario en una vivienda*

Costo de instalación de sistema de captación por vivienda				
materiales	cantidad	P. unitario	total.	
perímetro de hilada de tabique	30.36	\$ 18.79	\$	570.46
impermeabilizante acrílico	37.26	\$ 17.31	\$	644.97
tubería de PVC de 4"	14.5	\$ 33.43	\$	484.74
codo de 90 de PVC 4"	2	\$ 16.41	\$	32.82
codo de 45 de PVC 4"	6	\$ 14.59	\$	87.54
Tee de 4"	1	\$ 24.48	\$	24.48
abrazadera omega de 4"	10	\$ 8.50	\$	85.00
reducción de 4" a 6"	1	\$ 22.33	\$	22.33
reducción de 6" a 8"	1	\$ 69.60	\$	69.60
tubo de PVC 8"	1	\$ 120.77	\$	120.77
pegamento para PVC	1	\$ 155.07	\$	155.07
abrazadera omega de 4"	12	\$ 1.31	\$	15.72
abrazadera omega de 8"	4	\$ 16.00	\$	64.00
tapa registro de 8"	1	\$ 195.00	\$	195.00
registro de 40 x 60 cm	0.5	\$ 550.00	\$	275.00
mano de obra de 1 maestro y 2 ayudantes	1	\$ 6,500.00	\$	6,500.00
Total de instalación en una vivienda			\$	9,347.50
Total por las 104 viviendas			\$	972,140.00

Fuente: creación propia

Posteriormente se presupuestó la obra de instalación del sistema comunitario:

Tabla 56:

*Costo directo de la instalación de sistema de captación pluvial comunitario en manzana*

Costo de proyecto en manzana de estudio				
concepto	cantidad	P. unitario	total	
corte de banqueta para tubería perimetral	451.9	\$ 119.00	\$	53,776.10
extracción de relleno de 0.3 x 0.6 x 1	451.9	\$ 4.32	\$	1,952.21
relleno y compactación 0.3 x 0.6 x 1	451.9	\$ 21.06	\$	9,517.01
colado de banqueta de 0.3 x 1 a 8cms	451.9	\$ 44.70	\$	20,199.93
acarreo de cascajo con camión de .18m2	451.9	\$ 45.00	\$	20,335.50
tubo de 8" polietileno corrugado	451.9	\$ 250.00	\$	112,975.00
excavación para cisternas	167.4	\$ 47.95	\$	8,026.83
concreto para excavación (m3)	67	\$ 149.00	\$	9,983.00
acarreo de material	47.95	\$ 300.00	\$	14,385.00
tanque de sedimentación de 30000 litros	6	\$ 59,000.00	\$	354,000.00
tanque para filtrado lento de arena 20000 litros	2	\$ 46,000.00	\$	92,000.00
tubería para retro lavado, válvula ckeck	1	\$ 52,000.00	\$	52,000.00
Total			\$	749,150.58
Total dividido entre las 104 viviendas			\$	7,203.37

Fuente: creación propia

Al contar con los dos costos, uno por la instalación individual de tubería en vivienda y el otro de un costo del precio de la tubería y filtrado en la manzana obtenemos:

Tabla 57:

*Suma de los dos presupuestos para obtener el costo total por vivienda*

costo por vivienda	
costo total de instalación pluvial en vivienda	\$ 9,347.50
costo total de instalación de sistema comunitario en manzana	\$ 7,203.37
<b>Total por vivienda</b>	<b>\$ 16,550.87</b>

Fuente: creación propia

Para esto tomaremos el costo de agua que se obtiene del consumo real de agua diario que es de 557 L/hab./día, lo multiplicamos por 365 días del año para obtener el consumo anual real en litros,

y lo dividimos entre el pago por derechos de suministro de agua en viviendas del municipio de Nezahualcóyotl, así podemos obtener un estimado de su costo por litro.

Tabla 58:

*Costo por litro de agua en vivienda en Nezahualcóyotl*

Costo del agua en Nezahualcóyotl	
consumo anual real de agua en litros	198327.60
pago anual por derecho al agua en Nezahualcóyotl	\$ 2,431.00
costo por litro de agua en pesos	0.012257497

Fuente: creación propia

Posteriormente, el agua captada anual promedio de 9,507,088.95 litros, lo multiplicamos para poder monetizar el agua captada por el sistema, lo cual no da el costo de:

Tabla 59:

*Estimado de monetización por captación pluvial*

Estimado de monetización por captación pluvial	
costo de agua por litro en viviendas de Nezahualcóyotl	0.012257497
litros captados por el sistema pluvial comunitario anualmente	9,507,088.95
total	\$ 116,533.12

Fuente: creación propia

Para saber cuál será el retorno de inversión de la obra, tendremos que dividirlo entre el costo directo total del proyecto que es:

Tabla 60:

*Retorno de inversión de captación pluvial comunitaria*

Retorno de inversión de construcción del sistema de captación pluvial comunitario	
Estimado de monetización por captación pluvial	\$ 116,533.12
costo directo de la obra	1,721,290.58
Retorno de inversión en años	14.77

Fuente: creación propia

## Conclusiones

Al realizar la investigación de la situación del agua en diferentes escalas a nivel mundial, existe una infinidad de factores que pueden reflejarse en la reducción al acceso al agua potable, pero para ser más específico en el área de arquitectura, el crecimiento desmedido de la población en el siglo pasado, influyó directamente al aumento de tamaño en las ciudades y poblaciones, con lo que se requiere mayor infraestructura para hacer llegar más agua a más gente, esto hace que cada vez llevar este servicio sea más complicado en México, ya que las tarifas sobre este líquido son muy inferiores y están subsidiadas a diferencia de otros países en el cual se hace el pago adecuado.

Siendo específicos en el Estado de México este es un gran problema, la mayoría del municipio no cuentan con un medidor de agua y solo se hace un pago anual por el servicio sin cuantificar su gasto, sumando a que solamente menos de 50% de la población realiza sus pagos del servicio. Existe un problema de distribución de agua, como en el municipio de Nezahualcóyotl.

La propuesta que se plantea para poder reducir el impacto hídrico en el municipio, es la instalación de un sistema de captación pluvial comunitario, a comparación de los sistemas tradicionales, se eliminan los almacenamientos unitarios en cada vivienda y el agua captada en estas viviendas es redistribuida al mismo sistema de hidráulico municipal.

Para poder lograr esto se diseñó un método que se describe a lo largo de este trabajo en el cual la idea principal es recabar datos actualizados de áreas de captación pluvial, gasto de agua y sus diferentes usos y así poder obtener la mejor estrategia para el lugar específico donde se quiera implementar.

En el capítulo dos donde se realizaron las encuestas para poder calcular el gasto real de agua del municipio de Nezahualcóyotl, se obtuvieron gastos mayores de agua de los rangos que se vienen manejando por las instituciones como CONAGUA o RCDF.

Al analizar los datos de las encuestas, los principales factores que fomentan el excesivo gasto de agua en la vivienda son: no contar con algún sistema de ahorrador de agua en cualquiera de los diferentes usos, la existencia de goteras en la vivienda, y la principal, una falta de educación y concientización sobre el ahorro y consumo de agua.

Este último factor a mi parecer, se debe a la falta de cobro del servicio por la cantidad de agua consumida, ya que en la última parte de la encuesta se pudo notar que la gente está acostumbrada a obtener este servicio de manera casi gratuita y al plantearles que si instalarían un sistema de captación pluvial de un costo mayor a 50 mil pesos un 94% estaba de acuerdo, y entre el costo iba disminuyendo el porcentaje de aceptación para la instalación del sistema iba aumentando, esto quiere decir que si se ataca el consumo directamente en los bolsillos de los consumidores se podría obtener un ahorro real de este vital líquido.

En la obtención de áreas de captación pluvial, gracias al aumento tecnológico de los drones, y softwares de fotogrametría, ya se pueden realizar levantamientos de cualquier tipo de elemento urbano; obtener su área y altimetría con una velocidad y costo muy asequible.

En el tema de datos de precipitación pluvial, Tener mucha más atención a rango de años y su manejo, se pudo observar y comprobar dependiendo el rango utilizado su comportamiento está variando, puede ser por algún factor específico del lugar, el calentamiento global u otro factor no contemplado, pero el manejo de rangos históricos, de 15 años o 10 años arrojo resultados diferentes, y al observar los periodos de lluvia, estos se están extendiendo hacia el invierno con lluvias más intensas.

Al realizar las pruebas de laboratorio de la calidad de agua obtenida con captación pluvial, se pudo comprobar que se obtiene una calidad muy buena para contacto humano, y que con pocos cuidados y limpieza por parte del usuario se puede mejorar aún más esta calidad.

Al cumplir las normas de contacto humano se pueden satisfacer las necesidades del 95% de las actividades que se realizan con el agua en la vivienda. Y queda abierta la posibilidad a realizar una investigación de ver si este método llega a cumplir la norma NOM-127-SSA1-1994 por medio de los filtros propuestos.

En el capítulo 6 se dan los pasos a como desarrollar este método en una manzana de 104 viviendas, dando como resultado la captación de 9,500 m<sup>3</sup> de agua anual, una inversión de 1,721,290 pesos mexicanos para poder llevar a cabo la obra, con un retorno de inversión menor a 15 años, con estos resultados los habitantes tendrían que realizar una inversión en conjunto por vivienda de 16,550 pesos. Este costo es muy competitivo ya que el programa que está realizando el gobierno de la CDMX en los municipios de Xochimilco e Iztapalapa conjunto a Isla urbana tienen un costo subsidiado de 30,000 pesos por cada vivienda. Pensando en es este proyecto fuera apoyado por alguna institución federal, estatal o municipal y el precio final fuera subsidiado por algún programa social o realizar algún tipo de incentivo fiscal o en el pago del servicio de agua. Podría fomentar la implementación de este tipo de sistemas ecológicos.

#### Recomendaciones:

Que las instituciones encargadas de la distribución de agua, tomaran en cuenta estos resultados del aumento de consumo de agua en las viviendas obtenidos en este trabajo, y empezaran a crear proyectos de concientización de consumo de agua, realizar campañas de distribución de equipos sanitarios ahorradores de agua, kits de perlizadores o reductores de flujo y la implementación paulatina de medidores de agua en los lugares donde no existen.

A las instituciones encargadas de la supervisión de obras de los municipios o alcaldías, realizar una supervisión más exhaustiva al hacer cumplir el reglamento en todos sus artículos, y para este caso particular, hacer cumplir el apartado de bajadas de agua y captación pluvial. Que se por parte

del RCDF ya se pide una instalación de captación pluvial, pero no se realizan las inspecciones necesarias para hacer cumplir esta norma; y también realizar las infraestructuras necesarias para esto, porque, aunque se pide una separación de aguas negras, aguas grises y aguas pluviales, no existe la infraestructura para recolectarlas, y al final terminan mezclándose en el drenaje municipal.

A la secretaria de comunicaciones y transporte y conjunto a la dirección de aeronáutica civil, revisar las normas con las que se tiene un control de los vuelos de drones, sus áreas permitidas. Porque existen apps que hacen caso omiso de ellas y se puede realizar cualquier vuelo, a cualquier altura y en áreas restringidas. Y tener un control de registro mucho más eficaz, que en mi caso traté de registrar el drone de trabajo y jamás obtuve respuesta de las autoridades.

Al Servicio Meteorológico nacional, se recomienda dar mantenimiento y no abandonar las estaciones meteorológicas ya instaladas, en el caso de la estación 15061 que lleva recolectando datos desde 1967, dejó de funcionar en 2015 y al ya no estar en actividad, no aparece en su plataforma en tiempo real y se tiene que acceder a sus datos por medio de otras aplicaciones o páginas.

A las instituciones Gubernamentales U ONGs que contemplen la implantación de este tipo de métodos que ayudan al amortiguamiento de impacto hídrico en las ciudades, y obtienen un beneficio a mediano plazo al reducir el consumo de agua que tienen ante CONAGUA, reduciendo sus gastos en este concepto, sin contemplar los beneficios sociales que se obtienen como una mayor educación en temas de ahorro de agua y una tranquilidad social al saber que se reduce la posibilidad de quedarse sin el servicio de suministro de agua para realizar sus actividades diarias.

## Bibliografía

- (DAES), D. de A. E. y S., & Departamento de Asuntos Económicos y Sociales División de Estadística. (2009). Diseño de muestras para encuestas de hogares. Directrices prácticas. In *Estudios de métodos, Serie F No. 98*.
- AGUA.ORG.MX. (2018). Desperdicio de agua en la Ciudad de México. Retrieved September 13, 2019, from <https://agua.org.mx/actualidad/alternativas-para-reducir-el-desperdicio-de-agua/>
- Anaya Garduño, M. (2008). Objetivos y logros del CIDECALLI. *Boletín Del Archivo Histórico Del Agua*, 7.
- Arreguín, F., López, M., Marengo, H., & Tejeda, C. (2007). Agua virtual en México. *Ingeniería Hidráulica En Mexico*, XXII(4), 121–132.
- Arroyo, J. O. A. (2013). *Captación y aprovechamiento de agua pluvial en vivienda urbana de la ciudad de México* (Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Posgrado en Arquitectura).
- Ayuntamiento de Nezahualcóyotl. (2004). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Nezahualcóyotl, Estado de México*.
- Bautista, M. C. (2009). *Gestión ambiental municipal: el caso del agua en el Municipio de Nezahualcóyotl, 2000-2008* (UNAM, Facultad de Economía). <https://doi.org/001-00821-C17-2009>
- Bioguia. (2016). Cómo construir una pared recolectora de agua de lluvia con botellas de plástico. Retrieved September 2, 2018,
- Blanco, H. A., Lara, M., Williams, D., Velezmoro, A. C., & Aguilar, V. H. (2014). *Consumo De Agua En Actividades Domésticas. Caso De Estudio: Estudiantes De La Asignatura Saneamiento Ambiental De La Ucv Water Consumed By Domestic Activities. Case Study:*

*Students of Environmental Sanitation Course Ucv. 29(1), 51–56.*

Blanco S., H. A., De Williams, M. L., Velezmoro, A. C., & Aguilar L., V. H. (2014). Water consumed by domestic activities. Case study: Students of environmental sanitation course UCV. *Revista de La Facultad de Ingenieria, 29(1), 51–56.*

CONAGUA/SEMARNAT. (1981). Ley Federal de Derechos. In *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.*

CONAGUA/SEMARNAT. (2009). NOM-015-CONAGUA-2007. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p. 8.*

CONAGUA. (2011a). Agua en el mundo. In *Estadísticas del agua en México.* Retrieved from <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/01/weodata/weoselgr.aspx>,

CONAGUA. (2011b). Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Comisión Nacional del Agua. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.*

CONAGUA. (2016a). Atlas del agua en México 2016. In *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Vol. 1).* Ciudad de México.

CONAGUA. (2016b). *Estadísticas del agua México 2016.* [https://doi.org/http://201.116.60.25/publicaciones/EAM\\_2016.pdf](https://doi.org/http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf)

CONAGUA. (2016c). *NUM3RAGUA MÉXICO 2016 México.* Retrieved from [http://201.116.60.25/publicaciones/Numeragua\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/Numeragua_2016.pdf)

CONAGUA, C. N. del A. (2016d). Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia

- con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda. *Programa Nacional Para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias En Zonas Rurales (PROCAPTAR)*, 42.
- Enrique, L. (2008). El agua en México : El agua en México. In *Medio Ambiente y desarrollo hacia un manejo sustentable del agua* (primera ed). Retrieved from [www.agua.org.mx](http://www.agua.org.mx)
- Financiero, C. (2013). OSFEM, órgano superior de fízcalizacion del Estado de México. *Libro 23*.
- Galaviz, N. L. (2010). *Una propuesta de ahorro de agua en una casa habitación* (Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Aragón).  
<https://doi.org/001-41121-L4-2011>
- García, A. (2011). *Metodología para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería de la UNAM* (UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, FACULTAD DE INGENIERIA).
- GISGeek. (2014). ¿Qué es el DATUM? ¿Usamos ITRF92 o WGS84? Retrieved September 17, 2019, from <http://sig-geek.blogspot.com/2014/05/que-es-el-datum-usamos-itrf92-o-wgs84.html>
- Hansel Michel Ramírez Flores. (2012). *la gestión del agua presentada a través del diseño arquitectónico* (Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Posgrado en Arquitectura).
- Howard, P. (2017). water science for schools. Retrieved September 11, 2017, from USGS, science for a changing world website: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- INEGI. (2015a). encuesta intercensal 2015. Retrieved February 15, 2018, from <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- INEGI. (2015b). *Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015 México* (p. 92). p. 92.

Ciudad de México.

INEGI, SCT, & IFT. (2018). *Comunicado de prensa num. 105/18*. 17. Retrieved from [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/OtrTemEcon/ENDUTIH2018\\_02.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/OtrTemEcon/ENDUTIH2018_02.pdf)

Jordi, O. (2013). La huella hídrica en el mundo. Retrieved May 28, 2017, from Hidroi ING website: <http://www.hidrojing.com/la-huella-hidrica-en-el-mundo/>

Martínez Sánchez, J. C. (2017). Una aproximación metodológica al uso de datos de encuestas en hogares. *Reality, Data and Space International Journal of Statistics and Geography*, 58–80.

Olaya, V. (2014). Sistema de informacion Geografica. In *propia* (Vol. 1). Retrieved from <http://volaya.es/writing>

ONU-DAES. (2015). Decenio internacional para la acción El agua fuente de vida 2005-2015. Retrieved August 9, 2017, from ONU website: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/asia.shtml>

Salud, O. mundial de la. (2009). *Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico Organización*. (9), 1–4.

SiSS. (2017a). Manual para el hogar. Retrieved from [www.siss.gob.cl](http://www.siss.gob.cl)

SiSS. (2017b). Test de consumo familiar. Retrieved from superintendencia de servicios sanitarios website: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-8577.html>

Suárez, J. A. B. (2006). *HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA*. 11. joao pessoa brasil.

Tomás Bense. (2007). introduccion a la percepcion remota. Retrieved September 27, 2017, from <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/imagenes-satelitales-tutorial.htm>

Toro, C. G. (2005). Cuanta agua se consume en su casa. Retrieved from servicio de extension

agricola website: [www.unesco.org](http://www.unesco.org)

Urbana, I. (2016). *Sistema residencial, manual de instalacion*. Retrieved from [www.islaurbana.mx/pluvioteca/](http://www.islaurbana.mx/pluvioteca/)

Vasquez, J. C., & Backhoff, M. A. (2017). Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte. *Instituto Mexicano Del Transporte*, 92.

Velázquez, J. H. G. (2012). *Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Cd. de México*. <https://doi.org/001-01177-G2-2012>

## **Anexos**

**Formulario de encuesta:****Gasto real de agua en viviendas**

Este cuestionario forma parte de un trabajo que se está desarrollando, en la UNAM, unidad de Posgrado de Arquitectura, área de Tecnologías, por el alumno de Maestría Arq. Daniel A. Farias Espinosa. Su finalidad es contar con información que permita identificar el gasto promedio de agua por persona en una vivienda, en el municipio de Nezahualcóyotl, Estado de México. Agradecemos su valiosa participación para contestarlo.

Contacto: [fariasarq@hotmail.com](mailto:fariasarq@hotmail.com), @fariasarq

**Instrucciones:**

- Sus respuestas son anónimas (no requerimos de nombre, ni dirección), por lo que pedimos que responda con sinceridad. Los datos serán manejados confidencialmente y usados sólo con fines estadísticos.

- Responda considerando únicamente las actividades que realiza en su HOGAR, si algunas de ellas las hace fuera de casa, NO las tome en cuenta para su respuesta.

Ej. “Si se lava las manos 5 veces al día. 2 en casa, 3 en el trabajo la respuesta sería 2 veces en casa”.

- Cuando se le pida una cantidad en número solo anote los números sin incluir alguna palabra.
- Si en alguna pregunta su respuesta es cero, no responda la pregunta y pase a la siguiente.
- Si alguna de las actividades no la realiza en casa, no la conteste y pase a la siguiente pregunta.

Ej. Si usted no lava la ropa en casa y la manda a lavar las preguntas correspondientes no las conteste.

**Sección 1: Datos personales**

1. ¿Cuál es su género?

hombre	mujer	otra
--------	-------	------

2. ¿Cuál es su edad?

(pregunta abierta)
--------------------

3. ¿Vive en casa o departamento?

casa	Departamento
------	--------------

4. ¿En qué colonia vive?

(se despliega una lista con todas las colonias del municipio)
---

**Sección 2: Actividades en cocina**

5. ¿Cuántos litros de agua bebe al día?

Menos de 1	1	2	3	4	otra
------------	---	---	---	---	------

6. Al día, ¿Cuántos litros de agua gasta para lavar, preparar y cocinar sus alimentos?

(pregunta abierta)
--------------------

7. Generalmente, ¿Que días prepara sus alimentos?

Lune s	Marte s	Miércoles s	Jueve s	Vierne s	Sábada o	Domingo o
-----------	------------	----------------	------------	-------------	-------------	--------------

8. Generalmente, ¿Cuántos minutos tarda en lavar los trastes al día en promedio? (desayuno, comida y cena)

(pregunta abierta)
--------------------

9. Generalmente, durante la semana ¿Que días lava los trastes?

Lune s	Marte s	Miércoles s	Jueve s	Vierne s	Sábada o	Domingo o
-----------	------------	----------------	------------	-------------	-------------	--------------

10. Sí tiene maquina lavaplatos ¿Cuántos días la usa a la semana?

Lune s	Marte s	Miércoles s	Jueve s	Vierne s	Sábada o	Domingo o
-----------	------------	----------------	------------	-------------	-------------	--------------

11. ¿Su fregadero cuenta con algún sistema de ahorro de agua?

Si	no
----	----

### Sección 3: Aseo en el hogar

12. Al lavar la ropa a mano, ¿Cuántas cubetas con agua usa en promedio?

1	2	3	4	5	6	otra
---	---	---	---	---	---	------

13. Marque los días en los que lava a mano en la semana

Lune s	Marte s	Miércoles s	Jueve s	Vierne s	Sábada o	Domingo o
-----------	------------	----------------	------------	-------------	-------------	--------------

14. ¿Sí tiene lavadora, cuál es su capacidad en kilos?

6	10	13	15	20	otra
---	----	----	----	----	------

15. ¿Su lavadora es ecológica o tradicional? (calcula el agua según la cantidad de ropa).

Ecológica	tradicional
-----------	-------------

16. Marque los días en los que usa su lavadora en la semana

Lune s	Marte s	Miércoles s	Jueve s	Vierne s	Sábada o	Domingo o
-----------	------------	----------------	------------	-------------	-------------	--------------

17. ¿Cuántas cubetas con agua usa al hacer el aseo en su casa, sin contar el baño?

1	2	3	4	5	6	otra
---	---	---	---	---	---	------

18. Marque los días en los que realiza el aseo de su casa en la semana

Lune s	Marte s	Miércoles s	Jueve s	Vierne s	Sábada o	Domingo o
-----------	------------	----------------	------------	-------------	-------------	--------------

19. ¿Cuántos cuartos de baños tiene su casa?

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

20. ¿Cuántas veces al mes los lava?

1	2	3	4	otra
---	---	---	---	------

#### Sección 4: Aseo personal

21. ¿Cuántos minutos tarda en bañarse al día?

(pregunta abierta)
--------------------

22. Generalmente, ¿Que días de la semana se baña?

Lune s	Marte s	Miércoles s	Jueve s	Vierne s	Sábada o	Domingo o
-----------	------------	----------------	------------	-------------	-------------	--------------

23. Sí cuenta con tina o jacuzzi, ¿Cuántas veces lo usa en promedio al mes?

1	2	3	4	No lo uso
---	---	---	---	-----------

24. En promedio, ¿Cuantas veces orina al día en su casa?

1	2	3	4	5	6	otra
---	---	---	---	---	---	------

25. En promedio, ¿Cuantas veces defeca al día en su casa?

1	2	3	4	5	6	otra
---	---	---	---	---	---	------

26. En promedio, ¿Cuantas veces se lava las manos al día en su casa?

1	2	3	4	otra
---	---	---	---	------

27. En promedio, ¿Cuántas veces se lava la cara al día en su casa?

1	2	3	ninguna
---	---	---	---------

28. ¿SÍ cuenta con bidet en su casa, Cuántas veces lo usa al día?

1	2	3	4	No lo uso
---	---	---	---	-----------

29. ¿Cuántas veces al día se lava los dientes en su casa?

1	2	3	4	otra
---	---	---	---	------

30. ¿SÍ se rasura con navaja, cuántas veces lo hace a la semana? (en el caso de los hombres)

1	2	3	4
---	---	---	---

31. ¿Los lavabos de su casa cuentan con algún sistema ahorrador de agua?

si	no
----	----

32. ¿Su regadera del baño cuenta con algún sistema de ahorro de agua?

si	no
----	----

33. ¿Su sanitario es ecológico (descarga dual de dos botones) o antiguo?

ecológico	antiguo
-----------	---------

### Sección 5: Uso de agua fuera de la vivienda

34. Sí tiene árboles o macetas dentro y fuera de su casa, ¿Cuántas cubetas con agua usa para regarlas?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

35. ¿Cuántas veces las riega al mes?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

36. Sí tiene jardín, ¿Cuántas cubetas con agua usa para regarlo?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

37. ¿Cuántas veces lo riega al mes?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

38. Sí cuenta con mascotas, ¿Cuántas cubetas con agua usa para su aseo y consumo a la semana?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

39. Sí lava la banqueta de su casa, ¿Cuántas cubetas con agua usa?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

40. ¿Cuántas veces la lava al mes?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

41. Sí tiene patio en su casa, ¿Cuántas cubetas con agua usa para lavarlo?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

42. ¿Cuántas veces lo lava al mes?

1	2	3	4	otra
---	---	---	---	------

43. Sí cuenta con automóvil, ¿Cuántas cubetas con agua usa para lavarlo?

1	2	3	4	5	otra
---	---	---	---	---	------

44. ¿Cuántas veces lo lava a la semana?

1	2	3	4	otra
---	---	---	---	------

45. ¿Cuenta con cisterna en su casa?

sí	no
----	----

46. ¿Cuántos tinacos tiene en su casa?

1	2	3	4	otra
---	---	---	---	------

47. Sí cuenta con un negocio en su casa que consuma agua, ¿de qué tipo es?

(pregunta abierta)
--------------------

48. En promedio ¿Cuánto consume de agua al día ese negocio?

(pregunta abierta)
--------------------

#### Sección 6: sistemas de captación de lluvia

49. tiene goteras en su vivienda? (tuberías)

si	no
----	----

50. El agua que llega a su casa por conexión municipal la usa para:

beber	Preparar alimentos	Lavarme los dientes	Lavar los trastes	Regadera y lavabo
-------	--------------------	---------------------	-------------------	-------------------

51. ¿Actualmente tiene problemas de suministro de agua en su casa?

si	no
----	----

52. ¿Qué tipo de problema es?

Escasez de agua	Mal olor del agua	Agua turbia o de algún color diferente	Crea algún tipo de infección en mi cuerpo	Mal sabor del agua	Trae basura
-----------------	-------------------	--	---	--------------------	-------------

53. ¿Qué actividad realiza para ahorrar agua en su hogar?

(pregunta abierta)
--------------------

54. ¿Conoce algún sistema o método de captación de lluvia?

Si	no
----	----

55. ¿Cuenta con algún sistema para recolectar el agua de lluvia en su casa?

si	no
----	----

56. ¿Estaría dispuesto a instalar un sistema de captación de lluvia para ayudar a resolver la falta de agua en su casa?

si	no
----	----

57. ¿Estaría dispuesto a que se le hiciera un cargo en su recibo de agua para pagar un sistema de captación de lluvia que ayude a resolver la falta de agua en su casa?

si	no
----	----

58. ¿Estaría dispuesto a pagar de su bolsillo un sistema de captación de lluvia tradicional de un costo de 35 a 50 mil pesos que ayude a resolver la falta de agua en su casa?

si	no
----	----

59. ¿Estaría dispuesto a pagar de su bolsillo un sistema de captación de lluvia económico de un costo menor a 10 mil pesos que ayude a resolver la falta de agua en su casa?

si	no
----	----

60. ¿Podría proporcionar algún comentario con respecto al tema?

(pregunta abierta)
--------------------

A continuación se deja el link para el acceso digital del cuestionario:

<https://goo.gl/forms/Xj41F80uLRuFa8ZW2>

los resultados de la encuesta por lo extenso de la hoja de cálculo no se presentan impresos, pero se deja el link para la descarga del archivo:

[https://drive.google.com/open?id=1r\\_jXyG5DBRZ6SaMk0Tjbyrj-Jdz2lkyN](https://drive.google.com/open?id=1r_jXyG5DBRZ6SaMk0Tjbyrj-Jdz2lkyN)

# Agisoft Metashape

Processing Report  
14 October 2019



# Survey Data

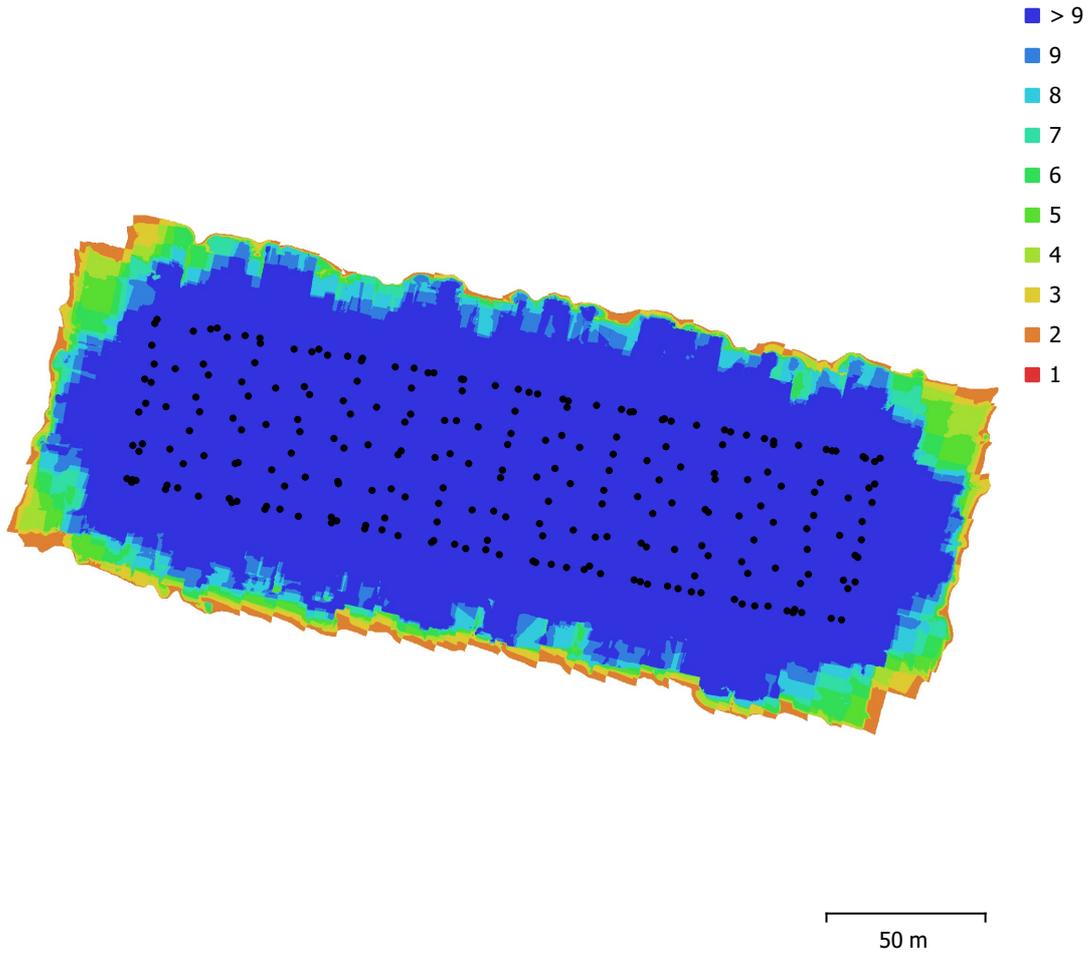


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	241	Camera stations:	241
Flying altitude:	51.2 m	Tie points:	277,845
Ground resolution:	1.47 cm/pix	Projections:	1,072,023
Coverage area:	0.0331 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	1.69 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 $\mu$ m	No

Table 1. Cameras.

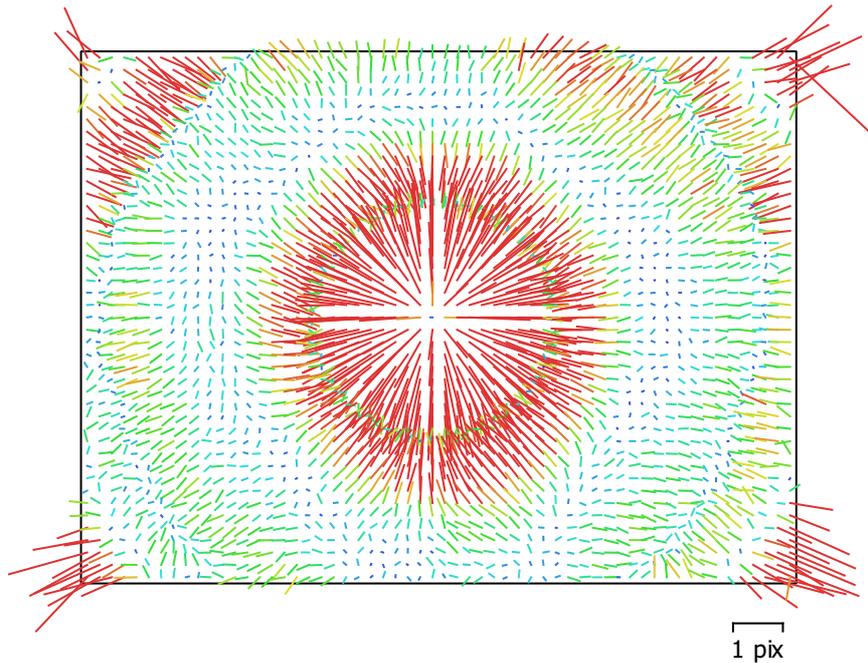


Fig. 2. Image residuals for FC220 (4.73mm).

## FC220 (4.73mm)

241 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
<b>Frame</b>	<b>4000 x 3000</b>	<b>4.73 mm</b>	<b>1.57 x 1.57 <math>\mu\text{m}</math></b>

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3268.46</b>	0.77	1.00	0.15	-0.99	0.75	-0.33	0.39	0.12	-0.92
<b>Cx</b>	<b>-30.5081</b>	0.05		1.00	-0.14	0.11	-0.05	0.06	0.88	-0.13
<b>Cy</b>	<b>-90.4518</b>	0.26			1.00	-0.76	0.34	-0.40	-0.12	0.95
<b>K1</b>	<b>0.0533832</b>	0.00017				1.00	-0.83	0.83	0.10	-0.78
<b>K2</b>	<b>-0.166948</b>	0.00046					1.00	-0.99	-0.04	0.34
<b>K3</b>	<b>0.178856</b>	0.0006						1.00	0.04	-0.39
<b>P1</b>	<b>8.26947e-006</b>	5.2e-006							1.00	-0.12
<b>P2</b>	<b>0.00073708</b>	2e-005								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Camera Locations

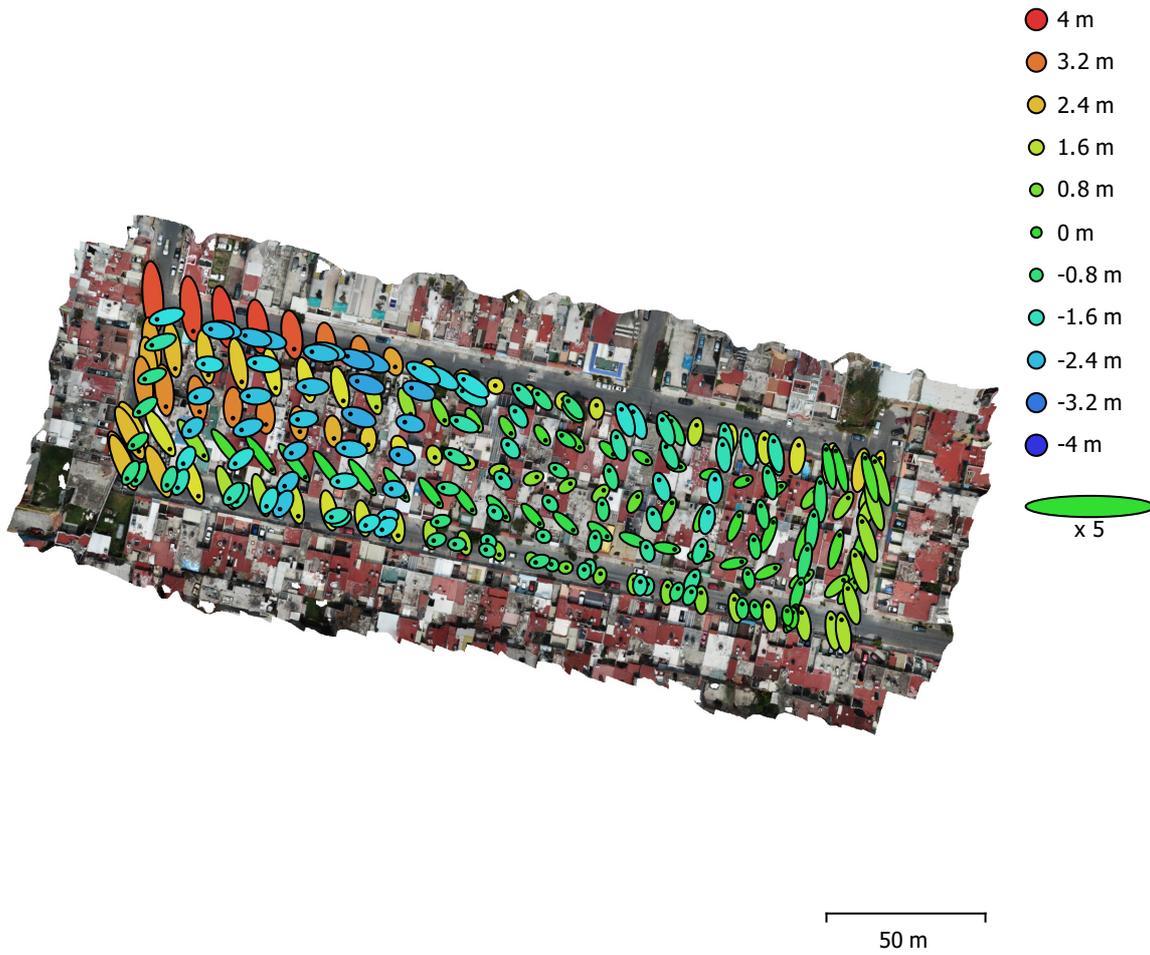


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.603549	1.17743	1.64362	1.32311	2.11

Table 3. Average camera location error.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.



Fig. 4. Camera orientations and error estimates.  
Arcs represent yaw error estimates.

Yaw error (°)	Pitch error (°)	Roll error (°)	Total error (°)
5.98449	0.73583	0.758463	6.07707

Table 4. Average camera rotation error.

# Digital Elevation Model

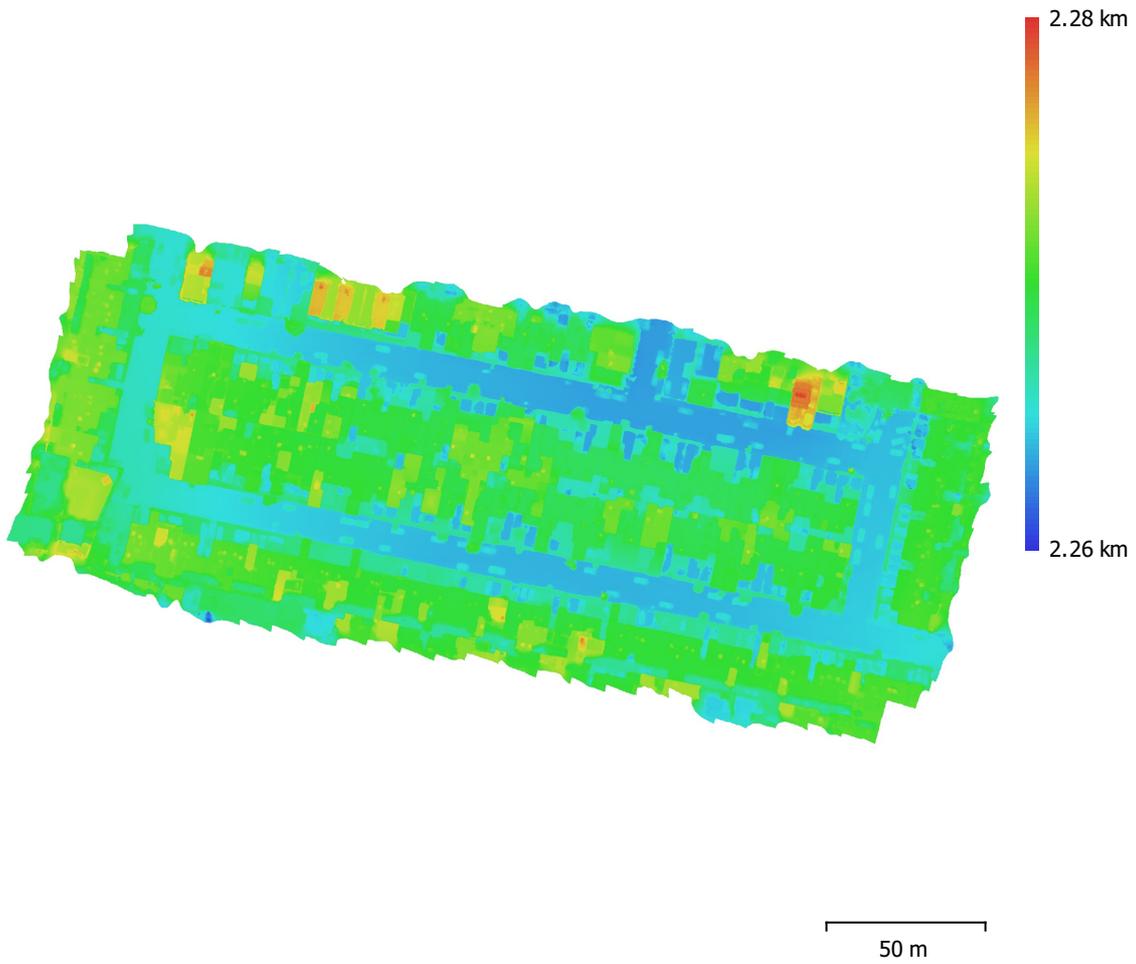


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 5.87 cm/pix  
Point density: 290 points/m<sup>2</sup>

# Processing Parameters

217

## General

Cameras	241
Aligned cameras	241
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

## Point Cloud

Points	277,845 of 301,921
RMS reprojection error	0.207115 (1.68883 pix)
Max reprojection error	0.625141 (54.1405 pix)
Mean key point size	8.11849 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.24224

## Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	500,000
Tie point limit	25,000
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	3 minutes 20 seconds
Alignment time	4 minutes 56 seconds

## Dense Point Cloud

Points	15,109,252
Point colors	3 bands, uint8

## Reconstruction parameters

Quality	Medium
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	27 minutes 2 seconds
Dense cloud generation time	15 minutes 53 seconds

## Model

Faces	3,021,850
Vertices	1,513,414
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

## Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	Medium
Depth filtering	Aggressive
Face count	3,021,850
Processing time	13 minutes 1 seconds

## Texturing parameters

Mapping mode	Adaptive orthophoto
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	38 seconds

**General**

Blending time 13 minutes 28 seconds

**Tiled Model**

Texture 3 bands, uint8

**Reconstruction parameters**

Source data Dense cloud

Tile size 2048

Enable ghosting filter No

Processing time 47 minutes 23 seconds

**DEM**

Size 6,640 x 3,758

Coordinate system WGS 84 / UTM zone 14N (EPSG::32614)

**Reconstruction parameters**

Source data Dense cloud

Interpolation Enabled

Processing time 33 seconds

**Orthomosaic**

Size 21,251 x 11,227

Coordinate system WGS 84 / UTM zone 14N (EPSG::32614)

Colors 3 bands, uint8

**Reconstruction parameters**

Blending mode Mosaic

Surface DEM

Enable hole filling Yes

Processing time 6 minutes 21 seconds

**Software**

Version 1.5.0

Platform Windows 64