



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO URBANO DE
LA COMUNIDAD RURAL CONGREGACIÓN “EL
PALMAR” EN EL MUNICIPIO DE PAPANTLA DE
OLARTE, VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

CRISTIAN MICHEL MARTÍNEZ ALVARADO

TUTOR:

M.I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

Aceptación de Trabajo Escrito

DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA U.N.A.M.

Presente.

En relación con el Examen Profesional de **MARTINEZ ALVARADO CRISTIAN MICHEL**, registrado con número de cuenta **411087050** en la carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, del cual hemos sido designados sinodales, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo escrito desarrollado por el citado alumno.

Atentamente.

M.I. ALBA BEATRIZ VAZQUEZ GONZALEZ

FECHA DE ACEPTACIÓN: 10-02-2017

M.I. CRISTIAN EMMANUEL GONZALEZ REYES

FECHA DE ACEPTACIÓN: 10/02/17

DR. ENRIQUE CESAR VALDEZ

FECHA DE ACEPTACIÓN: 10/02/017

ING. ALBERTO ARIAS PAZ

FECHA DE ACEPTACIÓN: 10-02-17

ING. JAVIER MANCERA ALEJANDREZ

FECHA DE ACEPTACIÓN: 10-02-17

FECHA DE EMISIÓN: **31 de Enero de 2017**



Índice

Introducción	1
Objetivos	2
Objetivos particulares	2
Justificación	2
Alcances	2

Capítulo I. Congregación “El Palmar”

I.1 Localización	I-1
I.2 Vías de acceso	I-1
I.3 Fisiografía	I-2
I.4 Hidrografía	I-3
I.5 Clima	I-3
I.6 Demografía	I-3
I.7 El Palmar y su grado de marginación	I-5

Capítulo II. Estudios preliminares

II.1 Periodo de diseño	II-1
II.2 Población proyecto	II-1
II.3 Análisis de la demanda	II-3
II.3.1 Consumo	II-3
II.3.2 Demanda	II-4
I.3.2.1 Uso de agua en El Palmar	II-7
II.3.3 Análisis del consumo no doméstico	II-9
II.3.4 Dotación	II-10
II.3.5 Gasto de diseño	II-10
II.3.6 Gasto máximos diario y horario	II-11

Capítulo III. Estudios de la calidad del agua

III.1 Métodos de muestreo de aguas	III-2
III.1.1 Equipamiento de muestreo	III-2
III.1.2 Procedimiento de muestreo	III-2



III.1.3 Transporte, estabilización y almacenamiento de la muestra	III-4
III.1.4 Identificación de la muestra y registros.....	III-4
III.2 Sitios de muestreo	III-5
III.2.1 Muestra M1.....	III-6
III.2.2 Muestra M2.....	III-7
III.2.3 Muestra M3.....	III-9
III.2.4 Muestra M4.....	III-10
III.2.5 Muestra M5.....	III-11
III.3 Conclusiones del análisis físico-químico	III-12

Capítulo IV. Análisis cuantitativo de aguas subterráneas

IV.1 Estratigrafía	IV-1
IV.2 Estudio hidrogeológico.....	IV-4
IV.2.1 Censo de captaciones	IV-4
IV.2.2 Piezometría	IV-6
IV.2.3 Prueba de bombeo.....	IV-9
IV.3 Exploración geofísica	IV-10
IV.3.1 Secciones geoeléctricas	IV-11
IV.4 Conclusiones del análisis cuantitativo de aguas subterráneas.....	IV-15

Capítulo V. Abastecimiento de agua potable

V.1 Obra de captación	V-1
V.2 Línea de conducción	V-5
V.2.1 Curva del sistema	V-5
V.2.2 Ubicación de válvulas	V-6
V.3 Desinfección	V-8
V.3.1 Hipoclorito de Calcio	V-8
V.4 Tanque de regulación	V-9
V.4.1 Tanques superficiales de tierra y mampostería	V-9
V.4.2 Cálculo de volúmenes del tanque de regulación	V-10
V.5 Sistema de distribución	V-12
V.5.1 Diseño de la red de distribución	V-13



V.5.2 Diseño de la red con ayuda del programa EPANET	V-16
V.5.2.1 Análisis a periodo extendido	V-20
V.6 Recomendaciones para la construcción de la línea de conducción y red de distribución	V-24
V.6.1 Almacenamiento	V-24
V.6.2 Trazo	V-24
V.6.3 Excavación	V-24
V.6.4 Plantilla	V-25
V.6.5 Atraques	V-25
V.6.6 Relleno de zanjas.....	V-26

Capítulo VI. Alcantarillado

VI.1 Descripción de los principales componentes de un sistema de alcantarillado y su función	VI-1
VI.2 Diseño hidráulico	VI-3
VI.2.1 Gastos de diseño	VI-3
VI.2.2 Variables hidráulicas	VI-5
VI.3 Diseño de la red de alcantarillado con el uso del programa EPA SWMM.....	VI-6
VI.3.1 Cálculo de aportes externos	VI-9
VI.3.2 Tormenta de diseño y pluviómetro	VI-9
VI.4 Diagrama de la metodología para el equilibrio de la red de alcantarillado	VI-14
VI.5 Planta de tratamiento de aguas residuales	VI-15

Capítulo VII. Conclusiones

Bibliografía

Anexo A. Cuantificación de obra

Anexo B. Cuestionario propuesto para levantamiento de información de campo

Anexo C. Características del sistema de abastecimiento y alcantarillado

Anexo D. Isoyetas de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno



Introducción

El presente proyecto ofrece la solución a la problemática de agua potable en la que se encuentra la comunidad congregación “El Palmar”; con el fin de lograr esto, se realizaron los estudios previos necesarios para recopilar la información y posteriormente realizar un análisis de datos a fin de compilar un proyecto ejecutivo, en el que se presenten el diseño de cada una de las estructuras que conforman al sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado

La etapa inicial del proyecto comprende la recopilación de información sobre la comunidad, siendo ésta el fundamento del proyecto. Dicha etapa se encuentra descrita en los Capítulos I y II, donde se presenta en primer lugar información básica de la zona de estudio considerando aspectos físicos, climáticos y demográficos. Posteriormente se realiza un análisis de los hábitos de consumo diario de agua de los habitantes de la comunidad, con base en una encuesta realizada, para concluir con la dotación necesaria por cada habitante.

Como siguiente etapa se realizaron estudios cualitativos y cuantitativos del agua en la zona de estudio, presentados en el capítulo III y IV respectivamente. El estudio cualitativo se conforma de los muestreos realizados con el fin de la obtención de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que determinan la calidad del agua. Por otro lado, en el estudio cuantitativo se realizó el análisis litológico y censo de captaciones con el propósito de caracterizar el tipo de acuífero y determinar la capacidad subterránea de éste; sin embargo, con el fin de comprender de mejor manera el flujo subterráneo fue necesario realizar una exploración geofísica, que de igual manera ayudaría a determinar, en conjunto con el estudio cualitativo, el lugar adecuado para la ubicación de la estructura de captación de abastecimiento de agua potable en la comunidad.

La etapa final consiste en el diseño de cada uno de los elementos que conforman al sistema de abastecimiento y alcantarillado sanitario, presentes en los capítulos V y VI, con base en la información recopilada en la primera etapa y los estudios realizados para la segunda. En el capítulo V se realiza el diseño del sistema de abastecimiento, presentando los cálculos y planos necesarios de cada una de las estructuras, el sistema contempla la obra de captación, tren de descarga, sistema de desinfección, línea de conducción, tanque de almacenamiento y red de distribución, además se presentan los elementos de protección necesarios para el funcionamiento adecuado de cada estructura. Al final de este capítulo se presentan algunas recomendaciones sobre la construcción del sistema de abastecimiento, que incluye el almacenamiento de las tuberías, el trazo, excavación y relleno de zanjas, además de la construcción de plantillas y atraques.

Por otra parte el capítulo VI comprende el sistema de alcantarillado sanitario, en el cual se determinó la ubicación y profundidad de los pozos de visita, la pendiente de los tubos intentando realizar la menor excavación posible y la ubicación de una planta de tratamiento de aguas residuales.



Objetivo

Diseñar el sistema hidráulico urbano de la comunidad rural El Palmar en el Municipio de Papantla de Olarte, Veracruz de Ignacio de la Llave.

Objetivos particulares

1. Utilizar software de dominio público para el diseño de los sistemas
2. Aplicar conocimientos de dibujo en software para la elaboración de planos
3. Generar los entregables de un proyecto ejecutivo

Justificación

Durante el proceso de planeación de la “Autopista Cardel – Poza Rica”, en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) determinó el cruce sobre terrenos pertenecientes a la comunidad rural “Congregación El Palmar”, correspondiente al municipio de Papantla de Olarte.

Estas situaciones están previstas en la legislación nacional, como lo establece el convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes en el artículo 6 y 7, los cuales establecen la necesidad de consultar a las comunidades rurales con el fin de definir las prioridades para el mejoramiento de la calidad de vida.

Esta comunidad, al encontrarse en una situación de marginación no cuenta con todos los servicios básicos, como el suministro de agua potable, además que es considerado un recurso escaso en la zona. La SCT, al realizar la consulta indígena en la comunidad llegó a un acuerdo en el cual se compromete a la integración de un proyecto ejecutivo de agua potable y alcantarillado.

En virtud de lo anterior, la SCT solicitó apoyo a la Facultad de Ingeniería de la UNAM a través de la División de Ingeniería de Ciencias de la Tierra quien a su vez solicitó el apoyo de la División de Ingenierías Civil y Geomática.

Alcances

El proyecto realizado para la comunidad rural “Congregación El Palmar”, contempla el diseño de cada una de las estructuras necesarias para el abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Las estructuras diseñadas en este proyecto para el sistema de abastecimiento son: pozo de extracción de agua, tren de descarga, línea de conducción, tanque de almacenamiento y red de distribución. Por otro lado el sistema de alcantarillado sanitario únicamente abarca la red de atarjeas y un sistema de tratamiento paquete.



Capítulo I. Descripción del sitio congregación “El Palmar”



I. Congregación “El Palmar”

La primera etapa para el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable consiste en la recopilación de información, en este capítulo se presenta toda esa información básica que describe a la comunidad.

I.1 Localización

La comunidad congregación “El Palmar” pertenece al municipio de Papantla, ubicado al centro del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. La comunidad se localiza a aproximadamente 10 km al oriente de la cabecera municipal Papantla de Olarte, por la carretera federal 180, Poza Rica - Veracruz. Existen pequeñas comunidades en las cercanías a la zona de estudio como Totomoxtle al noreste y Ejido el Palmar al noroeste (Figura I.1).

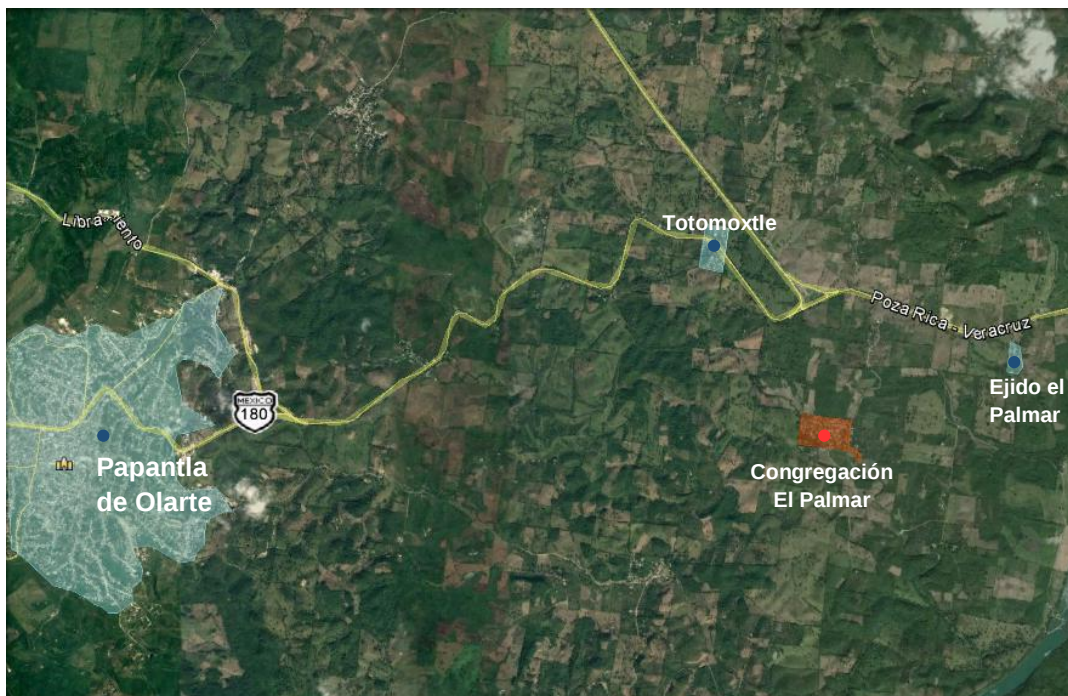


Fig. I. 1 Localización de la comunidad congregación “El Palmar” Fuente: Google Earth

I.2 Vías de acceso

Las carreteras federales más cercanas a la comunidad son la 180 Poza Rica – Veracruz y la 180 D que conecta Poza Rica con Papantla (Figura I.1). El acceso principal a la comunidad consiste en un camino de terracería en condiciones regulares que en temporada de lluvias pierde capacidad; dicho camino está conectado a la carretera 180.



I.3 Fisiografía

La fisiografía es la parte de la geografía que se encarga del estudio de la superficie terrestre así como la identificación de los principales rasgos del relieve. México cuenta con relieve muy variado, desde cadenas montañosas hasta planicies costeras, por lo que la República Mexicana fue dividida en 15 provincias fisiográficas (INEGI 2008).

El municipio de Papantla se encuentra dentro de la región de la llanura costera del Golfo norte, la cual se extiende desde Estados Unidos por las costas de Texas, Lousiana, Tamaulipas, Veracruz y el estado de Nuevo León. Sus llanuras y lomeríos se encuentran formados por materiales marinos cubierto de aluviones.

La zona de estudio está conformada principalmente por lomeríos bajos (Figura I.2 y Figura I.3) utilizados principalmente para la ganadería.

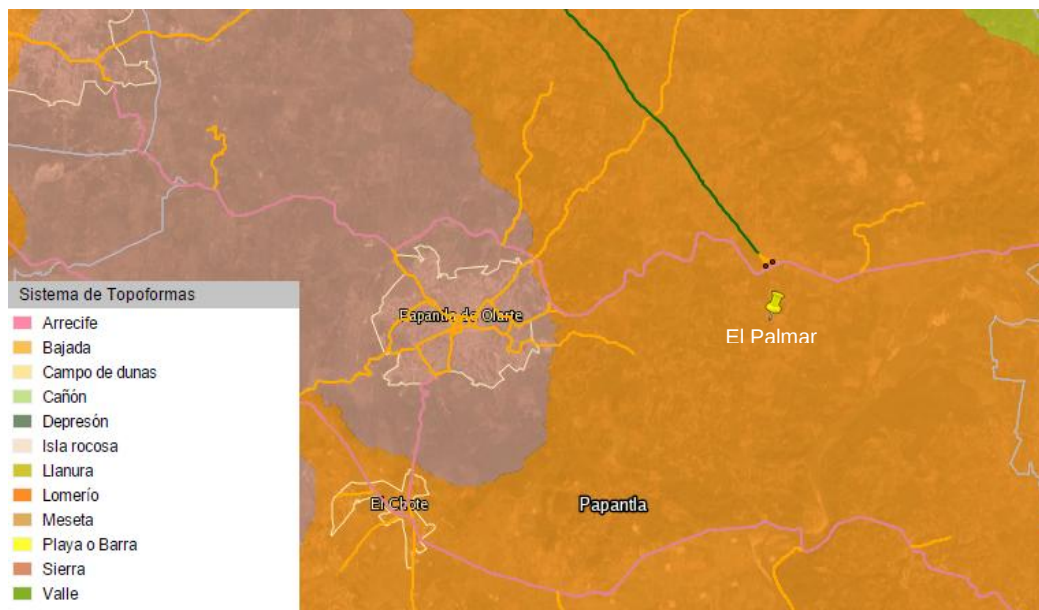


Fig. I. 2 Fisiografía característica de la zona de estudio. Fuente: INEGI





I.4 Hidrografía

La Hidrografía es el área de la geografía que se encarga de la descripción de ríos, arroyos y cuerpos de agua en general. La República Mexicana tiene tres vertientes: la occidental o del Pacífico; la oriental, que incluye las aguas descargadas al Golfo y al Mar Caribe y la vertiente interior (INEGI 2008).

La litoral del Golfo de México, se caracteriza por una topografía muy plana y con algunas lagunas costeras. El área de estudio pertenece a la cuenca del río Tecolutla (Figura I.4), en esta zona se encuentran pequeños ramales que se conectan al cauce principal del río Tecolutla el cual desemboca en el Golfo de México.

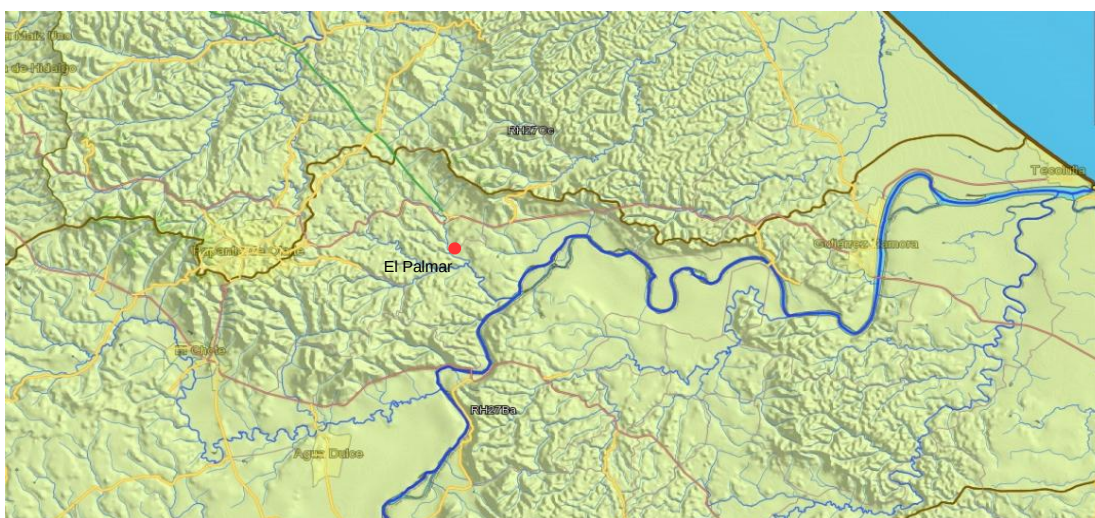


Fig. I. 4 Localización de la comunidad El Palmar dentro de la cuenca del río Tecolutla.
Fuente: Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL)

I.5 Clima

El clima predominante en la zona de estudio es cálido subhúmedo (Figura I.5) con lluvias en verano, con una temperatura promedio que oscila entre 24 – 26°C; sin embargo, en primavera y verano es posible que se registren temperaturas de hasta 32°C. Durante la temporada de lluvias se llegan a registrar precipitaciones de 1100 a 1600 mm en promedio.

I.6 Demografía

Acorde al último censo en la comunidad “El Palmar” realizado en 2010, hay un total de 118 viviendas habitadas y una población total de 587 habitantes, los cuales se distribuyen por edades, como se muestra en la Figura I.6. Se presenta un índice de masculinidad¹ hombre-mujer de 88.14.

¹ Índice de masculinidad: Cantidad de hombres por cada 100 mujeres.

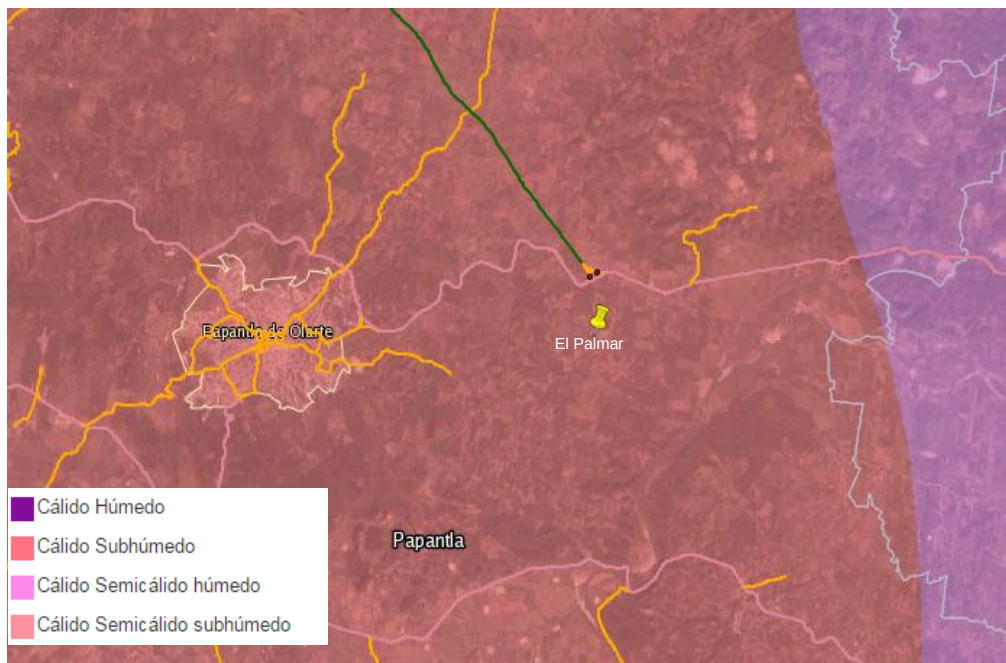


Fig. I. 5 Clima característico de la zona de estudio. Fuente: INEGI

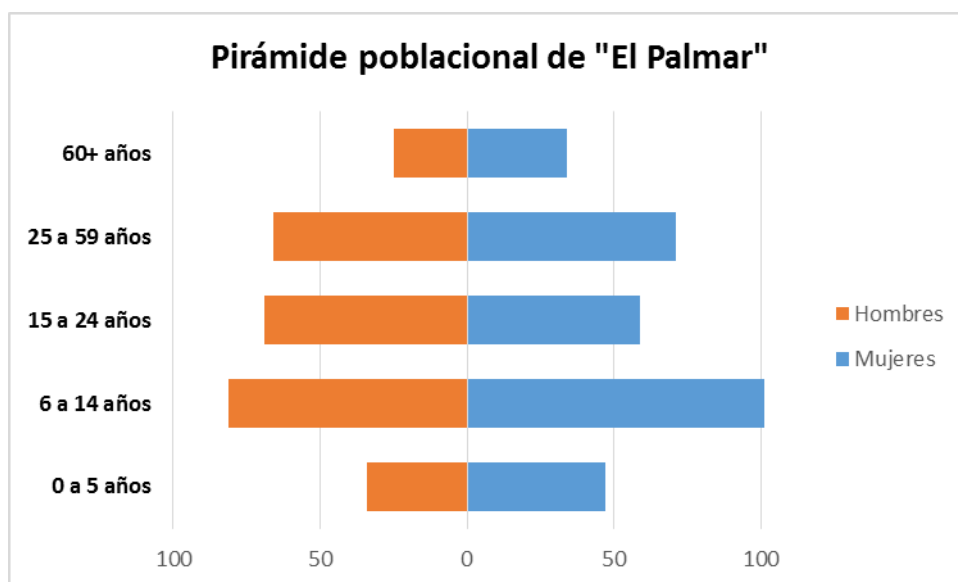


Fig. I. 6 Pirámide poblacional de la comunidad “El Palmar”.
Fuente: Elaboración propia, datos censales 2010 INEGI



La fecundidad² es de 3.03 y se tiene un porcentaje de analfabetismo del 8.35% del cual las mujeres representan la mayoría, con el 6.99% de la población analfabeta mientras que los hombres solo representan el 1.36%. El 49.4 % de la población habla alguna lengua indígena por lo que la zona de estudio se considera como una comunidad predominantemente indígena.

I.7 El Palmar y su grado de marginación

La marginación se define como un fenómeno multidimensional y estructural que es provocado principalmente por el modelo de producción económico en el cual la distribución del progreso es desigual, excluyendo ciertos grupos sociales del desarrollo social y económico. Esto quiere decir que la marginación agrupa diversos factores que son indicadores de carencias de oportunidades sociales y la ausencia para adquirirlas o generarlas, así como la inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar (CONAPO 2013).

Una población rural es descrita por INEGI como aquella que cuenta con menos de 2,500 habitantes. Sin embargo, existen otras características que permiten distinguir a una población urbana de una rural; por ejemplo, el nexo cercano que tienen los pobladores de estas localidades con el medio ambiente, las actividades económicas realizadas o los acceso a servicios básicos de salud, de servicios públicos o infraestructura. Localidades con estas características cuyas actividades económicas se centran en la agricultura y ganadería son más propensas a presentar altos índices de marginación ya que el acceso a esas zonas suele ser difícil.

Para medir el nivel de marginación el CONAPO creó una medida que resume el impacto global de las carencias de una localidad, el cual es denominado *índice de marginación*; este índice considera cuatro dimensiones estructurales (Figura I.7) que afectan directamente al nivel de vida en entidades federativas y municipios. Para tener una mejor comprensión del grado de marginación en una localidad el índice de marginación puede ser agrupado en rangos, dividiendo el grado de marginación en cinco grupos mostrados en la tabla I.1

Tabla I. 1 Grado de marginación en función del índice de marginación

Grado de marginación	Índice de marginación
Muy Bajo	-1.52944 a -1.15143
Bajo	-1.15143 a -0.39539
Medio	-0.39539 a -0.01738
Alto	-0.01738 a 0.73866
Muy Alto	0.73866 a 2.25073

Fuente: CONAPO, 2001

² Fecundidad: Número de hijos que en promedio tendría una mujer.

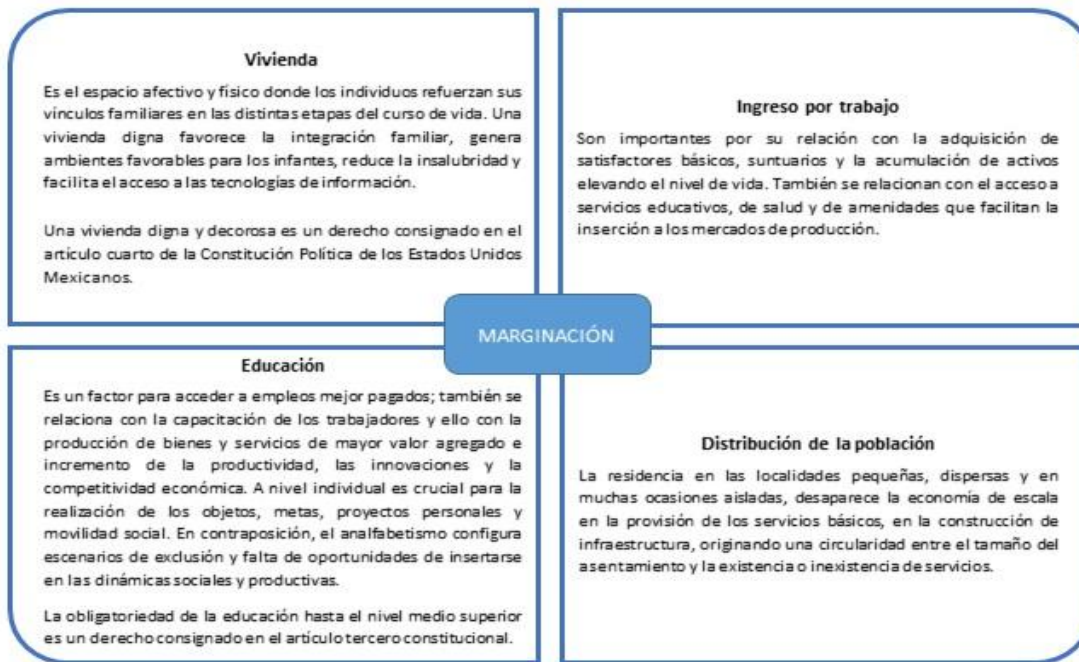


Fig. I. 7 Dimensiones de la marginación. Fuente: CONAPO

Analizando las cuatro dimensiones estructurales de la marginación, con base en los cuestionarios realizados en campo (Anexo B) y los datos demográficos descritos en la sección I.1.6, en el ámbito de distribución de la población se observó que la comunidad no se encuentra dispersa y ha permanecido sin cambios considerables en el crecimiento o desarrollo social por un periodo extenso, esto debido a que alrededor del 76% de los habitantes han residido por más de 10 años en la misma vivienda lo cual les ha permitido conservar su estilo de vida y tradiciones.

En el ámbito de vivienda se ha observado que estas suelen ser de poca capacidad con un promedio de 2 habitaciones, habitadas principalmente por familias extendidas de aproximadamente 6 integrantes, siendo únicamente el jefe de familia quien tiene algún ingreso para el sustento familiar -- en el 53% de los casos -- con la agricultura como su principal actividad económica.

El analfabetismo en la comunidad ya no es un problema común debido a que en años anteriores se realizaron campañas de alfabetización para mejorar el ámbito educativo; sin embargo, el máximo nivel de estudios dentro de la comunidad es a nivel secundaria y si se desea estudiar a nivel medio superior es necesario trasladarse a alguna comunidad externa que cuente con una mejor infraestructura, en este caso a la ciudad de Papantla, pero debido a que en la mayoría de los casos solo el jefe de familia es quien obtiene ingresos no es posible cubrir los gastos de traslado diario obligando a los estudiantes dejar sus estudios en ese nivel.

Tomando en cuenta todas las características descritas, el CONAPO considera a la comunidad “El Palmar” con un grado de marginación *alto*.



Capítulo II. Estudios preliminares



II. Estudios preliminares

En el capítulo pasado se definieron las características de la comunidad, pero un aspecto importante para el diseño de un sistema de abastecimiento es conocer a la población que se abastecerá, este capítulo se enfoca en describir el tamaño y los hábitos de consumo de agua de esta comunidad.

II.1 Periodo de diseño

El periodo de diseño es el intervalo de tiempo en el cual se estima que la obra llegue a su punto de saturación, y no cumplirá con el funcionamiento adecuado después de este intervalo.

Para sistemas de distribución de agua en comunidades rurales la vida útil del proyecto se encuentra en un rango de 15 a 25 años. Por otro lado, el periodo de diseño puede ser de hasta 25 años en el caso que sea un área remota alejada de proyectos futuros de desarrollo; sin embargo, en un área donde se planea construir una carretera o se tengan planes de desarrollo se debe considerar un periodo de diseño más corto (Thomas D. 1988).

Dado que en este proyecto se planea construir la autopista “Cardel - Poza Rica” en las cercanías de la comunidad de El Palmar se ha optado por definir un periodo de diseño de 10 años, ya que no se puede estimar con precisión la demanda en un largo plazo.

II.2 Población de proyecto

Definido el periodo de diseño se obtuvo la población futura a la que se tendrá que abastecer al finalizar dicho intervalo. Para esto se siguieron los lineamientos de la norma técnica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) NT-011-cna-2001, la cual establece procedimientos para la proyección de población en función de la información disponible y otros factores distintivos.

Ya que se dispone únicamente de información de CONAPO e INEGI, el caso más adecuado de los considerados por la norma es en C-1, Tabla II.1.

Tabla II. 1 Información requerida para el caso C-1

Caso	Información disponible	Fecha inicial, horizonte y delimitación geográfica.	Otros factores (trascendencia, estructura social, migración, limitantes, etc.)
C-1	No hay proyecciones de CONAPO o similares pero si hay censos recientes y acceso a catastro o estadísticas de organismos locales (registro civil, IFE, SEP, CFE, SSA, etc.).	Los datos base corresponden a la misma delimitación geográfica necesaria para el estudio en proceso.	Solo se requiere el dato de población total, se considera que permanecerá el mismo índice de marginalidad y estructura socioeconómica y movimientos migratorios similares.

Fuente: NT-011-cna-2001



Para este caso la norma NT-011-cna-2001 de CONAGUA propone el siguiente procedimiento:

1. Determinar tasa de crecimiento promedio entre los dos últimos censos o conteos (los más recientes). Aplicando la fórmula:

$$Tc\% = \frac{P_{i+1}}{P_i}^{1/n} - 1 \cdot 100$$

2. Verificar crecimientos observados por otras instituciones, especialmente tratando de detectar las tasas de crecimiento para periodos más cortos y para el último año o periodo.
3. Comparar las diferentes tasas obtenidas. Decidir la más razonable (creíble y comprobable) para la época actual.
4. Interdisciplinariamente proponer las tasas de crecimiento para cada periodo en el futuro. (También, si existen para región o municipio y el mismo horizonte pueden emplearse las tasas de crecimiento que proponga CONAPO, pero revisándolas por efectos particulares de la localidad).
5. Hacer la proyección, aplicando la fórmula:

$$P_{i+1} = P_i(1 + Tc)^n$$

Los últimos datos censales son mostrados en la tabla II.2:

Tabla II. 2 Datos demográficos

Año	2005			2010		
Datos demográficos	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Total de población en la localidad	276	296	572	275	312	587
Viviendas particulares habitadas	102			118		

Fuente: CONAPO

Con estos datos se obtiene la tasa de crecimiento promedio:

$$Tc\% = \frac{587}{572}^{\frac{1}{5}} - 1 \cdot 100 = 0.519\%$$

El CONAPO agrupa a pequeñas comunidades del municipio de Papantla (124) en un grupo denominado “Resto” de las cuales se tienen datos censales, mismos que se muestran en la tabla II.3.

Tabla II. 3 Población resto del municipio

Año	2010	2011	...	2026
Total de población en el resto del municipio	94, 826	95,235	...	102,000

Fuente: CONAPO

Se obtiene la tasa de crecimiento promedio para el periodo 2010 – 2026:



$$Tc\% = \frac{102\,000}{94\,826} \frac{1}{16} - 1 \cdot 100 = 0.457\%$$

Como se observa la tasa de crecimiento se encuentra en un rango de 0.45% - 0.52%. Debido a la incertidumbre en el comportamiento del tamaño de la población a causa de la construcción de la carretera se tomará el valor máximo considerando el escenario más desfavorable.

La proyección de la población se calcula como:

$$P_{i+1} = 587\,1 + 0.00519 \cdot 16$$

$$P_{i+1} = 638 \text{ hab}$$

II.3 Análisis de la demanda

II.3.1 Consumo

El consumo de agua se determinó de acuerdo al tipo de usuario, se dividió según su uso en doméstico y no doméstico; el consumo doméstico se subdivide según las características socioeconómicas de la población en residencial, medio y popular. El consumo no doméstico incluye el comercial, el industrial y de servicios públicos, como se puede observar en la Figura II.1.

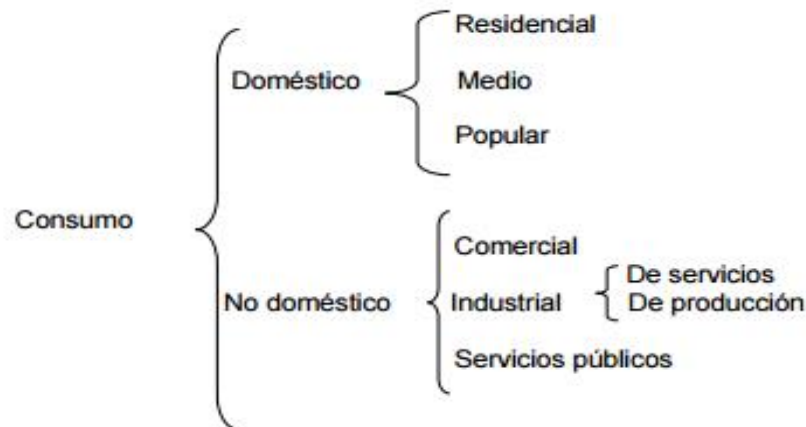


Fig. II. 1 Clasificación del consumo conforme a su uso. Fuente: MAPAS

Consumo doméstico

Se refiere al agua usada en las viviendas. Este consumo depende principalmente de los hábitos de los usuarios, teniendo como factores influyentes el clima y la clase socioeconómica de los usuarios.



Consumo no doméstico

La CONAGUA define en su Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento el consumo no domestico como:

- Consumo comercial. Es el que se utiliza en zonas de comercio y servicios por personas que no habitan en estas.
- Consumo industrial. Este consumo lo constituye el agua de uso para empresas, fábricas y hoteles; se determina en función del tipo de industria.
- Usos públicos. Es el agua que se utiliza en instalaciones de salud, educación, recreación, seguridad, riego de parques y jardines, combate de incendios, etc. En pequeñas localidades, salvo casos especiales, se considera innecesario proyectar sistemas de abastecimiento de agua potable que incluyan protección contra incendios.

II.3.2 Demanda

La demanda consiste en el total del agua que es requerida en la comunidad al finalizar el periodo de diseño, incluyendo el uso doméstico y no doméstico. Para identificar los posibles consumos futuros de agua se deberá realizar un análisis directo en la comunidad, además es posible utilizar datos de instituciones u oficinas del gobierno que incluyan información del consumo. El estudio que consiste en la recopilación y procesamiento de los datos de consumo es nombrado “análisis de la demanda”.

Para el análisis de la demanda de la comunidad El Palmar se levantó un cuestionario en una muestra representativa de la comunidad, para registrar sus hábitos de consumos actuales y predecir los futuros. Para el levantamiento de la información se dimensionó una muestra probabilística de la población; para esto se determinó el número mínimo de unidades de análisis que aseguraría el menor error estándar posible.

La población, acorde a datos proporcionados por CONAPO, cuenta con 587 habitantes y 118 viviendas habitadas; el promedio de habitantes por vivienda (hab/vivienda) es de 4.97. Con esta información se determinó el tamaño de la muestra con un error estándar del 2%, considerando los siguientes datos:

$N = 587$ habitantes

$Se = 0.02$ (error estándar)

$p = 0.9$ (probabilidad de ocurrencia de y)

La varianza de la población y de la muestra es calculada como:

$$V = Se^2 = (0.02)^2 = 0.0004 \text{ varianza de la población}$$

$$S^2 = p \ 1 - p = 0.09 \text{ (varianza de la muestra)}$$



El tamaño de la muestra n' se define como:

$$n' = \frac{S^2(\text{varianza de la muestra})}{V(\text{varianza de la población})} = \frac{0.09}{0.0004} = 225$$

El tamaño real de la muestra se calcula como:

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} = \frac{225}{1 + \frac{225}{587}} = 163 \text{ hab}$$

Dado que las entrevistas se realizarán por vivienda y no por habitante se concluyó que el número de viviendas que representa a la muestra probabilística es:

$$n^{\circ} \text{ viviendas} = \frac{n(\text{tamaño de la muestra})}{\text{hab/vivienda}} = \frac{163 \text{ hab}}{4.97 \text{ hab/vivienda}} = 32.69 \text{ viviendas}$$

Por lo que es necesario levantar 33 cuestionarios para que la muestra sea representativa.

Se diseñó un cuestionario que constó de 40 preguntas (Anexo B) sobre la calidad de vida y hábitos de consumo de agua en la comunidad de “El Palmar”. La ubicación de las viviendas encuestadas es la que se observa en la figura II.2 y tabla II.4.



Fig. II. 2 Ubicación de las viviendas censadas



Tabla II. 4 Localización de las viviendas censadas

Identificador	Calle	Coordenadas		
		Zona	X	Y
M1	-	14	682839.42	2262269.51
M2	-	14	661729.54	2261999.95
M3	Francisco Javier Mina	14	682964.52	2262199.50
M4	Francisco Javier Mina	14	683089.77	2262223.90
M5	Miguel Hidalgo y Costilla	14	683204.14	2262209.44
M6	Miguel Hidalgo y Costilla	14	683269.77	2262225.22
M7	Josefa Ortiz de Domínguez	14	683078.55	2262162.27
G1	Francisco Javier Mina	14	682791.44	2262174.27
G2	-	14	682822.27	2262246.88
G3	Benito Juárez	14	682943.65	2262226.03
G4	Francisco Javier Mina	14	683090.92	2262197.77
G5	Miguel Hidalgo y Costilla	14	683239.21	2262183.06
G6	Cazuelas	14	683104.36	2262079.51
G7	Cazuelas	14	683186.62	2262058.86
H1	Niño Perdido	14	683291.91	2262026.16
H2	Josefa Ortiz de Domínguez	14	683109.40	2262177.37
H3	San Juan	14	683197.50	2261963.02
H4	San Juan	14	683256.42	2261956.58
H5	San Juan	14	683120.30	2261972.04
H6	Cazuelas	14	683136.38	2262094.31
H7	Ignacio Allende	14	683033.60	2262028.32
H8	José María Morelos	14	682916.60	2262127.02
H9	Cristóbal Colon	14	683215.48	2262016.73
J1	San Juan	14	683168.64	2261951.34
J2	Cazuelas	14	683141.15	2262081.75
J3	Francisco Javier Mina	14	683083.40	2262223.53
J4	Josefa Ortiz de Domínguez	14	683231.47	2261958.47
J5	San Juan	14	683122.30	2261947.46
J6	Ignacio Allende	14	683069.23	2261976.41
J7	Ignacio Allende	14	682997.73	2262048.54
J8	Cuauhtémoc	14	682894.04	2262068.03
J9	Niño Perdido	14	683267.36	2262044.35
J10	Niño perdido	14	683264.18	2262016.33

Entrevistador	Clave
Cristian Emmanuel González Reyes	G
Daniel Huerta Martínez	H
Diana Jiménez	J
Cristian Michel Martínez Alvarado	M



II.3.2.1 Uso del agua en El Palmar

Dado el grado de marginación de la comunidad, El Palmar no cuenta con la infraestructura necesaria para tener un abastecimiento continuo de agua potable, por ello se plantea la posibilidad de la construcción de una red de distribución.

De las encuestas realizadas en campo se observó que la principal fuente de agua potable son las norias hechas a mano por los mismos pobladores de la comunidad de las cuales todos los habitantes obtienen el agua necesaria para sus actividades diarias, aunque hay otras alternativas que son estacionales como la recolección de agua de lluvia o incluso el abastecimiento mediante pipas por parte del municipio en temporada de secas (Figura II.3).



Fig. II. 3 Pipa de agua potable en la comunidad El Palmar

Las norias se encuentran distribuidas por toda la comunidad lo cual facilita la tarea de acarreo hasta el hogar siendo una tarea que comúnmente no representa más de diez minutos, pero esta tarea se vuelve complicada en temporada de estiaje, ya que no todas las norias cuentan con un nivel adecuado, por lo que el tiempo de acarreo se incrementa. Un acarreo por largas distancias puede generar dolores musculares en cuello o espalda pero únicamente el 43% de la población ha presentado ese tipo de síntomas.

La calidad de agua obtenida de las norias es considerada por la mayoría de los habitantes como buena, por lo que puede ser utilizada en las actividades diarias sin riesgo alguno. Las principales actividades diarias en la comunidad es el aseo personal y el lavado de ropa, las cuales en conjunto representan el 69% del total que es usado diariamente (Figura II.4). A pesar de que el lavado de ropa no es una actividad que se lleve a cabo diariamente es una de las que requiere una mayor cantidad de agua.

Debido a que es un recurso escaso, los pobladores suelen cuidarlo usándolo de manera racionada, pero a pesar de eso las aguas grises producto del lavado de ropa o aseo personal no son reutilizadas en otras actividades.



El uso de agua proveniente de las norias en la comunidad para beber no es utilizado por todos los habitantes de la comunidad, no obstante que la mayoría de ellos consideran la calidad del agua como buena, siendo únicamente el 44% de la población quien la bebe, hirviéndola como su único método de desinfección.

El uso del agua en la comunidad podría cambiar a futuro si se construye el sistema de alcantarillado ya que actualmente la mayoría de la comunidad no asigna un porcentaje a ese uso ya que cuentan en su mayoría con letrinas secas. A continuación se presenta la tabla II.5 en la cual se puede observar en promedio el agua que le es asignada a cada actividad.

Tabla II. 5 Promedio de litros utilizados en una vivienda para un día común

Actividad	Promedio (l/vivienda/día)
Riego de Jardines	7.47
Lavar frutas y verduras	9.2
Aseo Personal	66.33
Beber	3
Aseo de la vivienda	13.5
Preparación de alimentos	8.17
Lavar ropa	67.33
Uso de retrete	18
Total	193

Elaboración propia

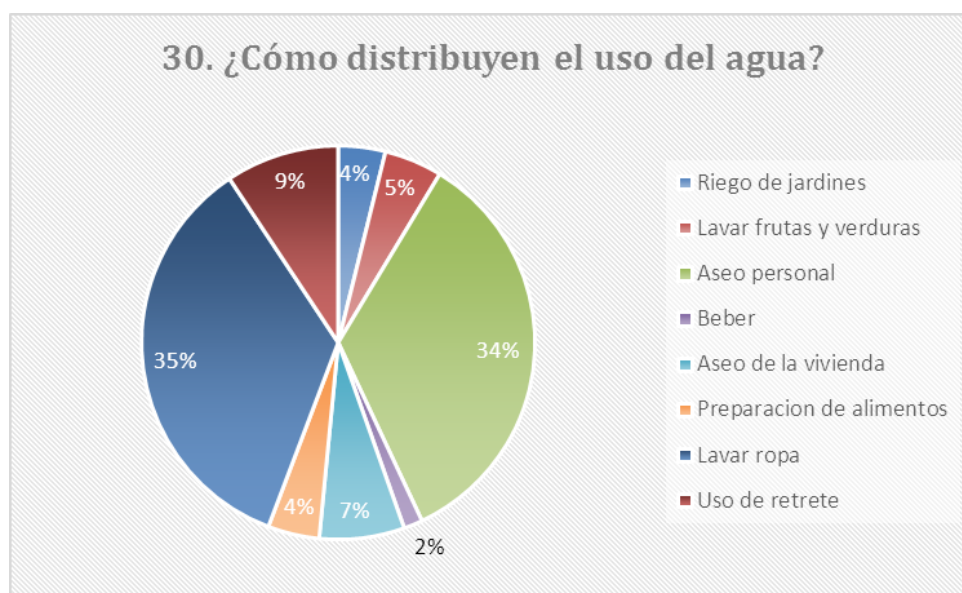


Fig. II. 4 Distribución del agua por actividad típica en la comunidad El Palmar. Elaboración propia



La información recopilada de parte del CONAPO no era reciente por ello la encuesta realizada en campo nos permitió obtener información actualizada. Con los datos obtenidos del censo de 2010, la proyección de población para este año era de 5.13 hab/vivienda; mientras que en los resultados del cuestionario hay de cinco a siete habitantes por vivienda. Por ser datos de campo se pueden considerar más confiables por ello se ha decidido considerar 6 hab/vivienda. Con este dato se puede calcular el consumo doméstico como:

$$\text{Consumo domestico} = \frac{\text{Total promedio}}{\text{Promedio habitantes por vivienda}}$$

$$\text{Consumo domestico} = \frac{193 \text{ l / vivienda/ día}}{6 \text{ habitantes /vivienda}} = 32.17 \text{ l /hab /día}$$

II.3.3 Análisis del consumo no doméstico

Para poder realizar el análisis del consumo no doméstico es necesario conocer los servicios en la comunidad. Los únicos servicios dentro de la comunidad son el jardín de niños o preescolar, escuela primaria y secundaria. Acorde a las entrevistas realizadas en sitio, las cantidades de alumnos con las que cuentan dichas instituciones son las mostradas en la tabla II.6.

Tabla II. 6 Número de estudiantes en “El Palmar” por nivel educativo

Institución	Alumnos
Jardín de niños	25
Escuela primaria	100
Escuela secundaria	55

Fuente: Elaboración propia

En base a las metas fijadas por la OMS para comunidades rurales se propone una demanda en colegios de 10 litros /alumno.

Tabla II. 7 Demanda diaria no doméstica para comunidades rurales

Instalación	Demanda Diaria (litros)	
	Ideal	Mínima
Colegios - Estudiantes regulares	10 l/estudiante	6.5
- Pensionistas	65 l/pensionista	42
Hospitales y postas sanitarias	500 l/cama	325
Clínicas de salud (sin camas)	2500 l/día	1625
Oficinas Gubernamentales	500 - 1000 l/día	325 - 560

(Dependiendo el tamaño)



Con los datos de la tabla II.7 podemos calcular el consumo no doméstico como:

$$\text{Consumo no domestico} = 180 \text{ alumnos/turno} * 10 \text{ l/ alumno/ turno}$$

$$\text{Consumo no domestico} = 1800 \text{ litros}$$

II.3.4 Dotación

La dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas del sistema, en un día medio anual; sus unidades están dadas en l/hab/día.

La dotación media de la localidad se obtiene a partir de un estudio de demandas, dividiendo el consumo total, que incluye servicio doméstico, comercial, industrial y de servicios públicos y las pérdidas físicas de agua, entre el número de habitantes de la localidad (CONAGUA 1994).

Ya que no se considerarán pérdidas físicas en el sistema la dotación se define únicamente como la suma de consumo doméstico y no domestico:

$$\text{Consumo no domestico /habitantes} = \frac{1800 \text{ litros}}{605 \text{ habitantes}} = 2.97 \text{ l/habitante/día}$$

$$\text{Dotacion actual} = 32.17 + 2.97 = 35.14 \text{ l/habitante/día}$$

Dado que los hábitos de consumo en la población es probable que cambien al instalarse el sistema de alcantarillado se considera que por persona el consumo se incrementaría por uso de muebles sanitarios, aproximadamente 15 l/hab/día.

$$\text{Dotación} = 50 \text{ l/hab/día}$$

II.3.5 Gasto de diseño

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio (CONAGUA 1994). El gasto medio es:

$$Q_{\text{med}} = \frac{DP}{86400}$$

Dónde:

Q_{med} = Gasto medio diario en l/s

D = Dotación en l/hab/día

P = Número de habitantes

86400 = segundos/día



Por lo que con los datos obtenidos:

$$Q_{med} = \frac{(50 \text{ l/hab/día})(638 \text{ hab})}{86400}$$

$$Q_{med} = 0.37 \text{ l/s}$$

I.3.6 Gasto máximo diario y horario

Las condiciones climáticas, días de trabajo, etc. tienden a causar amplias variaciones en el consumo de agua. Durante la semana, el lunes se producirá el mayor consumo y el domingo el más bajo. En algunos meses se observará un promedio diario de consumo más alto que el promedio anual. Especialmente, el tiempo caluroso producirá una semana de máximo consumo y ciertos días superarán a otros en cuanto a su demanda. También se producen máximos de demanda durante el día. Habrá un máximo por la mañana al empezar la actividad del día y un mínimo hacia las cuatro de la madrugada.

Los gastos máximo diario y horario, son requeridos para satisfacer las necesidades de la población en un día de máximo consumo, y a la hora de máximo consumo en un año tipo, respectivamente. Para comunidades rurales se recomienda el uso de coeficientes con valores de 1.2 para CVD y 1.5 para CVH (CONAGUA 1994).

El gasto máximo diario se calcula como:

$$Q_{MD} = Q_m \times CVD$$

Dónde:

Q_{MD} = Gasto máximo diario, L/s

Q_m = Gasto medio anual. L/s

CVD = Coeficiente de variación diaria.

$$Q_{MD} = 0.37 \text{ L/s (1.2)}$$

$$Q_{MD} = 0.44 \text{ L/s}$$

El gasto máximo horario se obtiene:

$$Q_{MH} = Q_m \times CVD \times CVH$$

Dónde:

Q_{MH} = Gasto máximo horario, L/s

CVH = Coeficiente de variación horaria

$$Q_{MH} = 0.37 \text{ L/s (1.2)(1.5)}$$

$$Q_{MH} = 0.66 \text{ L/s}$$



Capítulo III. Estudios de la calidad del agua



III. Estudios de la calidad del agua

El ciclo hidrológico participa activamente en la modificación de las características cualitativas del agua, puesto que estas características suelen variar conforme al medio en el que se encuentre presente. La Organización Mundial de la Salud (OMS) define los tipos de contaminantes con los que puede interactuar el agua.

En la atmósfera el agua puede entrar en contacto con gases de efecto invernadero, generalmente provenientes de urbes, los cuales modifican sus características químicas; por ejemplo, el agua al encontrarse en un medio lleno de dióxido de carbono (CO_2) reacciona cambiando la acidez del agua y generando ácido carbónico, dicha agua carbonatada puede provocar problemas de corrosión, sabor amargo e inclusive efectos nocivos a la salud si es bebida. Por otro lado, al caer y llegar a la superficie, el agua forma escorrentías donde queda expuesta a todo tipo de contaminantes como minerales, materia orgánica, desechos de origen vegetal y animal, partículas del suelo, microorganismos e incluso es posible que entre en contacto con fertilizantes e insecticidas en las áreas agrícolas, pero al generarse filtraciones los sólidos en suspensión pueden ser removidos.

En cambio, de forma subterránea el agua es propensa a extraer, disolviéndolos o llevándolos en suspensión, elementos constituyentes de los estratos del suelo, en particular carbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio y sales de sodio, aumentando así el contenido total de sólidos disueltos. El agua a poca profundidad, puede encontrarse en presencia de agentes de contaminación fecal provenientes de letrinas o tanques sépticos propiciando el crecimiento de colonias microbianas.

En lugares en donde están presentes cantidades considerables de materia orgánica, el contenido de oxígeno del agua subterránea puede agotarse a través de procesos microbianos. Como resultado de esto, pueden ocurrir ciertas reacciones químicas a través de las cuales se forman amoníaco y sulfuro de hidrógeno de los nitratos y sulfatos presentes en el suelo. En forma similar, el hierro y el manganeso pudieran estar disueltos en el agua.

Estos pueden ser algunos de los contaminantes presentes en el agua, en la comunidad “El Palmar”, al ser una comunidad rural, se esperaría que los parámetros de calidad sean buenos, el fin de este capítulo es analizar la calidad de diversas fuentes en la comunidad de las cuales se abastecen los habitantes para su consumo diario.

III.1 Métodos de muestreo de agua

En vista de que las fuentes naturales se encuentran alejadas de los laboratorios es necesario realizar el transporte de las muestras. Con el fin de que el muestreo se realice en las mejores condiciones y que los datos obtenidos del análisis correspondan a las características originales de la fuente, es necesario seguir una metodología que permita mantener estas características hasta el laboratorio. Esta metodología es descrita en el proyecto de norma PROY-NMX-AA-152-SCFI-2009.



III.1.1 Equipamiento de muestreo

Materiales

Para la mayoría de las situaciones de muestreo se recomiendan envases de polietileno, polipropileno, policarbonato y vidrio. Para el muestreo realizado en “El Palmar” se utilizaron envases de polietileno lavados con agua destilada y envases esterilizados para muestras de coliformes totales y fecales.



Tipos de aparatos

- Bombas

Las bombas aspirantes instaladas en la superficie no pueden elevar el agua más que a 8 m, por lo cual se recomienda el uso de bombas eléctricas sumergibles para la mayoría de los muestreos de aguas subterráneas.

- Potenciómetro

El potenciómetro es un instrumento que permite realizar mediciones de la calidad de una disolución utilizando un electrodo para este fin. Algunos de los parámetros que se pueden obtener con este dispositivo son: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto.



Fig. III. 1 Equipo de muestreo

Reactivos

Ácido nítrico y ácido sulfúrico concentrado para la conservación de la muestras.

III.1.2 Procedimiento de muestreo

Muestreo en pozos y norias

Cuando se seleccionen puntos de muestreo de agua subterránea, se recomienda monitorear algunos pozos en las cercanías del punto de extracción, de modo de examinar el efecto de la extracción sobre las características dinámicas del acuífero. Esta actividad fue realizada en el muestreo de la escuela primaria observando que los pozos aledaños disminuyeron de igual manera el nivel en su interior.



Fig. III. 2 Muestreo en norias

Para lograr un muestreo representativo dentro de un acuífero, se necesita un método de muestreo que permita extraer muestras cuya composición refleje la verdadera composición espacial y temporal de las aguas subterráneas sometidas a estudio.

En algunas situaciones se puede acumular material mineral y orgánico en los pozos por muestrear. Por ello, el agua dentro de la estructura no será representativa del agua del acuífero sometido a estudio. En consecuencia los pozos deben ser purgados antes de su muestreo, bombeando un volumen de agua

desechable o vaciando por completo la estructura.

La muestra será tomada a la salida de la bomba y colocada directamente en los recipientes intentando generar la menor turbulencia posible.

Muestreo en aguas superficiales

Dado que las aguas superficiales están en contacto con la atmósfera, son propensas a tener materia orgánica en suspensión, como hojarasca que, al realizar el muestreo, puede perturbar la calidad de la muestra, es necesario tomar la muestra de la parte



Fig. III. 3 Muestreo en manantial

central del cuerpo de agua para evitar este tipo de elementos dentro de la muestra. Cuando se realice una muestra en manantiales es necesario tomar la muestra lo más cerca posible a la pared donde se encuentra el escurrimiento.

III.1.3 Transporte, estabilización y almacenamiento de la muestra



Fig. III. 4 Almacenamiento y preservación de la muestra

Las muestras de agua subterráneas se extraen en sitios distantes de las instalaciones de los laboratorios. Los inconvenientes surgen debido a los cambios físicos y químicos que ocurren cuando se extraen las muestras del acuífero. La mayoría de los métodos de muestreo de este tipo de agua causa que la muestra sea sometida a cambios de temperatura y presión que pueden alterar variables tales como pH, conductividad eléctrica, potencial electroquímico, contenido de sulfuro y de gas disuelto (en particular oxígeno y dióxido de carbono). Cuando se muestrea agua subterránea es importante que se realicen “in situ” tantas determinaciones como sea posible, o lo más pronto que se pueda luego de que se haya extraído la muestra. Ello es particularmente importante respecto de temperatura, pH, potencial electroquímico, conductividad eléctrica, alcalinidad y gases disueltos (especialmente oxígeno).

En todos los casos, se deberá asegurar que los recipientes que contienen las muestras sean entregados al laboratorio en rigurosas condiciones de hermeticidad, protegidos de los efectos de la luz y del exceso de calor. Si así no se hiciera, la calidad de la muestra podría variar rápidamente debido al intercambio gaseoso, a las reacciones químicas y al metabolismo de organismos. También se deberá asegurar que se estabilicen o preserven todas aquellas muestras que no puedan analizar durante el día. Para almacenamiento a corto plazo, se recomienda refrigeración a 4°C.

III.1.4 Identificación de la muestra y registros

Los recipientes que contienen las muestras son rotulados con claridad. Todos los detalles del análisis de las muestras serán escritos en una etiqueta adherida al recipiente. Cuando se requieran muchos recipientes para un solo muestreo, suele ser más conveniente identificar los recipientes mediante un simple y único número de referencia de muestras, y anotar todos los detalles significativos en un informe de muestreo. Etiquetas y formularios deben ser siempre completados en el momento que se extraen las muestras. Los campos incluidos son:

- Nombre y ubicación del punto de muestreo
- Fecha y hora de extracción de muestreo
- Tipo de punto de muestreo (perforación, fuente o manantial)
- Información descriptiva importante (p.ej. dimensiones de la fuente)



- Método de extracción de muestras
- Apariencia de la muestra al momento de su extracción (p. ej. color, limpidez, olor)
- Resultados de los análisis in situ” (pH, oxígeno disuelto)
- Detalles de cualesquiera técnicas de preservación de muestras empleadas
- Detalle de cualquiera método de almacenamiento de muestras aplicado o requerido
- El nombre (o las iniciales) de quien extrajo las muestras.

III.2 Sitios de muestreo

Debido a que es necesario determinar los contaminantes que pudiera contener el agua y de esta manera diseñar un sistema de tratamiento, se realizaron muestreos para análisis de la calidad del agua, comparando los resultados con la norma NOM-127-SSA-1994 de varios sitios ubicados en las cercanías a la comunidad, considerados como posible opción de extracción de agua. Los muestreos se realizaron en dos campañas, la primera del 3 al 5 de marzo del 2016 y la segunda de 20 al 22 de abril del 2016. Los sitios que se muestrearon en ambas campañas se muestran en la Figura III.5.



Fig. III. 5 Ubicación de los sitios de muestreo



III.2.1 Muestra M1

Tabla III.1 Parámetros de calidad de agua sitio M1

Parámetro	Unidad	nom-127-ssa	M1
Color real / Color aparente	Upt/Co	20	15/15
Olor	-	Inoloro	Inoloro
Turbiedad	NTU	5	<5
Sabor	-	Agradable	-
DBO5	mg/L	-	9.12
DQO	mg/L	-	149.89
Sólidos Totales	mg/L	1000	2240
Cloruros	mg/L	250	111.67
Fluoruros	mg/L	1.5	0.9
Sulfatos	mg/L	400	1933
Aluminio	mg/L	0.2	-
Arsénico	mg/L	0.05	<0.1
Cadmio	mg/L	0.005	-
Cobre	mg/L	2	<0.05
Cromo total	mg/L	0.05	<0.05
Hierro	mg/L	0.3	0.132
Magnesio	mg/L	-	92.6
Manganeso	mg/L	0.15	<0.1
Mercurio	mg/L	0.001	<0.005
Plomo	mg/L	0.025	<0.2
Sodio	mg/L	200	157
Zinc	mg/L	5	0.062
Bario	mg/L	0.7	-
Cadmio	mg/L	0.005	<0.01
Cianuros	mg/L	0.07	-
SAAM	mg/L	0.5	<0.5
Boro	mg/L	-	0.141
Potasio	mg/L	-	17.02
Calcio	mg/L	-	493
Acidez	mg/L	-	11.4
Sílice	mg/L	-	41.5
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	0.05	-
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10	2.46
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.5	<1
Nitrógeno Orgánico	mg/L	-	<1
Dureza Total	mg/L CaCo3	500	1293.6
Dureza de calcio	mg/L CaCo3	-	891.8
Dureza de Magnesio	mg/L CaCo3	-	401.8
Alcalinidad Total	mg/L CaCo3	-	277.2
Bicarbonatos	mg/L CaCo3	-	277.2
Carbonatos	mg/L CaCo3	-	0
Hidróxidos	mg/L CaCo3	-	0
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	70
Coliformes totales	NMP/100ml	2	70

Sitio de muestreo



Fig. III. 6 Noria escuela primaria

El palmar, Municipio de Papantla. Veracruz de Ignacio de la Llave

Muestra: M1

Fecha: 04 – Marzo – 2016

Muestreo: Noria

Profundidad de la noria: 5.6 m de profundidad

La noria se encuentra en la escuela primaria, cuenta con una tapa para evitar el ingreso de materia orgánica como hojarasca

Condiciones meteorológicas: Humedad en el ambiente, soleado, no se registran lluvias en días anteriores.

Apariencia de la muestra al ser recolectada: No presenta mal olor o color

Observaciones: El pozo fue bombeado el día anterior por lo que el nivel disminuyó y no se obtuvo recarga total en la noria al realizar el muestreo. Las norias cercanas a esta (comunal y secundaria) fueron afectadas ya que el nivel también disminuyó.

Análisis físico- químico y bacteriológico

Los parámetros que superan el límite permisible son:

- Sólidos totales: Se encuentran presentes debido al bajo nivel dentro de la noria por lo que hubo arrastre de partículas al realizar el bombeo. No hay efectos nocivos debido a este parámetro.
- Sulfatos: Pueden tener su origen al atravesar terrenos ricos en yeso; en una concentración mayor a la indicada por la norma puede tener efectos laxantes.
- Dureza Total: Se debe al contenido de calcio y magnesio en las rocas. No genera efectos nocivos a la salud.
- Coliformes fecales: La presencia de estos organismos, en su mayoría E. Coli, es un indicio de contaminación fecal que pueden provocar enfermedades estomacales y diarrea.
- Coliformes totales: incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. La presencia de estos organismos puede provocar enfermedades gastrointestinales.



III.2.2 Muestra M2

Tabla III. 2 Comparación de parámetros tomados en dos diferentes campañas en el sitio M2

Parámetro	Unidad	nom-127-ssa	M2 (1)	M2 (2)
Color real / Color aparente	Upt/Co	20	10/10	8/-
Olor	-	Inoloro	Inoloro	Inoloro
Turbiedad	NTU	5	<5	0.35
Sabor	-	Agradable	-	Agradable
DBO5	mg/L	-	7.09	3
DQO	mg/L	-	117.1	-
Sólidos Totales	mg/L	1000	515	438
Cloruros	mg/L	250	28.04	27.9
Fluoruros	mg/L	1.5	0.49	-
Sulfatos	mg/L	400	1735.45	37.8
Aluminio	mg/L	0.2	-	0.00906
Arsénico	mg/L	0.05	<0.01	0.00906
Cadmio	mg/L	0.005	-	ND
Cobre	mg/L	2	<0.05	0.01013
Cromo total	mg/L	0.05	<0.05	-
Hierro	mg/L	0.3	0.145	0.06317
Magnesio	mg/L	-	15.9	7.4
Manganeso	mg/L	0.15	<0.1	0.01026
Mercurio	mg/L	0.001	<0.005	ND
Plomo	mg/L	0.025	<0.02	ND
Sodio	mg/L	200	33.9	34.785
Zinc	mg/L	5	0.073	0.005
Bario	mg/L	0.7	-	0.21937
Cadmio	mg/L	0.005	<0.01	ND
Cianuros	mg/L	0.07	-	ND
SAAM	mg/L	0.5	<0.5	0.01
Boro	mg/L	-	<0.1	-
Potasio	mg/L	-	1.5	-
Calcio	mg/L	-	135	96.9
Acidez	mg/L	-	13.78	-
Sílice	mg/L	-	28.95	-
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	0.05	-	0.0034
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10	0.41	0.2624
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.5	<1	0.0622
Nitrógeno Orgánico	mg/L	-	<1	0.2
Dureza Total	mg/L CaCo3	500	335.16	364
Dureza de calcio	mg/L CaCo3	-	292.04	-
Dureza de Magnesio	mg/L CaCo3	-	43.12	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCo3	-	321.3	345
Bicarbonatos	mg/L CaCo3	-	321.3	345
Carbonatos	mg/L CaCo3	-	0	0
Hidróxidos	mg/L CaCo3	-	0	0
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	920	>8
Coliformes totales	NMP/100ml	2	1600	>8



Sitio de muestreo



Fig. III. 7 Noria comunal a la entrada de la comunidad

El palmar, Municipio de Papantla. Veracruz de Ignacio de la Llave

Muestra: M2

Fecha: 04 – Marzo – 2016 (primera campaña) / 22 – Abril – 2016 (segunda campaña)

Muestreo: Noria

Profundidad de la noria: 3 m de profundidad

En este sitio se realizaron dos muestreos en diferentes campañas lo cual nos permite realizar una comparación de los datos obtenidos.

El sitio se encuentra a la entrada de la comunidad a aproximadamente 400 m de distancia. Junto a la noria se encuentra un pequeño riachuelo de aproximadamente 1.2 metros de ancho cuya fuente principal es un manantial. Acorde a los locatarios la noria fue construida el 16-06-1969.

Condiciones meteorológicas: soleado, no se presentaron lluvias en días anteriores al muestreo en ambas campañas.

Observaciones: Al igual que la mayoría de las norias no cuenta con estructuras de protección que impidan la caída de hojas o materia orgánica de cualquier tipo dentro de la noria. Al estar estancada el agua esta propensa a tener organismos que pueden proliferar enfermedades. Durante el primer muestreo no se realizó el vaciado y recarga de la noria.

Análisis físico, químico y bacteriológico

Como se observa la mayoría de los parámetros se mantienen dentro de un rango, es decir no hay una variación significativa a excepción de algunos como el nitrógeno de nitratos y el zinc, pero aún se encuentran dentro de norma. Los parámetros que superan el límite permitido por la norma son:

Sulfatos: Durante el primer muestreo se tuvo una cantidad muy alta de disolución de sulfato en el agua. Los sulfatos tienen su origen al atravesar terrenos ricos en yeso; al estar estancada el agua se encontraba en contacto con la roca y al no ser vaciada la noria este parámetro se vio incrementado. Para la segunda campaña de muestreo donde la noria fue vaciada la concentración disminuyó considerablemente. En una concentración mayor a la indicada por la norma puede tener efectos laxantes.

Coliformes fecales: La presencia de estos organismos, en su mayoría E. Coli, es un indicio de contaminación fecal que pueden provocar enfermedades estomacales y diarrea.

Coliformes totales: Incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. La presencia de estos organismos puede provocar enfermedades gastrointestinales.



III.2.3 Muestra M3

Tabla III. 3 Parámetros de calidad de agua sitio M3

Parámetro	Unidad	nom-127-ssa	M3
Color real / Color aparente	Upt/Co	20	10/-
Olor	-	Inoloro	Inoloro
Turbiedad	NTU	5	0.3
Sabor	-	Agradable	Agradable
DBO5	mg/L	-	3
DQO	mg/L	-	-
Sólidos Totales	mg/L	1000	400
Cloruros	mg/L	250	23.5
Fluoruros	mg/L	1.5	-
Sulfatos	mg/L	400	9.2
Aluminio	mg/L	0.2	ND
Arsénico	mg/L	0.05	0.00812
Cadmio	mg/L	0.005	ND
Cobre	mg/L	2	0.00821
Cromo total	mg/L	0.05	-
Hierro	mg/L	0.3	0.04356
Magnesio	mg/L	-	7.3
Manganeso	mg/L	0.15	0.01472
Mercurio	mg/L	0.001	ND
Plomo	mg/L	0.025	ND
Sodio	mg/L	200	24.615
Zinc	mg/L	5	0.00713
Bario	mg/L	0.7	0.11105
Cadmio	mg/L	0.005	ND
Cianuros	mg/L	0.07	0.0006
SAAM	mg/L	0.5	0.01
Boro	mg/L	-	-
Potasio	mg/L	-	-
Calcio	mg/L	-	78.1
Acidez	mg/L	-	-
Sílice	mg/L	-	-
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	0.05	0.0014
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10	0.0077
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.5	0.1038
Nitrógeno Orgánico	mg/L	-	0.3581
Dureza Total	mg/L CaCo3	500	315
Dureza de calcio	mg/L CaCo3	-	-
Dureza de Magnesio	mg/L CaCo3	-	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCo3	-	312
Bicarbonatos	mg/L CaCo3	-	312
Carbonatos	mg/L CaCo3	-	0
Hidróxidos	mg/L CaCo3	-	0
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	>8
Coliformes totales	NMP/100ml	2	>8

Sitio de muestreo



Fig. III. 8 Noria comunal al atravesar el río

El palmar, Municipio de Papantla. Veracruz de Ignacio de la Llave
Muestra: M3

Fecha: 22 – Abril – 2016

Muestreo: Noria

Profundidad de la noria: 2.5 m de profundidad

La noria se encuentra en las cercanías del río, esta noria abastece al sector de la población que se encuentra dividida por el cauce del río. No cuenta con estructuras de protección que impidan la entrada de materia orgánica.

Condiciones meteorológicas: soleado, no se registran lluvias en días anteriores.

Apariencia de la muestra al ser recolectada: No presenta mal olor o color

Observaciones: La noria cuenta con algunas hojas en el interior de la estructura.

Análisis físico- químico y bacteriológico

Los parámetros que superan el límite permisible son:

- Coliformes fecales: La presencia de estos organismos, en su mayoría E. Coli, es un indicio de contaminación fecal que pueden provocar enfermedades estomacales y diarrea.
- Coliformes totales: incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. La presencia de estos organismos puede provocar enfermedades gastrointestinales.



III.2.4 Muestra M4

Tabla III. 4 Parámetros de calidad de agua sitio M4

Parámetro	Unidad	nom-127-ssa	M4
Color real / Color aparente	Upt/Co	20	30/-
Olor	-	Inoloro	8
Turbiedad	NTU	5	0.6
Sabor	-	Agradable	Agradable
DBO5	mg/L	-	5
DQO	mg/L	-	-
Solidos Totales	mg/L	1000	438
Cloruros	mg/L	250	33.8
Fluoruros	mg/L	1.5	-
Sulfatos	mg/L	400	28.1
Aluminio	mg/L	0.2	0.01055
Arsénico	mg/L	0.05	ND
Cadmio	mg/L	0.005	ND
Cobre	mg/L	2	0.00832
Cromo total	mg/L	0.05	-
Hierro	mg/L	0.3	0.06164
Magnesio	mg/L	-	9.5
Manganeso	mg/L	0.15	0.03156
Mercurio	mg/L	0.001	ND
Plomo	mg/L	0.025	ND
Sodio	mg/L	200	27.368
Zinc	mg/L	5	0.00332
Bario	mg/L	0.7	0.0782
Cadmio	mg/L	0.005	ND
Cianuros	mg/L	0.07	0.001
SAAM	mg/L	0.5	0.01
Boro	mg/L	-	-
Potasio	mg/L	-	-
Calcio	mg/L	-	77.9
Acidez	mg/L	-	-
Sílice	mg/L	-	-
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	0.05	0.0015
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10	0.0173
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.5	0.0525
Nitrógeno Orgánico	mg/L	-	0.5033
Dureza Total	mg/L CaCo3	500	323
Dureza de calcio	mg/L CaCo3	-	-
Dureza de Magnesio	mg/L CaCo3	-	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCo3	-	322
Bicarbonatos	mg/L CaCo3	-	322
Carbonatos	mg/L CaCo3	-	0
Hidróxidos	mg/L CaCo3	-	0
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	>8
Coliformes totales	NMP/100ml	2	>8

Sitio de muestreo



Fig. III. 9 Muestreo en río

El palmar, Municipio de Papantla. Veracruz de Ignacio de la Llave
Muestra: M4

Fecha: 22 – Abril – 2016

Muestreo: Superficial

El río se ubica siguiendo el borde de la comunidad dividiendo solo un pequeño sector de la población

Condiciones meteorológicas: soleado, no se registran lluvias en días anteriores.

Apariencia de la muestra al ser recolectada: Presenta color en una tonalidad amarilla y olor a humedad.

Observaciones: El río se encuentra lleno de hojarasca, las personas de la comunidad comentan que existen descargas sanitarias provenientes de la caseta en el cauce.

Análisis físico- químico y bacteriológico

Los parámetros que superan el límite permisible son:

- Color: La presencia de color significa la presencia de sustancias en solución que pueden ser generados por la descomposición de materia orgánica. No hay efectos nocivos a la salud pero puede generar rechazo por parte del consumidor.
- Olor: El olor generalmente es provocado por materia en descomposición o bacterias. No hay efectos nocivos por este parámetro pero puede generar mala aceptación.
- Coliformes fecales: La presencia de estos organismos, en su mayoría E. Coli, es un indicio de contaminación fecal que pueden provocar enfermedades estomacales y diarrea.
- Coliformes totales: incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. La presencia de estos organismos puede provocar enfermedades gastrointestinales.



III.2.5 Muestra M5

Tabla III. 5 Parámetros de calidad de agua sitio M5

Parámetro	Unidad	nom-127-ssa	M5
Color real / Color aparente	Upt/Co	20	10/-
Olor	-	Inoloro	Inoloro
Turbiedad	NTU	5	0.45
Sabor	-	Agradable	Agradable
DBO5	mg/L	-	6
DQO	mg/L	-	-
Sólidos Totales	mg/L	1000	390
Cloruros	mg/L	250	17.6
Fluoruros	mg/L	1.5	-
Sulfatos	mg/L	400	16.1
Aluminio	mg/L	0.2	ND
Arsénico	mg/L	0.05	0.00794
Cadmio	mg/L	0.005	ND
Cobre	mg/L	2	0.00705
Cromo total	mg/L	0.05	-
Hierro	mg/L	0.3	0.6951
Magnesio	mg/L	-	7
Manganeso	mg/L	0.15	0.0437
Mercurio	mg/L	0.001	ND
Plomo	mg/L	0.025	ND
Sodio	mg/L	200	18.762
Zinc	mg/L	5	0.00358
Bario	mg/L	0.7	0.11604
Cadmio	mg/L	0.005	ND
Cianuros	mg/L	0.07	0.0006
SAAM	mg/L	0.5	0.01
Boro	mg/L	-	-
Potasio	mg/L	-	-
Calcio	mg/L	-	74.6
Acidez	mg/L	-	-
Sílice	mg/L	-	-
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	0.05	0.0007
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10	0.0226
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.5	0.1425
Nitrógeno Orgánico	mg/L	-	0.4024
Dureza Total	mg/L CaCo3	500	313
Dureza de calcio	mg/L CaCo3	-	-
Dureza de Magnesio	mg/L CaCo3	-	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCo3	-	299
Bicarbonatos	mg/L CaCo3	-	299
Carbonatos	mg/L CaCo3	-	0
Hidróxidos	mg/L CaCo3	-	0
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND	>8
Coliformes totales	NMP/100ml	2	>8

Sitio de muestreo



Fig. III. 10 Muestreo en manantial

El palmar, Municipio de Papantla. Veracruz de Ignacio de la Llave
Muestra: M5

Fecha: 22 – Abril – 2016

Tipo de muestreo: Manantial

El sitio del manantial se encuentra en una zona distante a la comunidad, siendo parte de un sistema de manantiales que alimentan el cauce de un río próximo a “El Palmar”

Condiciones meteorológicas: soleado, no se registran lluvias en días anteriores.

Apariencia de la muestra al ser recolectada: No presenta mal olor o color

Observaciones: El agua es cristalina, y existen pequeños camarones en el interior del manantial, así como en el cauce del río

Análisis físico- químico y bacteriológico

Los parámetros que superan el límite permisible son:

- Fierro: El fierro se encuentra de manera abundante en la corteza terrestre por lo que al ser filtrada por las rocas entra en contacto con este metal. No tiene efectos nocivos, pero puede generar un sabor metálico en el agua.
- Coliformes fecales: La presencia de estos organismos, en su mayoría E. Coli, es un indicio de contaminación fecal que pueden provocar enfermedades estomacales y diarrea.
- Coliformes totales: incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. La presencia de estos organismos puede provocar enfermedades gastrointestinales.



III.3 Conclusiones del análisis físico-químico

De acuerdo a los análisis físicos, químicos y bacteriológicos presentados anteriormente, los mejores sitios para extraer agua son los de las muestras M2 y M3 correspondientes a norias ya que la calidad de agua es mejor teniendo simplemente contaminación por coliformes fecales y totales que pueden ser removidos con una desinfección.

El sitio M3 presenta una dificultad técnica para la ubicación del tanque de almacenamiento y línea de distribución al encontrarse al otro lado del río que se encuentra en el borde de la comunidad. Por otro lado, el sitio de la muestra M2 se encuentra a la entrada de la comunidad por lo que hay caminos existentes que permiten un fácil acceso a la zona, lo cual de igual manera facilita la construcción de una línea de conducción.



Capítulo IV. Análisis cuantitativo de aguas subterráneas

IV. Análisis cuantitativo de aguas subterráneas

IV.1 Estratigrafía

La información recopilada, en la sección I.3 Fisiografía, menciona que la zona aledaña a la comunidad “El Palmar” se encuentra rodeada de lomeríos bajos. Dichos lomeríos pertenecen a la formación Tuxpan que se ubica en las costas del Golfo, cuya dimensión se aproxima a los 20 km de ancho y abarca desde el sur de la barra de Tamiahua hasta 20 km al sur del cauce del río Tecolutla (Figura IV.1).



Fig. IV. 1 Ubicación de la Formación Tuxpan (S35). Fuente: Carta geológica de la República Mexicana, Servicio Geológico Mexicano.

La formación Tuxpan está constituida principalmente de areniscas de grano fino (ar), lentes de conglomerados polimícticos empacados por arcilla (cgp), areniscas calcáreas y lutitas (lu), como se muestra en la figura IV.2; sin embargo dentro del área de estudio se presenta de igual manera otra unidad conformada por aluvión (Qhoal) siguiendo el cauce del río Tecolutla en áreas de inundación mostrado en la Figura IV.3.

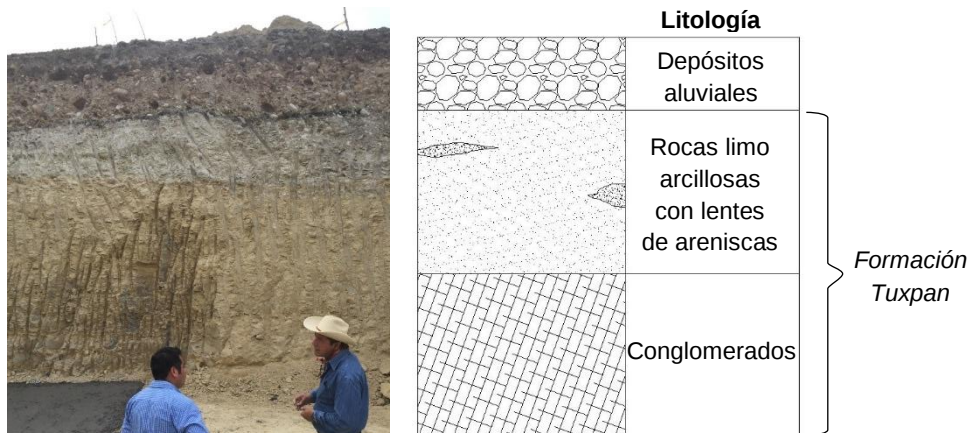


Fig. IV. 2 Litología característica del área de estudio. Elaboración propia.

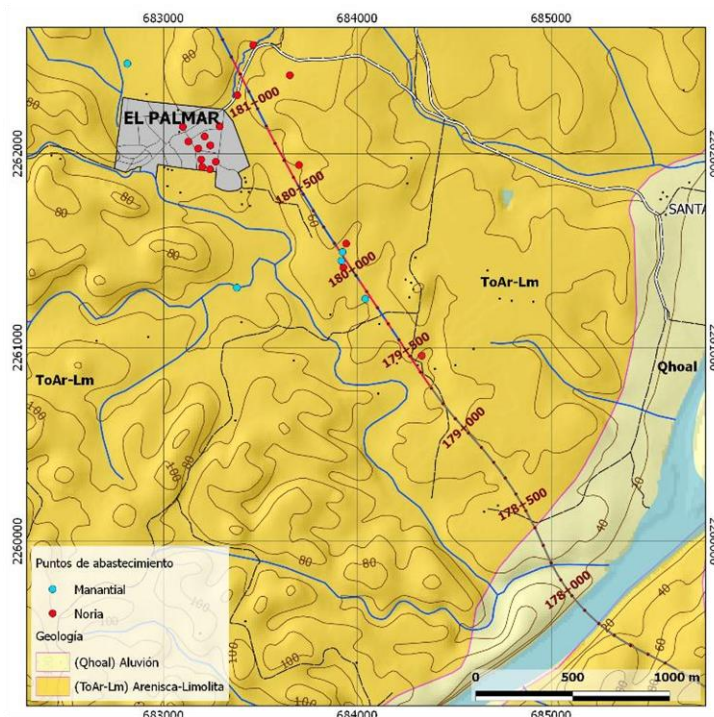


Fig. IV. 3 Mapa geológico del área de estudio, en el sector noroeste la comunidad “El Palmar” y el río Tecolutla en el sector sureste.

Con el fin de corroborar la información recopilada, se realizó una verificación geológica de la zona de estudio realizando recorridos en los alrededores de la comunidad, analizándose la variedad litológica de las formaciones. A continuación, se presentan la descripción de los afloramientos más representativos:

Afloramiento 1

En este afloramiento se puede observar una serie de conglomerados polimícticos conformado por clastos redondeados de calizas, areniscas, pedernal y andesitas de hasta 30 cm de diámetro, en una matriz areno-limosa que han sido parte del relleno de un paleocanal cuyas dimensiones exceden los 300 m (Figura IV.4).



Fig. IV. 4 Conglomerados polimícticos con cementante calcáreo



Afloramiento 2

Es posible observar dos estratos; el primero de areniscas conglomeráticas, y subyaciendo a esta un estrato de conglomerado polimíctico compuestos en ambos casos de fragmentos subredondeados de andesita, calizas y areniscas de hasta 20 cm de diámetro. La roca presenta una gran dureza y compactación debido principalmente al cementante calcáreo y de óxido de hierro presentes en las rocas (Figura IV.5).



Fig. IV. 5 Panorámica donde se observa el conglomerado subyaciendo a las areniscas

Afloramiento 3

Se puede apreciar el contacto entre una toba lítica (abajo); constituida de feldespatos, rocas volcánicas silíceas y pómez, alteradas por un proceso de caolinización³, y areniscas compactas (arriba) del grupo de las litarenitas compuestas de fragmentos redondeados de calizas, areniscas y tobas cementadas parcialmente con carbonato de calcio.



Fig. IV. 6 Contacto entre una secuencia de tobas (abajo) y areniscas compactas (arriba)

³ Caolinización: Meteorización de los feldespatos en ambientes húmedos y cargados de CO_2 , donde el CO_2 se convierte en CO_3^- para unirse a los iones potasio, calcio o sodio formando carbonatos. Por otro lado los silicatos forman caolín.



Afloramiento 4

Se observan un conjunto de litarenitas con diferentes niveles de compactación conformadas de fragmentos de calizas, pedernal, cuarzo, feldespatos y rocas volcánicas andesíticas, las cuales presentan una vergencia hacia el Golfo de México. En la parte inferior es posible observar un estrato cubierto de organismos marinos que al alterarse químicamente pueden producir un cementante de carbonato de calcio que propicia una mayor cohesión para los estratos de menos espesor, mientras que los estratos de mayor espesor presentan un nivel de compactación menor.



Fig. IV. 7 Areniscas con diferente nivel de compactación

IV.2 Estudio hidrogeológico

IV.2.1 Censo de captaciones

Se realizó un recorrido de campo con la finalidad de hacer un reconocimiento hidrogeológico, donde se censaron 14 norias y un manantial para identificar los tipos de estructuras con las que cuenta la comunidad en la obtención de agua potable. La información recopilada se muestra en la tabla IV.1.

Se observaron norias someras, con una profundidad que oscila de 2 a 10 metros y en promedio 1 metro de diámetro, provisto con equipo rudimentario para la extracción manual (Figura IV.8); sin embargo, hay algunas captaciones en minoría que cuentan con un equipo de bombeo.

Las norias de donde se abastecen los habitantes de la comunidad son de carácter privado ya que suelen ser excavadas por los propietarios, con excepción de la noria N°1 ubicada frente al auditorio que es comunal; aunque es común que los habitantes que no cuentan con una estructura de este tipo en su domicilio se abastezcan de las norias de sus vecinos. Los volúmenes dentro de estas norias son estacionales, es decir, en época de lluvia cuentan con una mayor cantidad de agua que en época de estiaje.



Capítulo IV. Análisis cuantitativo de aguas subterráneas



Tabla IV. 1 Censo de captaciones

N°	Dirección	Captación	utm-x	utm-y	z (msnm)	Brocal (m)	PNE (m)	Fecha	Construcción	Diametro [m]	Tipo de bomba	Marca/Modelo	Observaciones
1	Frente Diconsa y Auditorio	Noria	683099	2262139	59	0.7	10.55	03/03/2016	SD	SD	NA	NA	-
2	Esc. Prim. Rural Justo Sierra	Noria	683128	2262063	37	0.81	5.76	03/03/2016	SD	1.52	Externa	WGE MSL1J	Mala construcción, impremable en su totalidad
3	SD	Noria	683380	2262302	54	0.76	3.06	03/03/2016	SD	1.50	NA	NA	-
4	SD	Noria	683651	2262405	50	0.86	2.99	03/03/2016	20/06/1978	1.68	NA	NA	No utilizada
5	"Noria 4"	Noria	683462	2262561	45	0.825	1.2	03/03/2016	16/06/1969	1.42	NA	NA	A 4 m de distancia de un escurrimiento superficial
6	SD	Noria	683200	2261932	38	0.6	3.87	04/03/2016	SD	1.11	NA	NA	-
7	SD	Noria	683194	2261970	34	0.74	5.48	04/03/2016	SD	1.29	Externa	SD	-
8	Esc. Sec. Rafael Ramírez	Noria	683179	2262027	-15??	0.77	7.7	04/03/2016	SD	2.52	Externa	Bonasa 10/60N	Bomba de 0.77 hp
9	Capilla	Noria	683239	2261920	29	0.76	3.67	04/03/2016	SD	1.23	NA	NA	-
10	Junto a Capilla	Noria	683269	2261959	34	0.71	5.01	04/03/2016	SD	1.27	NA	NA	-
11	SD	Noria	683212	2262089	41	0.67	8.41	04/03/2016	01/05/2013	1.50	NA	NA	Al fondo de la perforación se aprecia el conglomerado
12	SD	Noria	683289	2262141	37	0.7	7.78	04/03/2016	01/05/2011	0.99	NA	NA	Al fondo de la perforación se aprecia el conglomerado
13	SD	Noria	683241	2262043	48	0.79	10.14	04/03/2016	SD	1.20	NA	NA	-
14	"Manantial"	Manantial	683378	2261309	21	NA	NA	04/03/2016	NA	NA	NA	NA	-
15	"M2" noria junto a manantial	Noria	682813	2262465	33	SD	1	04/03/2016	NA	1.10	NA	NA	Noria junto a escurrimiento superficial, se identifica como noria M2 ya que a pocos metros se localiza el manantial de la muestra M2.

Se pudo apreciar que las norias son excavadas a hasta un estrato denominado por los habitantes de la comunidad como la roca dura, la que dificulta la excavación manual y por ello no es posible continuar la excavación a una profundidad mayor. Esta roca dura es la parte superior del conglomerado fuertemente empacados y cementado de la formación Tuxpan.

Por otro lado, los manantiales; aunque utilizados con el mismo fin que las norias, son más escasos en las cercanías de la comunidad dado que se ubican principalmente en las laderas de los arroyos, generalmente cuando el conglomerado sobresale a la superficie (Figura IV.8). Los caudales de estos suelen ser muy reducidos aproximándose a un cuarto de litro por segundo sin importar la estación del año.



Fig. IV. 8 Sitios característicos para la obtención de agua. Noria y manantial

IV.2.2 Piezometría

El área de estudio se encuentra en una zona considerada por CONAGUA como *impermeable* dado que estudios hidrogeológicos realizados con anterioridad en las proximidades de la comunidad no la consideran una zona acuífera. Fuera de la zona de estudio el acuífero principal es considerado libre (Figura IV.9), situándose en los depósitos fluviodeltaicos de las márgenes del río Tecolutla, donde el flujo subterráneo sigue las diferencias topográficas hacia la línea de costa en el oriente.

Debido a la poca permeabilidad de la zona, los altos volúmenes de lluvia en el área se evapotranspiran o escurren y solo un volumen muy limitado llega a ser filtrado lo cual limita la capacidad de almacenamiento del acuífero. Con base en el estudio geológico y censo de captaciones se ha concluido que en la zona se encuentra un acuífero del tipo semiconfinado a confinado, ubicado en la formación Tuxpan; dentro de esta formación se encuentra un área permeable correspondiente a los depósitos arenosos del miembro inferior que podrían garantizar almacenamiento de agua únicamente si presentan continuidad hidráulica y espesores suficientes.



Fig. IV. 9 Piezometría regional. Fuente: Estudio de disponibilidad de agua, CONAGUA

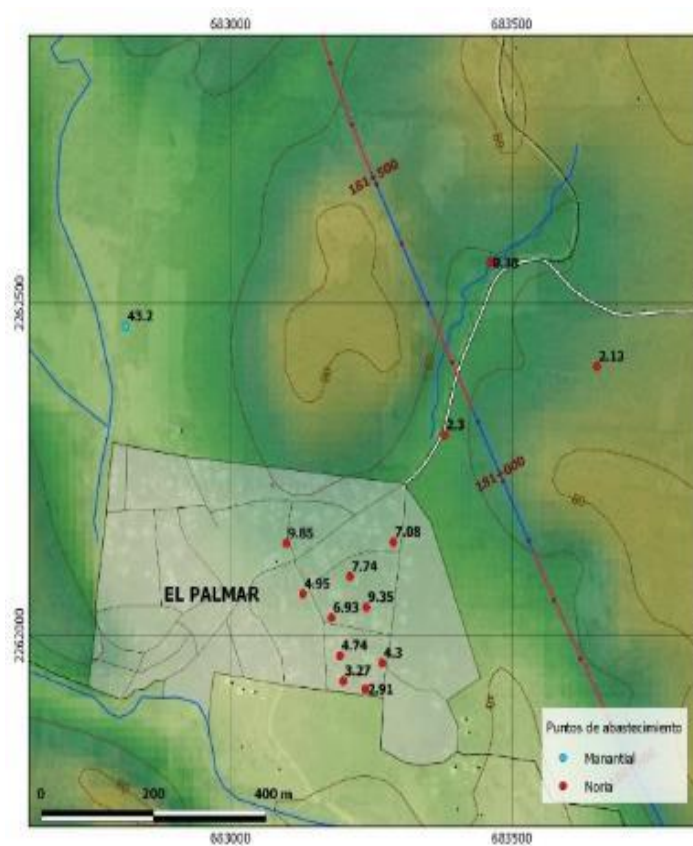


Fig. IV. 10 Profundidades del nivel estático en las captaciones censadas.

La dirección del limitado flujo subterráneo podría ser considerada paralela a los escurrimientos superficiales, por lo que este flujo se encuentra controlado por una serie de arroyos estrechos donde el terreno es disectado, y es posible que esto provoque que el estrato conglomerático, donde se encuentra fluyendo el agua, quede en la superficie generando una serie de manantiales que alimentan estos arroyos.

El nivel al interior de las norias depende de la ubicación dentro del área estudiada y factores que pueden afectar dicho nivel como la cercanía con arroyos y la estación en la que se realiza la medición. La elevación del nivel estático con base en los censos de captaciones presenta una carga de 77 msnm en la parte nororiental de la comunidad con un flujo surponiente con pérdidas de carga hasta los 36 msnm (Figura IV.10).

A pesar de que la litología de la comunidad es considerada impermeable se puede dar continuidad hidráulica hasta el área donde se ubica la comunidad, correlacionando las curvas de igual elevación del nivel estático observadas en el estudio regional de disponibilidad hecho por CONAGUA (Figura IV.11).

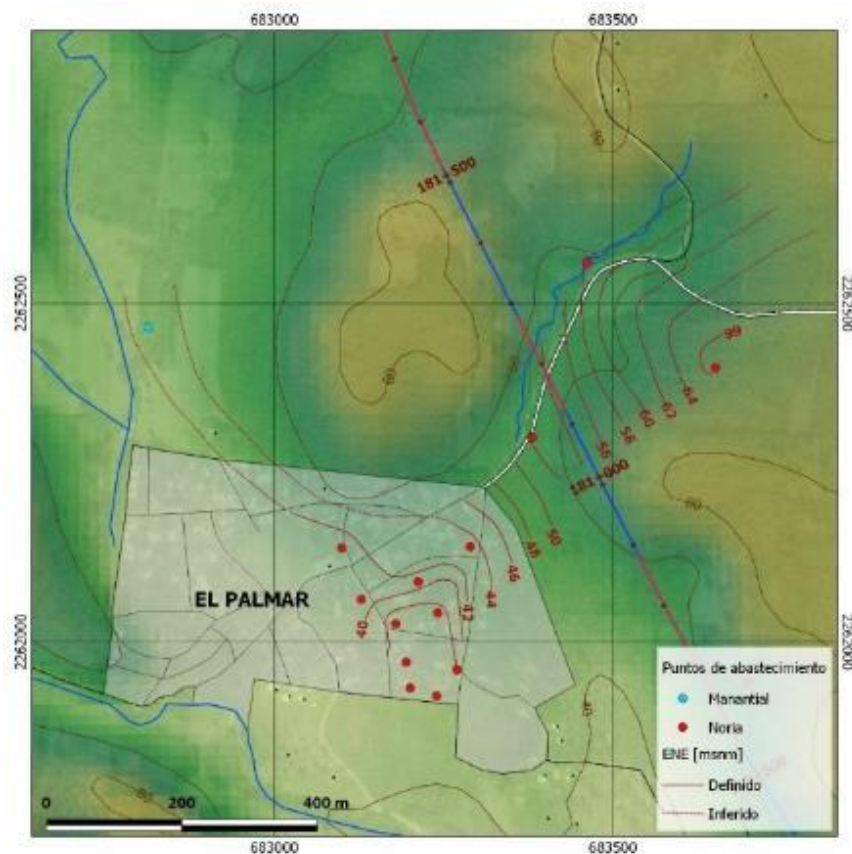


Fig. IV. 11 Elevación del nivel estático. Elaborada por la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (DICT, UNAM)



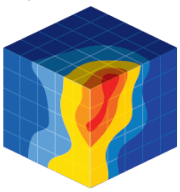
IV.2.3 Prueba de bombeo

Una prueba de bombeo consiste en vaciar el agua de una estructura hasta secar la captación con la finalidad de observar los abatimientos y la capacidad de recuperación del acuífero, es decir evaluar la capacidad de transmisibilidad de flujos de agua de las unidades litológicas. Se eligieron la noria de la escuela primaria y la noria N° 4 para realizar estas pruebas.

El equipo utilizado fue una bomba sumergible de $\frac{3}{4}$ de caballo, un motor a gasolina y los aditamentos necesarios para la prueba.

Se realizó un vaciado total del volumen almacenado de la estructura en un aproximado de 2 horas y media con un caudal de 0.9 l/s cuya recuperación fue de 12 horas para la noria número 4 y 3 días para la noria de la escuela primaria. Los resultados obtenidos de las pruebas se muestran en la tabla IV.2.

Tabla IV. 2 Resultados de la prueba de bombeo realizado en la escuela primaria Justo Sierra

PRUEBA HIDRÁULICA The HYDRO geology Group FACULTY OF ENGINEERING UNAM							
COORDENADAS	UTM X:	683128	UTM Y:	2262063	ELEVACIÓN:	37 m	
ESTADO:	Veracruz	MUNICIPIO:	Papantla	FECHA:	03/03/2016		
TIPO DE PRUEBA:	AFORO	BOMBEO	ETAPA: BOI	X	RECUPERACIÓN		
POZO N°:	Esc. Prim. Justo Sierra	PROF. TOTAL:	8.35	TUB. LISA:	TUB. RANURADA:		
PIEZOMETRO N°:		DISTANCIA AL POZO DE BOMBEO [m]:		BROCAL:	0.81 m		
NIVEL ESTÁTICO [m]	5.76	NIVEL DINÁMICO [m]:		CAUDAL [lps]:	0.77		
BOMBA MARCA:		MODELO:		DIÁMETRO DESCARGA:			
LONG. COLUMNA:		N° DE TAZONES:		DIÁMETRO TAZONES:			
TIPO:	Sumergible	H.P.:		VEL. MÁXIMA (r/min):			
MEDICIONES DEL NIVEL CON SONDA ELÉCTRICA X				DATALOGGER:			
HORA	TIEMPO [min]	VELOCIDAD [r/min]	PROF. NIVEL DINÁMICO [m]	ABATIMIENTO [m]	VARIABLE DEL MÉTODO DE AFORO	CAUDAL [lps]	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA
11:30:00	0.00		5.76				
	0.25						
	0.50		5.82	0.06			
	0.75		5.82	0.06			
	1.00		5.82	0.06			
	2.00		5.85	0.09			
	4.00		5.86	0.10			
	5.00		5.88	0.12			
	6.00		5.89	0.13			
	7.00		5.92	0.16			
	8.00		5.95	0.19			
	9.00		5.98	0.22			
	10.00		6.00	0.24			
	15.00		6.08	0.32		0.77	
	30.00		6.40	0.64			Hanna PJS
	45.00		6.69	0.93			
	60.00		6.98	1.22			
	90.00		7.61	1.85			Hanna PJS2
	120.00		8.19	2.43			
	135.00		8.48	2.72			

Con los datos obtenidos no fue posible caracterizar el tipo de acuífero dado que estos datos no se ajustan a ninguna de las curvas teóricas, esto debido a la poca capacidad de transmisibilidad de las rocas para rellenar la estructura. A pesar de que los datos de campo no permitieron una adecuada interpretación para obtener los parámetros del acuífero, fue posible observar la limitada capacidad del acuífero.



Fig. IV. 12 Realización de la prueba de bombeo en Noria N°4, se observa el vaciado de la estructura

IV. 3 Exploración geofísica

Debido a que existe adelgazamiento y acuñaamiento en la estructura litológica, eliminando la continuidad hidráulica, es necesario obtener una visión de la estratigrafía de la zona para determinar la ubicación del acuífero y de esta manera poder ubicar un sitio para la construcción del pozo que abastecería a la comunidad, por ello se realizaron 14 sondeos geofísicos (Figura IV.13).

Los sondeos fueron realizados con la técnica del transitorio electromagnético (TEM), que consiste en colocar una bobina o espira cuadrangular de 50 x 50 m mediante el arreglo de bobina simple con la cual fue posible alcanzar una profundidad de hasta 180 m.

Este estudio permite caracterizar la distribución de la resistividad del suelo y correlacionarla con los materiales geológicos existentes. Al caracterizar los estratos fue posible identificar tres horizontes característicos con diferentes valores de resistividad (Tabla IV.3).

Tabla IV. 3 Litología asociada a cada rango de resistividad obtenido en los sondeos

Unidad geoelectrica	Intervalo resistivo [Ohm-m]	Litología asociada
U1	50 a 200	Conglomerado
U2	20 a 30	Formación areno-arcillosa (Tuxpan)
U3	<5	Arcillas

Elaborada por la DICT, UNAM

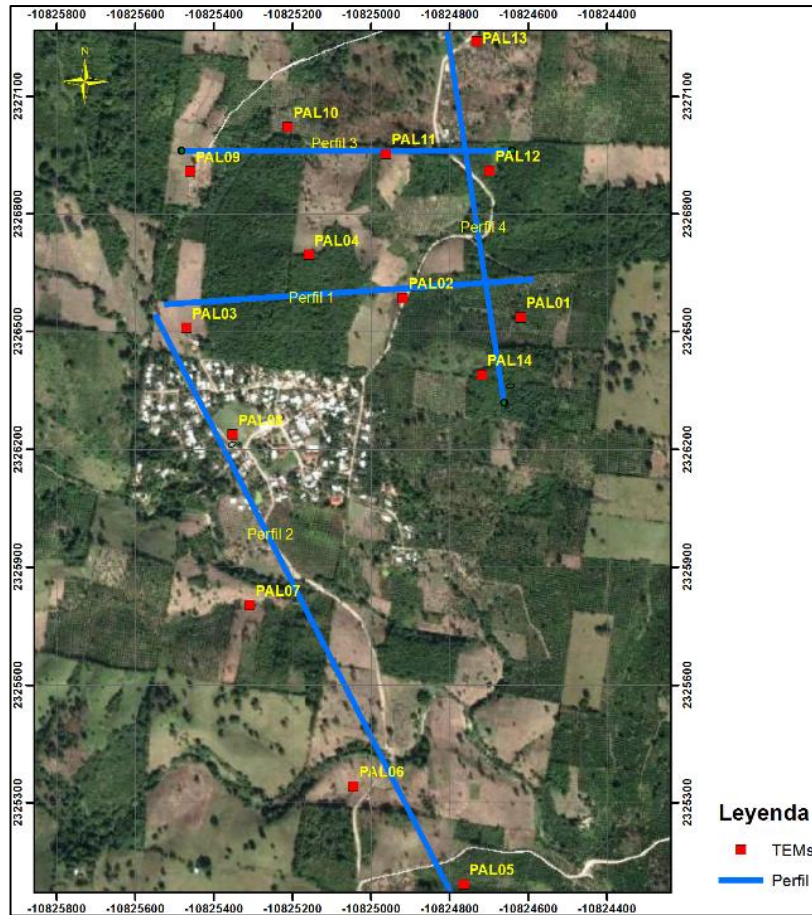


Fig. IV. 13 Ubicación de los sondeos. Elaborada por la DICT, UNAM

IV.3.1 Secciones geoelectricas

A partir de los 14 sondeos geofísicos se realizaron 4 secciones geoelectricas mediante la interpolación de los datos, estas secciones permiten analizar la continuidad de los estratos en el subsuelo. Los sondeos que conforman cada sección geoelectrica se muestran en la tabla IV.4.

Tabla IV. 4 Sondeos que conforman cada sección y su orientación

Seccion geoelectrica	TEM	Orientacion
1	PAL03, PAL04, PAL02 Y PAL01	W-E
2	PAL03, PAL08, PAL07, PAL06 Y PAL05	N-S
3	PAL09, PAL10, PAL11 Y PAL12	W-E
4	PAL13, PAL12, PAL01 Y PAL14	N-S

Elaborada por la DICT, UNAM



Sección geoelectrica 1

Se puede observar un estrato de espesor variable de entre 5 a 20 m con resistividades mayores a 50 Ohm-m correspondiente a la unidad del conglomerado (U1). Por debajo se observa la unidad areno-arcillosa (U2) en espesores de 60 y 80 m abarcando toda la sección alcanzando la superficie a los extremos. Y al fondo de la sección se puede apreciar la unidad geoelectrica U3 correspondiente a las arcillas, con resistividades menores de 5 Ohm-m, que se extiende en toda la longitud del perfil con espesores variables.

Sección geoelectrica 2

En esta sección se repite el orden de las unidades geoelectricas, observando la unidad U1 con resistividades mayores a los 50 Ohm-m entre los niveles 500 y 1500 m con espesores no mayores a los 40 m, por debajo la unidad U2 extendiéndose por toda la sección entrando en contacto con la superficie en los extremos. Y por último la sección 3 a lo largo de todo el perfil.

Sección geoelectrica 3

En esta sección la unidad U1 se ubica al oriente del perfil en una pequeña porción alcanzando un espesor de aproximadamente 15 m. Por otro lado, la unidad U2 abarca la mayoría de la sección siendo la parte predominante alcanzando el espesor máximo en la parte que se encuentra por debajo de la unidad U1. Y de igual manera al fondo se encuentra la unidad U3 que pierde continuidad en la parte oriental del perfil.

Sección geoelectrica 4

La unidad U1 se ubica al centro de la sección con espesores de alrededor de 20 m. La unidad U2 alcanza los 120 m en la parte más gruesa al centro de la sección. Y la unidad U3 se ubica únicamente en los extremos de la sección por debajo de la unidad U2.

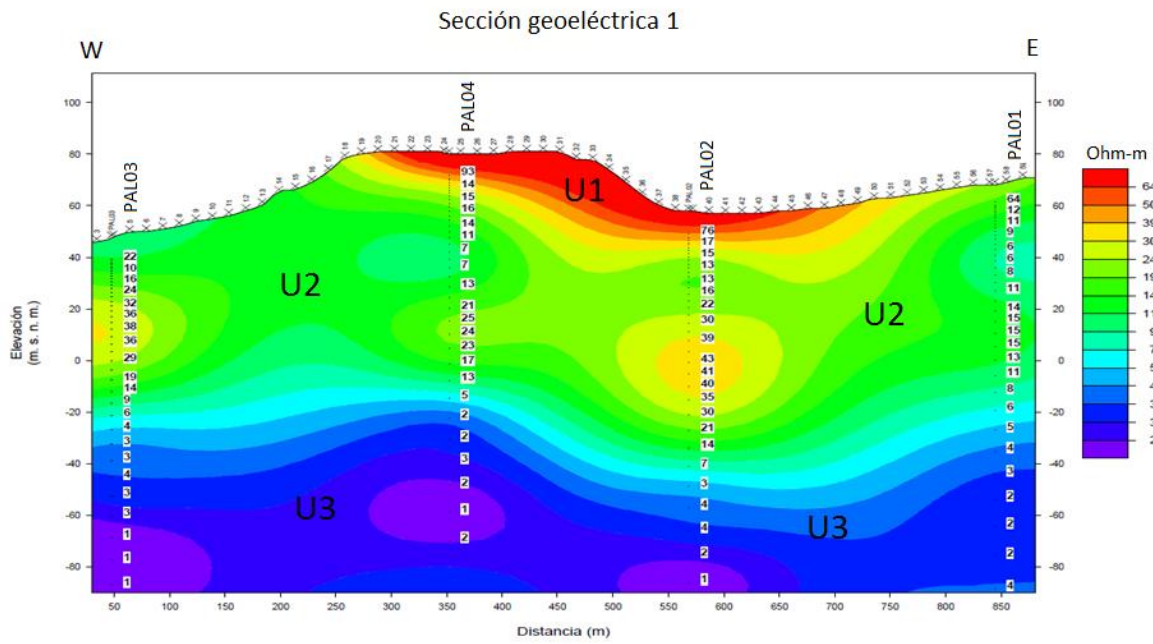


Fig. IV. 14 Sección geoelectrica 1. Elaborada por la DICT, UNAM

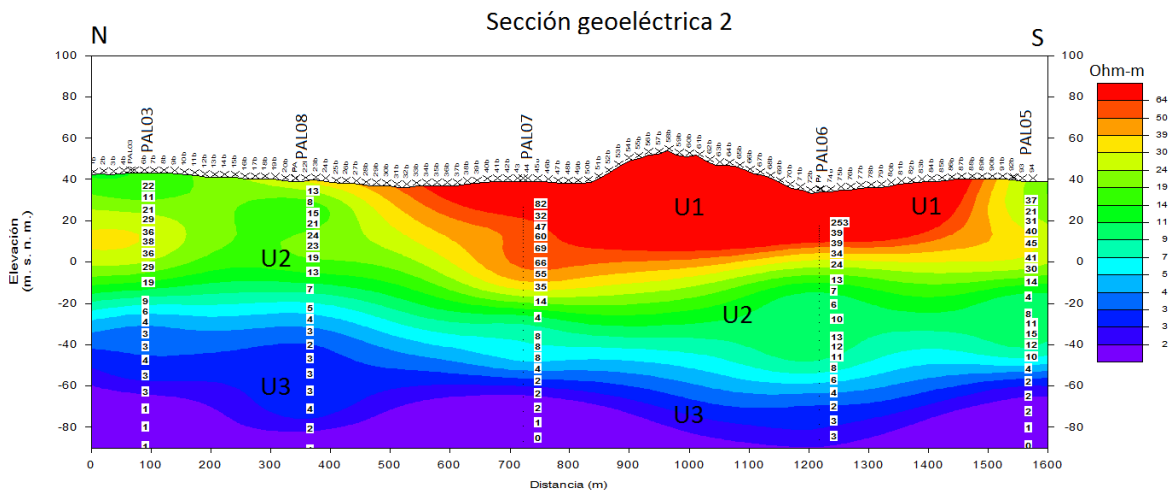


Fig. IV. 15 Sección geoelectrica 2. Elaborada por la DICT, UNAM

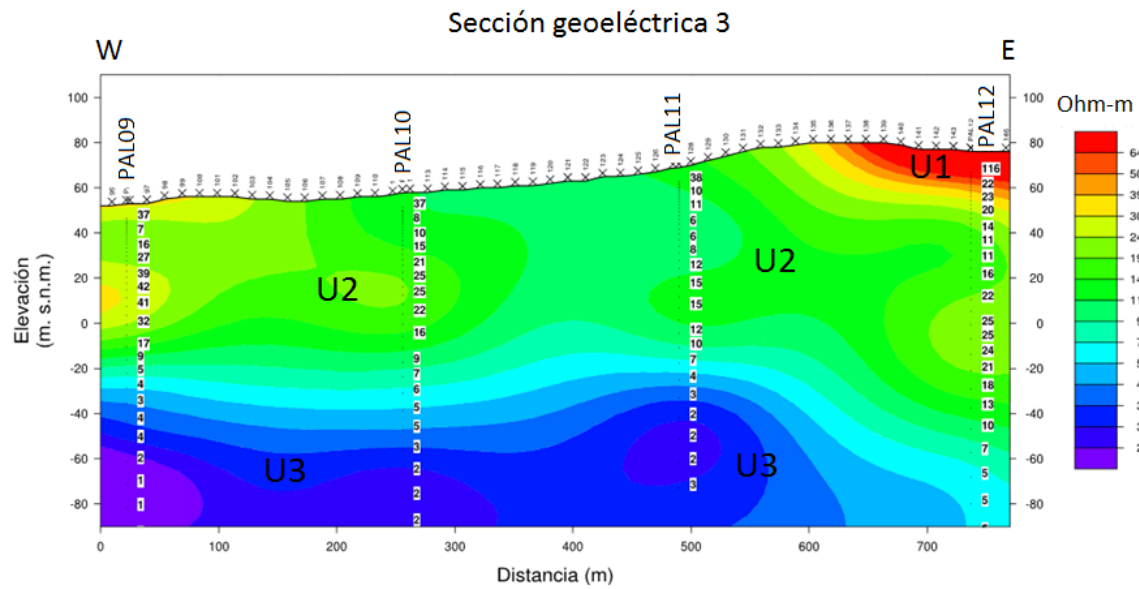


Fig. IV. 16 Sección geoelectrica 3 Elaborada por la DICT, UNAM

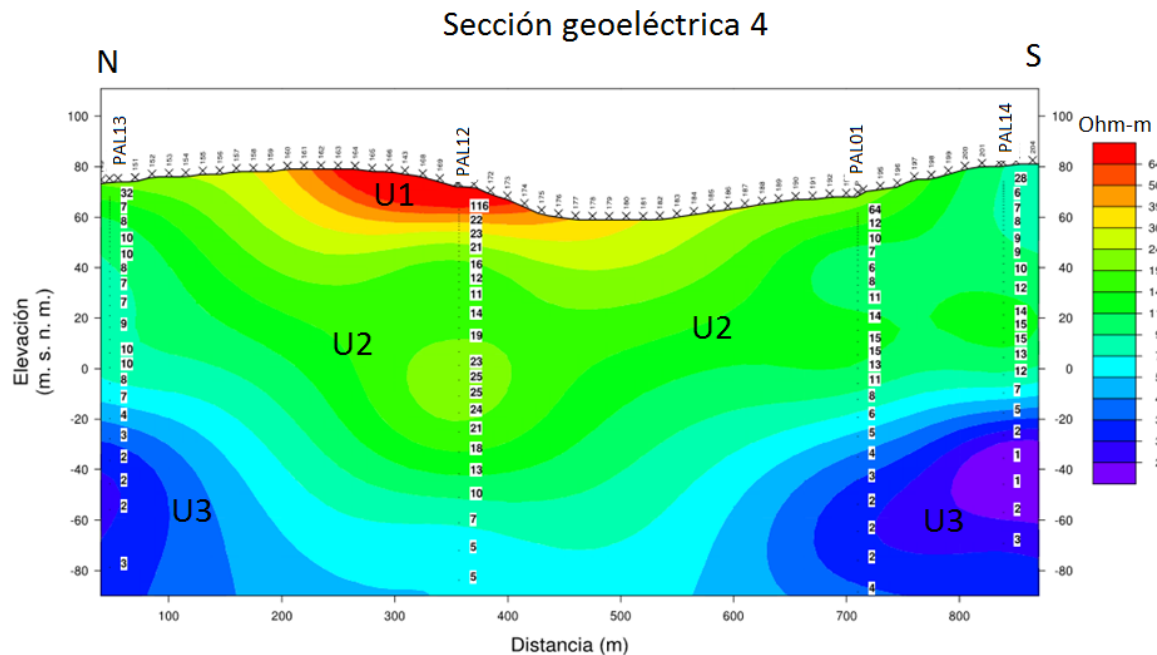


Fig. IV. 17 Sección geoelectrica 4 Elaborada por la DICT, UNAM



IV.4 Conclusiones del análisis cuantitativo de aguas subterráneas

La formación Tuxpan se ubica en lo que era la línea de costa, por ello es posible observar organismos marinos como los mencionados en el Afloramiento 4. Estos organismos propician una mayor cohesión y dureza de las rocas; sin embargo, disminuye la porosidad y la permeabilidad lo cual no permite que se formen acuíferos que puedan abastecer a una comunidad. Por otro lado, las areniscas y lentes de conglomerados con poco contenido de cementante de carbonato de calcio son rocas que permiten un flujo y las que tienen potencial para contener agua. Sin embargo, la formación Tuxpan presenta lateralmente cambios como acuíñamientos y adelgazamientos del espesor de estas estructuras (conglomerados y areniscas) lo que complica la búsqueda de agua en la zona.

A pesar de que la región es considerada como impermeable debido a la litología presente en la zona fue posible encontrar norias que muestran un nivel piezométrico, lo cual indica que el acuífero, aunque limitado tiene capacidad de almacenamiento. Para poder ubicar los lentes de areniscas o conglomerados que permitan el almacenamiento de agua subterránea fue necesario recurrir a una exploración geofísica.

En la exploración geofísica se pudo observar que las norias excavadas - al ser de poca profundidad- no superan la zona del conglomerado cementado que no permite una eficiente transmisibilidad, lo cual forma un medio semipermeable de bajo rendimiento característico de la formación Tuxpan. Sin embargo, un acuífero de mejores condiciones se ubicaría a profundidades mayores de los 20 m donde se encuentra el miembro arenoso de grano medio a fino.

Dentro de la sección geoeléctrica 4 se encontró un estrato de dimensiones considerables con valores de resistividades en un rango de 10 a 14 ohm-m, indicadores de la existencia de saturación en la parte arenosa correspondiente al miembro inferior de la formación Tuxpan, esta unidad presenta continuidad hidráulica lo cual permitiría captar el volumen necesario para abastecer a la comunidad siempre y cuando se realice una perforación que atraviese la mayor cantidad de estratos posibles. Por esto es de suma importancia contar con una obra profunda, ya sea noria o pozo, que permita alcanzar esos estratos arenosos por donde fluye el agua subterránea.



Capítulo V. Abastecimiento de agua potable



V. Abastecimiento de agua potable

La última etapa del estudio del sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario contempla el diseño de cada una de las estructuras necesarias para el correcto funcionamiento de este. En este capítulo será posible observar el desarrollo del diseño de cada estructura.

V.1 Obra de captación

Con base en las secciones geoelectricas que se muestran en la sección IV.3, donde se observa la resistividad del suelo y su litología asociada, se llegó a dos posibles soluciones que resuelven el problema de abastecimiento de agua potable.

La primera consiste en perforar un pozo profundo que atraviese la formación arcillo-arenosa Tuxpan, donde no existe una buena transmisibilidad y la recuperación de los acuíferos es lenta. Por ello se recomienda que la perforación cruce por la mayor cantidad de horizontes que permitan el almacenamiento subterráneo de los volúmenes necesarios para abastecer a la comunidad.

La elección del sitio de perforación se realizó considerando las conclusiones a las que se llegó en capítulo III sobre la calidad del agua y las secciones geoelectricas descritas en el capítulo IV. El mejor sitio para realizar la excavación se encuentra en las coordenadas $X = 683,596.37$, $Y = 2,262,651.83$ ubicada sobre la sección geoelectrica 4 (Figura V.1 y Figura V.2).

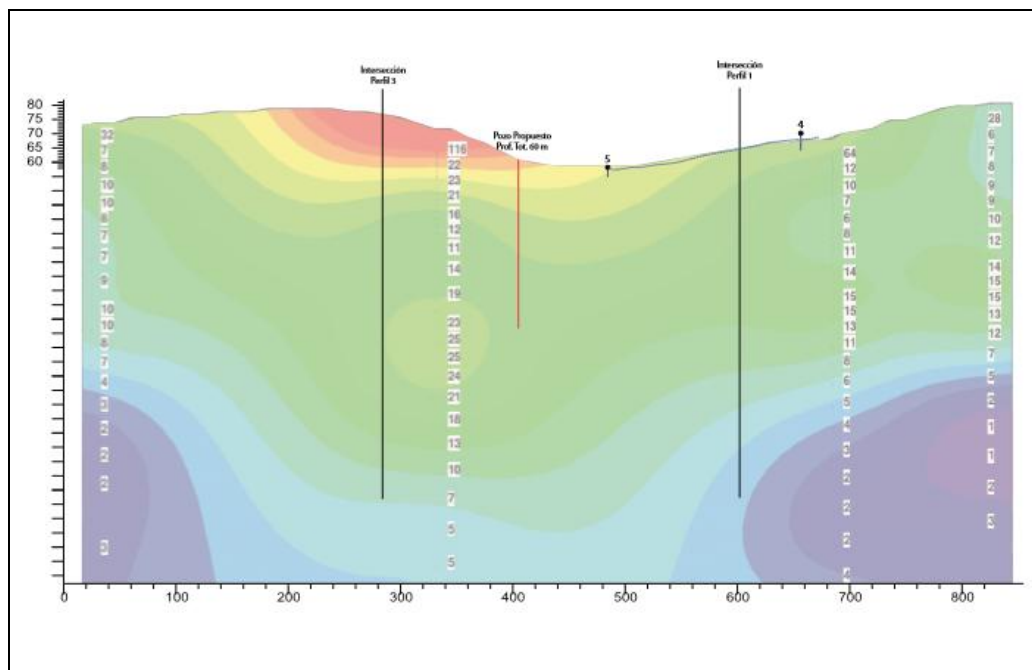


Fig. V. 1 Ubicación y profundidad del pozo profundo sobre la sección geoelectrica 4. Elaborada por la DICT, UNAM

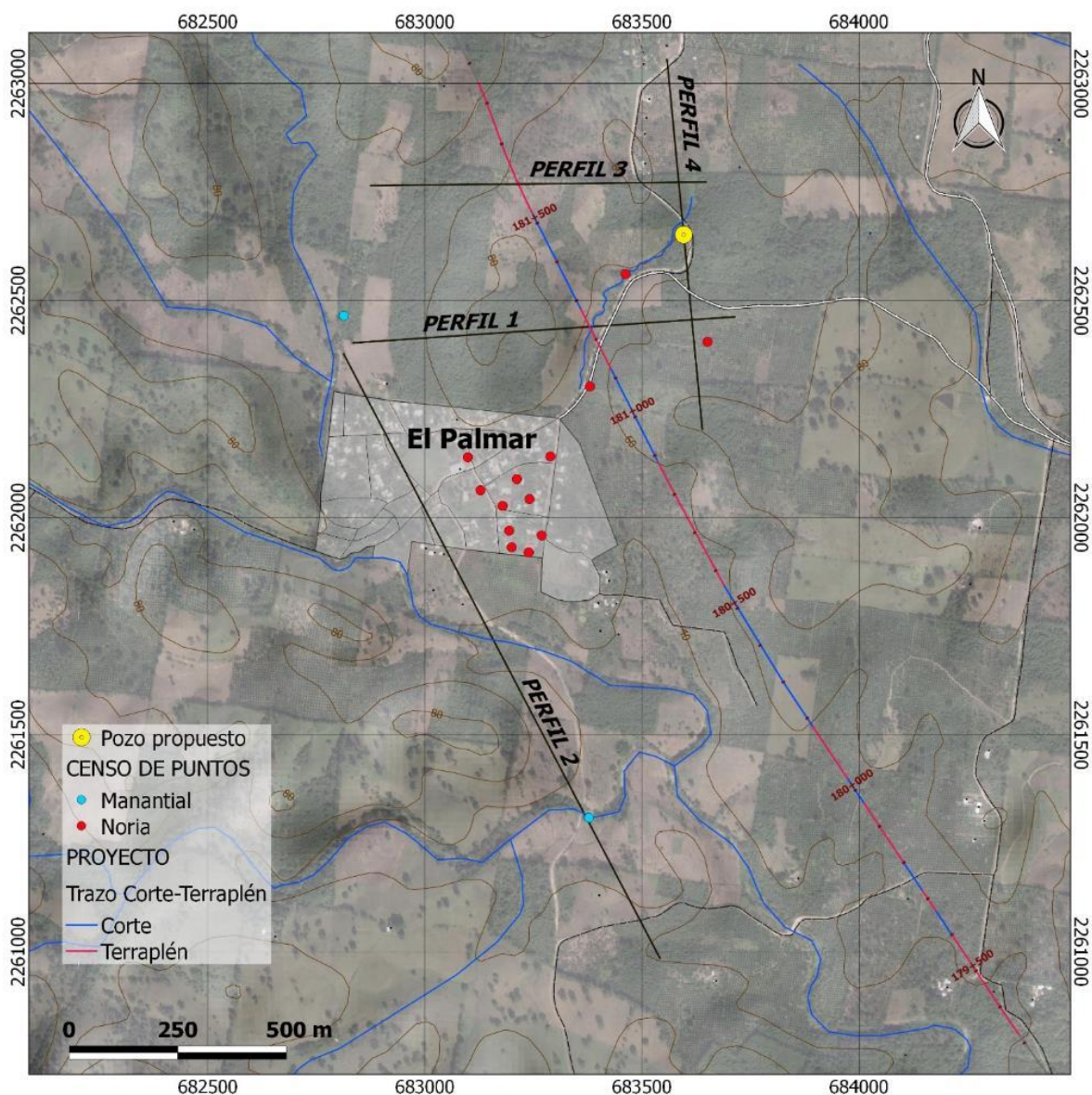


Fig. V. 2 Ubicación en plata del sitio de perforación del pozo profundo. Elaborada por la DICT, UNAM

Es recomendado que la perforación del pozo profundo se realice con una maquina rotatoria a 50 m de profundidad (figura V.1) y un diámetro de 12", además de contar con accesorios que permitan un buen funcionamiento hidráulico como: un ademe sanitario los primeros 6 metros, un filtro de grava y un tramo de tubería ranurada tipo canastilla en el resto de la perforación, como se muestra en la figura V.3, para permitir la filtración y acumulación del volumen necesario para abastecimiento al interior de la perforación.

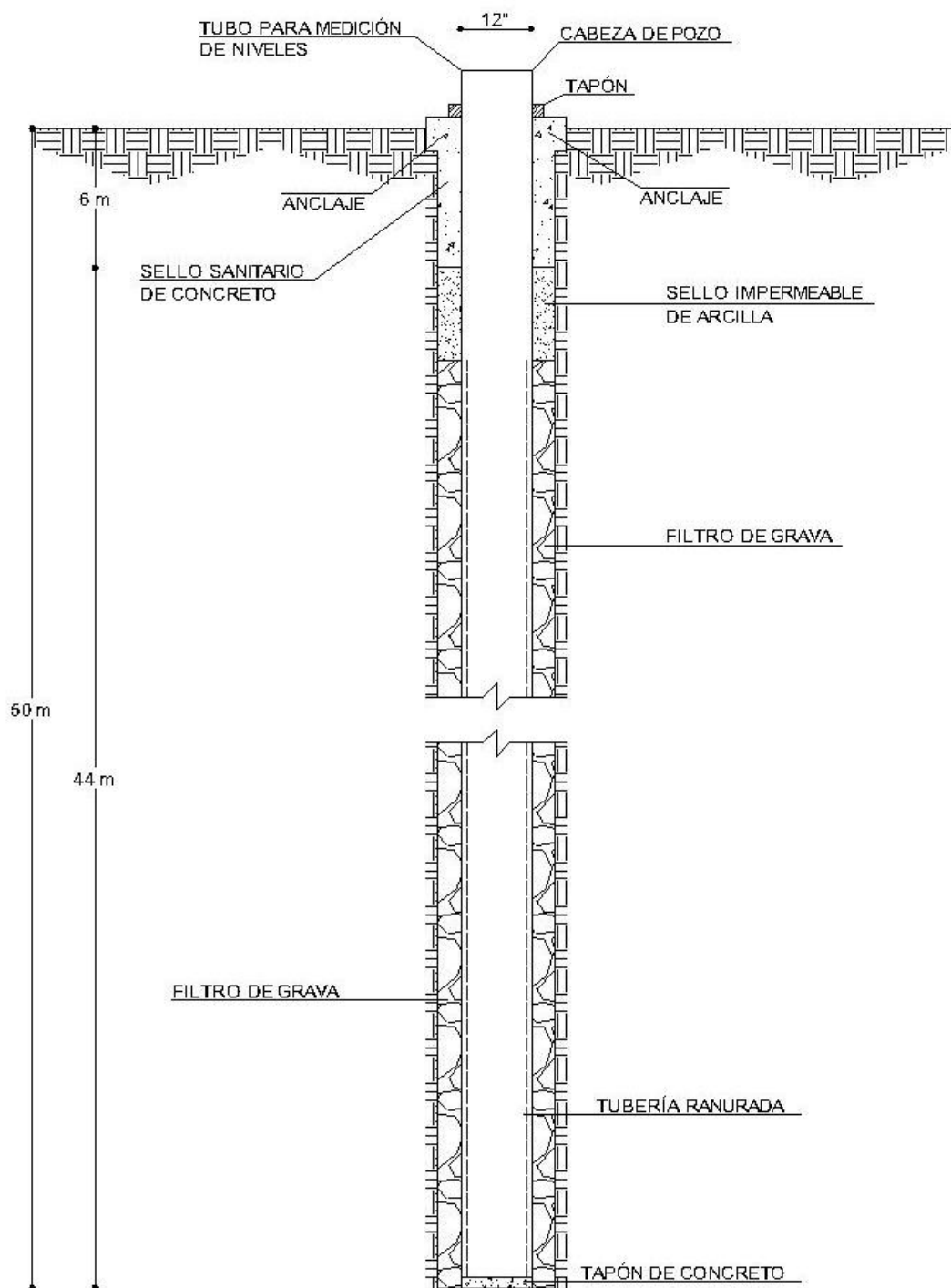


Fig. V. 3 Detalle constructivo del pozo. Elaboración propia



Como segunda alternativa se recomendó la excavación de una noria a 20 metros de profundidad, ubicada en el mismo sitio mostrado en la figura V.2, con el fin de penetrar en la zona del conglomerado compacto, que suele ser dura pero donde se encuentra una cantidad considerable de agua. El pozo necesita tener drenes perforados ubicados de manera radial a un metro de distancia de la pared de la noria (Figura V.4).

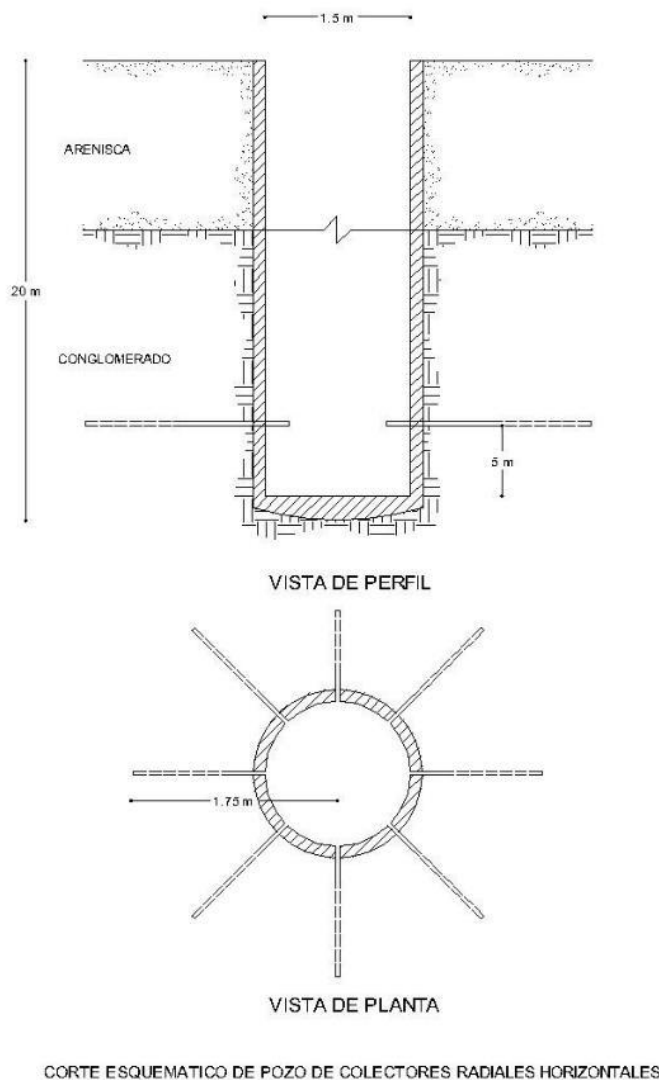


Fig. V. 4 Esquema constructivo de pozo con drenes radiales horizontales. Elaboración propia

Cabe señalar que, aunque se proponen las dos alternativas, la elección de la más adecuada para la comunidad se realizara posteriormente. Sin embargo; el diseño de la línea de conducción se realizó para la primera alternativa del pozo profundo a 50 m, ya que es la mejor opción para poder recolectar el agua suficiente que se requiere para abastecer a la comunidad.



V.2 Línea de conducción

Para que el agua recolectada por la obra de captación pueda ser extraída del pozo es necesario un sistema de bombeo y, a la salida de ésta, accesorios que permitan el correcto funcionamiento y protección del equipo; al conjunto de estos elementos se les denomina tren de descarga. El tren de descarga típico está conformado por válvulas y accesorios que aseguren la protección de la bomba, algunos de estos accesorios son:

- Válvula de expulsión de aire
- Válvula de admisión de aire
- Válvula de no retorno
- Manómetro
- Medidor de flujo
- Válvula de compuerta
- Válvula de alivio de sobrepresión

La línea de conducción es aquella que conecta el tren de descarga con el tanque de regulación. La línea de conducción puede ser a gravedad o por bombeo, dependiendo de las condiciones topográficas del sitio. La extracción del agua en la comunidad será de un pozo profundo mediante una bomba, por lo que el sistema será por bombeo.

V.2.1 Curva del sistema

La curva del sistema es aquella que representa en su totalidad el sistema de bombeo, es decir considera la elevación estática, la carga dinámica y las pérdidas por fricción y accesorios. Para realizar el análisis de las pérdidas por accesorios se utilizó el criterio de longitud equivalente en el cual las pérdidas por un accesorio son representadas por las pérdidas generadas por un tramo de tubería recto.

El sistema contempla los accesorios descritos en la tabla V.1 donde se presenta de igual manera su longitud equivalente.

Tabla V. 1 Longitud equivalente de los accesorios del tren de descarga y línea de conducción

Pérdidas por longitud equivalente en el tren de descarga			
Accesorio	Cantidad	L_{eq}	$L_{eq\ total}$
Codo a 90°	1	2.7	2.7
Codo a 45°	3	1.01	3.03
Ampliación	1	1.5	1.5
Válvula de compuerta	1	0.55	0.55
"T" de paso	2	1.7	3.4
Yee	1	6	6
Medidor de flujo	1	40	40
		Σ	57.18

Pérdidas por longitud equivalente en la conducción			
Accesorio	Cantidad	L_{eq}	$L_{eq\ total}$
Codo a 90°	5	2	10
Salida	1	1.5	1.5
Yee	1	1.7	1.7
		Σ	13.2

Elaboración propia



El punto de operación representa la altura de la carga hidráulica necesaria para abastecer el gasto de diseño, considerando pérdidas por fricción en las tuberías y pérdidas locales provocadas por válvulas y los elementos del tren de descarga mencionados en la tabla V.1. La elección de la bomba se hizo con base en la curva característica y el punto de operación, cuyo gasto en este caso se ha definido de 3 l/s, por un periodo de 3:45:00 horas a una altura estática de 64 m.

En la figura V.5 se muestra la ubicación del punto de operación y las curvas características de dos diferentes modelos de bombas. El modelo de bomba UPD 152-5 en funcionamiento con el gasto de diseño alcanzaría únicamente una carga hidráulica de 58 m, carga insuficiente para que el bombeo alcance el almacenamiento. Por otro lado, el modelo UPD 152-6 para ese mismo gasto cuenta con una carga hidráulica de 70 m, el cual sobrepasa el punto de operación por lo que representa una mejor opción para realizar el bombeo.

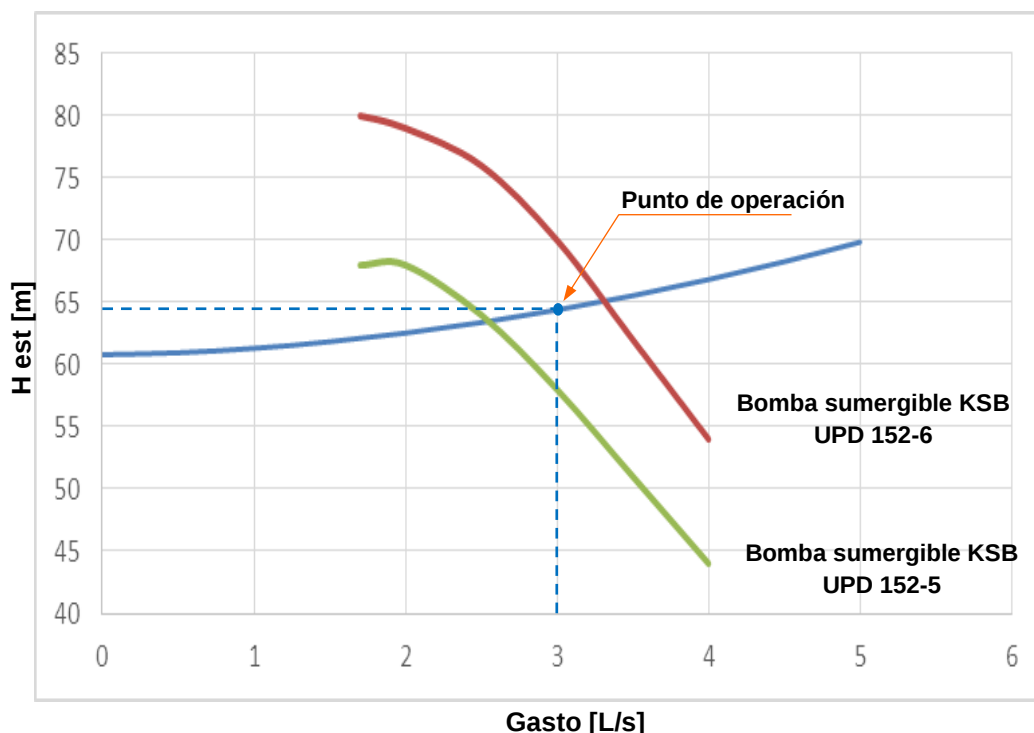


Fig. V. 5 Curva característica del sistema. Elaboración propia

V.2.2 Ubicación de válvulas

Así como en redes de distribución, las válvulas representan una parte fundamental en el diseño de líneas de conducción, ya que protegen los elementos que componen al sistema y son de gran ayuda para la operación y mantenimiento. La función que desempeña cada una de estas son:



- Válvula de control

Una válvula de control es requerida en el sistema para interrumpir el flujo y vaciar la tubería en alguna sección con la finalidad de dar mantenimiento, o bien, realizar reparaciones. Se recomienda colocar éstas válvulas a la salida del origen.

- Válvula de admisión y expulsión de aire

El uso de estas válvulas en la línea de conducción nos permite expulsar o introducir aire al sistema cuando sea requerido. Al haber burbujas de aire dentro del sistema, debido al paro y arranque de la bomba, éstas ocuparán un espacio dentro de la tubería generando bolsas que disminuyen el área efectiva del tubo, ello provoca que el agua aumente su velocidad. Para esto la bomba requiere un mayor consumo de energía, dado que las pérdidas debidas a la fricción aumentarán con el incremento de la velocidad; al expulsar el aire del sistema la velocidad del fluido disminuirá y como consecuencia el consumo eléctrico de la bomba de igual manera se reducirá. En caso de que se genere una presión de vacío dentro, la válvula introducirá aire al sistema para evitar daños como los producidos por la cavitación. Estas válvulas se deben ubicar al inicio de la conducción y en las crestas de la tubería.

- Válvula de alivio de sobrepresión

Dentro de la tubería, cuando se cierra en su totalidad alguna válvula, se generará un importante aumento de la presión del sistema como producto de la colisión de la masa de agua con la válvula cerrada (golpe de ariete), esta energía de presión es transferida a la válvula y las paredes de la tubería desgastando los accesorios de manera prematura, por lo que este fenómeno puede ocasionar que disminuya la vida útil del sistema. Para liberar la presión adicional que se añade al sistema debido al golpe de ariete, se hace uso de válvulas de alivio de sobrepresión; cuando la presión del fluido sobrepasa a la presión que soporta el sistema, estas válvulas liberan un poco de líquido con la finalidad de reducir la presión interna manteniendo al sistema en condiciones óptimas de funcionamiento. Se recomienda poner a las válvulas de alivio de sobrepresión justo arriba de la válvula de seccionamiento.

- Válvula de desfogue

La válvula de desfogue se emplea para la liberación del agua en la tubería para permitir hacer mantenimiento en el sistema, se deben ubicar en los puntos más bajos cuando la pendiente de la tubería cambia de negativa a positiva.



V.3 Desinfección

La desinfección representa una operación de suma para la correcta operación de un sistema de abastecimiento de agua potable. Frecuentemente, esta operación se realiza con productos químicos como el cloro para destruir microorganismos patógenos.

Al ser un procedimiento sencillo, la desinfección con cloro es recomendable para comunidades rurales ya que este no requiere capacitación o personal para el manejo del equipo. Dado que los gastos son pequeños se puede optar por un sistema de desinfección mediante tabletas de hipoclorito de calcio.

V.3.1 Hipoclorito de calcio

De los métodos de desinfección de agua el más conveniente para gastos pequeños es el que se realiza mediante hipoclorito de calcio, el cual es de fácil acceso, ya que existen diferentes marcas comerciales que pueden ser adquiridas en la mayoría de las ciudades.

El almacenamiento es más sencillo que el cloro líquido ya que es un producto en forma granular, generalmente en tambores de 45 ó 50 kg de capacidad. Los cuales pueden ser almacenados hasta por un periodo de un año. Dado que el hipoclorito es más caro que el cloro líquido su uso se limita a plantas con caudales pequeños (menores a 10 l/s).

El desinfectante debe agregarse de manera que se mezcle en proporciones iguales de manera continua y con la cantidad suficiente para el tipo de agua que se esté tratando. Para realizar la desinfección se requiere un equipo dosificador de hipoclorito de calcio de tabletas Marca Rainbow o similar.



Fig. V. 6 Equipo dosificador de Hipoclorito de calcio marca Rainbow. Fuente: Cloradores Rainbow

Se propone utilizar tabletas de hipoclorito de calcio al 65% de 3". Dado que el gasto diario de bombeo es de 25 m³ el equipo adecuado sería el Modelo 300 que soporta un volumen

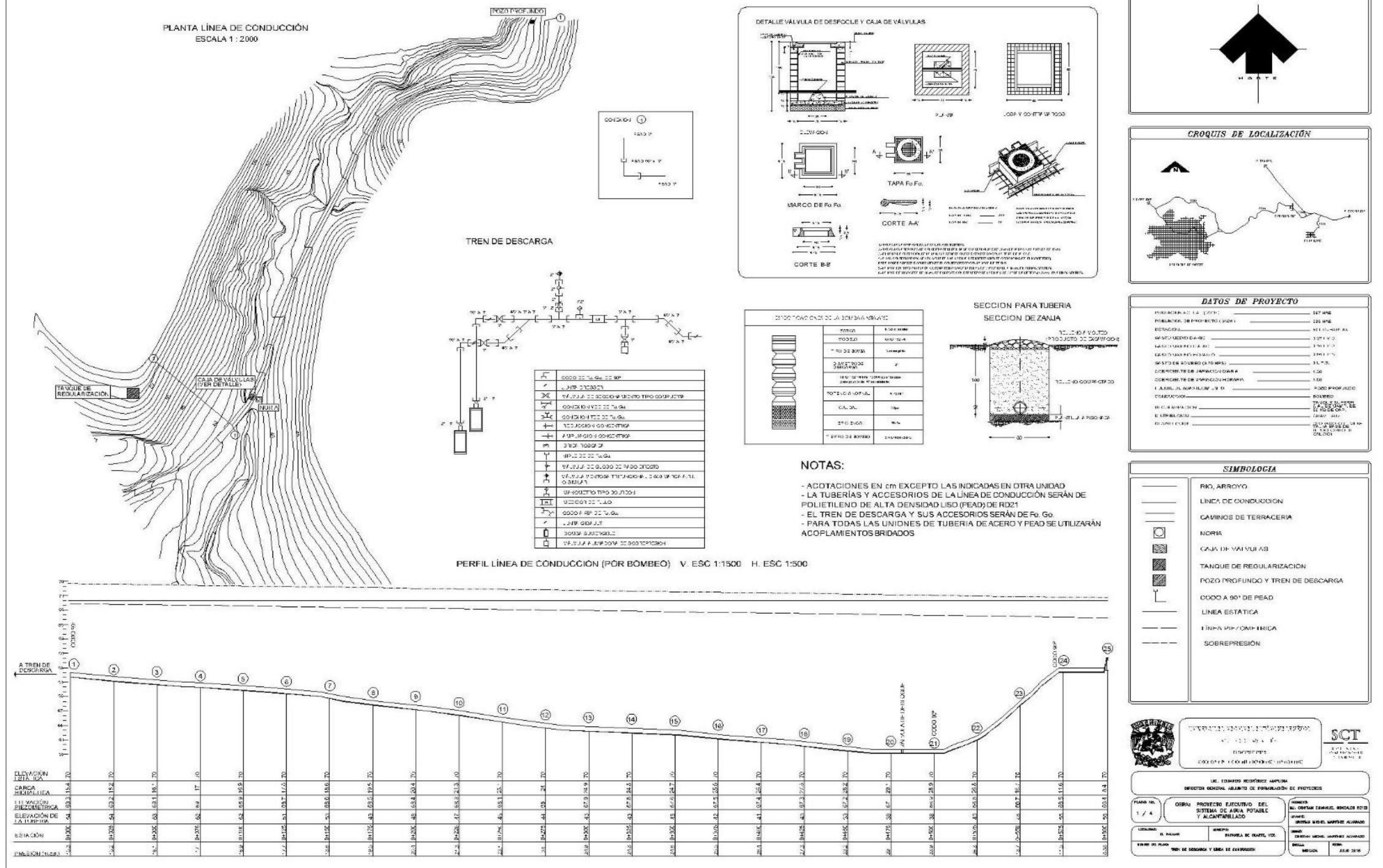


Fig. V. 7 Trazo altimétrico y planímetro de la línea de conducción. Elaboración propia



de hasta de 42 m³. La cantidad de hipoclorito de calcio necesaria para el sistema de distribución se calcula como:

$$kg\ Cl_2 / día = \frac{Q \times T \times PPM}{\% Cl_2 \times 10^6}$$

Dónde:

kg Cl₂ /día: Kilogramos de cloro por día.

Q: Gasto en l/s

T: Tiempo de bombeo

PPM: Partes por millar de cloro (10 ppm)

%Cl₂: Porcentaje de concentración de cloro

Por lo que la cantidad de hipoclorito de calcio sería:

$$kg\ Cl_2 / día = \frac{3 \times 13500 \times 10}{650000} = 0.623\ kg\ Cl_2 / día$$

Estos equipos pueden almacenar tabletas por lo que no es necesario recargarlos diariamente. El tiempo máximo para cambiar las tabletas dependerá de la capacidad de almacenamiento del equipo. El Modelo 300 para tabletas de 3" cuenta con un almacenamiento de 2.17 kg

Peso de cada tableta de 3" = 200 gr = 0.2 kg

Capacidad en tabletas del equipo = 11 tabletas (2.17 kg)

$$\text{Tiempo de recarga} = \frac{2.17\ kg\ Cl_2}{0.623\ kg\ Cl_2 / día} = 4\ días$$

Con el fin de evitar que el sistema se quede en desabasto se recomienda revisar y suministrar el hipoclorito de calcio con un día de anticipación.

Ya que el dosificador Modelo 300 es fuera de línea, es decir, no es un accesorio que se incluya dentro del tren de descarga sino es un accesorio paralelo a este, se conectaría como último elemento antes de la unión con la línea de conducción.

V.4 Tanque de regulación

V.4.1 Tanques superficiales de tierra y mampostería

Estos depósitos son contruidos para almacenar grandes volúmenes de agua, y usualmente se realiza una parte de excavación y otra de terraplenes. La localización y elevación del fondo de los depósitos se seleccionan de tal forma que se asegure la mejor relación económica entre la excavación y la facilidad con que puede ser obtenido el material para formar los terraplenes.



Para un depósito sencillo la forma circular es la más económica; en cambio, en depósitos grandes la forma rectangular es más conveniente de construir, ya que requiere menor área, por lo que es la forma adoptada usualmente, excepto cuando la topografía favorece un contorno irregular o cuando el depósito es pequeño.

En los sistemas rurales de México, los tanques de mampostería son de pequeña capacidad y generalmente son contruidos con muros de piedra braza, con el recubrimiento interior necesario que garantice su impermeabilidad y con piso y techo de losas de concreto armado. Estos tanques son usados para alimentar directamente a la red de distribución como tanques de distribución y/o almacenamiento (CONAGUA 1994).

V.4.2 Cálculo del volumen del tanque de regulación

Generalmente la regulación se realiza por periodos de 24 horas. Básicamente el cálculo de volumen del tanque se basa en conciliar las leyes de suministro (o de entrada) con las de demanda (o de salida) (CONAGUA 1994).

El cálculo se realiza mediante una tabla que considera la ley de demanda que se utilizó para el abastecimiento de la localidad. Ya que la demanda horaria está en porcentaje, el suministro o entrada también se expresa en porcentaje. Para un bombeo continuo la ley de entrada sería del 100% a cada hora. Si se desea realizar un bombeo con un periodo menor a 24 horas se tendrá que aumentar el caudal de entrada para compensar las horas en que no hay alimentación y tener al final del día un total que corresponde al 2400%.

Se ha establecido que el acuífero del lugar no tendría la capacidad de bombear durante un periodo extendido, por lo que se ha optado por tener un bombeo reducido. El acuífero, como máximo, puede realizar un bombeo continuo por un corto periodo, bombeando únicamente 3 l/s para que de esta manera exista recarga; por ello se consideró que sería necesario bombear el 640% por 3:45:00 horas para cumplir con la demanda de una población pequeña. Por lo que el volumen del tanque se calcula como se muestra en la tabla V.2

El horario de bombeo será de 8:00 am hasta las 11:45 am, siendo este el horario de mayor demanda en el día, evitando tener un volumen de almacenamiento excesivo. Se considerará almacenamiento de un día en caso de que la recarga del acuífero no sea suficiente o sea necesario realizar mantenimiento a la línea de conducción. De esta manera la comunidad no se verá afectada por los trabajos de mantenimiento. Dado esto, la capacidad del tanque sería considerada del doble del calculado.

$$Vol\ Reg = 50\ m^3$$



Tabla V. 2 Cálculo del volumen de regulación

Q_{MD} 3.00 l/s
0.00300 m^3/s
Tiempo de bombeo 03:45:00 horas

Hora	Ley de entrada %	Ley de salida %	Diferencias %	Diferencias acumuladas %
0 - 1	0	45	-45	-45
1 - 2	0	45	-45	-90
2 - 3	0	45	-45	-135
3 - 4	0	45	-45	-180
4 - 5	0	45	-45	-225
5 - 6	0	60	-60	-285
6 - 7	0	90	-90	-375
7 - 8	0	135	-135	-510
8 - 9	640	150	490	-20
9 - 10	640	150	490	470
10 - 11	640	150	490	960
11 - 12	480	140	340	1300
12 - 13	0	120	-120	1180
13 - 14	0	140	-140	1040
14 - 15	0	140	-140	900
15 - 16	0	130	-130	770
16 - 17	0	130	-130	640
17 - 18	0	120	-120	520
18 - 19	0	100	-100	420
19 - 20	0	100	-100	320
20 - 21	0	90	-90	230
21 - 22	0	90	-90	140
22 - 23	0	80	-80	60
23 - 24	0	60	-60	0
SUMA	2400	2400		

Max 1300
Min -510

Vol Reg	25.49	m^3
----------------	--------------	-------------------------

Elaboración propia



V.5 Sistema de distribución

El sistema de distribución de agua sirve para conducir el agua extraída desde la fuente hasta el punto donde se la entrega a los usuarios. Para abastecimientos de agua a pequeñas comunidades, se debe mantener la simplicidad del sistema de distribución.

Por lo general el sistema de distribución de un abastecimiento de agua a pequeñas comunidades está diseñado para satisfacer los requerimientos domésticos y otros requerimientos residenciales de agua. También se puede proveer para el abrevadero del ganado y agua para irrigación de huertos.

La demanda de agua de una comunidad varía considerablemente en el curso de un día. El consumo de agua es más elevado durante las horas en que se la usa para la higiene personal y la limpieza y cuando se realiza la preparación de alimentos y el lavado de ropa. Durante la noche, el uso del agua será el más bajo.

Los tanques de regulación sirven para acumular y almacenar agua durante la noche de tal forma que se puede abastecer de agua durante las horas de demanda elevada en el día.

Es necesario mantener una presión suficiente en el sistema de distribución con el fin de protegerlo contra la contaminación por el ingreso de agua contaminada de filtración. Para los abastecimientos a pequeñas comunidades, en la mayoría de los casos, una presión mínima de 6 m de columna de agua sería la adecuada (CEPIS 1988).

- Tipos de sistemas de distribución

Existen dos tipos principales de sistemas de distribución:

1. Sistema ramificado o abierto
2. Sistema de redes cerradas

En general, los sistemas ramificados se usan solo para abastecimientos públicos de poca capacidad que entregan el agua mayormente a través de fuentes públicas y que tienen pocas o ninguna conexión domiciliaria. Para sistemas de distribución más grandes, son más comunes los sistemas de rejillas o redes cerradas.

Los sistemas ramificados tienen la ventaja de que su diseño es directo. Se puede determinar fácilmente la dirección y la tasa de flujo de agua en todas las tuberías. Esto no es tan fácil en un sistema de redes cerradas en donde se puede alimentar cada tubería secundaria desde dos lados.

El número y tipo de los puntos (conexiones de servicio) en los cuales se entrega el agua a los usuarios, tiene considerable influencia en el diseño de un sistema de distribución de agua.



Se puede distinguir los siguientes tipos de conexiones de servicio como lo indica el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria:

- Conexión domiciliaria.
- Conexión de patio
- Fuente publica

Una *conexión domiciliaria* es una tubería de servicio de agua conectada con plomería interior a uno o más grifos. Por lo general, se usan grifos de 3/8 de pulgada (9mm) y 1/2 pulgada (13mm).

Una *conexión de patio* es bastante similar a una conexión domiciliaria, la única diferencia es que los grifos son colocados en el patio fuera de las casas. No provee ningún sistema de tuberías en el interior ni ningún accesorio.

Una *fuentes pública* abastece a un conjunto de casas y es adecuado cuando se tienen casas muy dispersas y de difícil acceso para una red de patio.

En el caso de “El Palmar” se tienen el trazo definido de calles y las casas no se encuentran dispersas, salvo algunas excepciones, por lo que una red de conexión de patio sería la opción adecuada para la localidad.

V.5.1 Diseño de la red de distribución

Un adecuado sistema de distribución debe ser capaz de proporcionar agua potable en cantidad adecuada, a la presión suficiente cuando y donde se requiera dentro de la zona de servicio. Por lo que es necesario al diseñar la red revisar parámetros como la velocidad y presión dentro de la red de abastecimiento.

Materiales de la tubería

Las tuberías comúnmente usadas en sistemas pequeños de distribución de agua son de hierro fundido (HF) asbesto-cemento (AC), poli cloruro de vinilo rígido (PVC) y plástico flexible de polietileno de alta densidad (PEAD). Algunas veces se selecciona el acero galvanizado (A) debido a su elasticidad, para situaciones en las que se espera el hundimiento de las tuberías. Los factores que influyen en la selección del material de tubería son: el costo y la disponibilidad de diferentes tipos de tubería, la presión señalada en el sistema de distribución, la corrosividad del agua y del terreno en el que se va a colocar las tuberías y condiciones tales como sobrecarga de tráfico, proximidad a líneas de desagüe y áreas residenciales muy pobladas (CONAGUA 1994).

Debido a que el sistema será pequeño, se ha optado PEAD que permite bajos costos, una instalación sencilla y rápida del sistema de distribución.



Velocidad máxima y mínima

Las velocidades permisibles del líquido en un conducto están gobernadas por las características del material del conducto y la magnitud de fenómenos transitorios. Existen límites tanto inferiores como superiores. La velocidad mínima se fija para evitar la precipitación de las partículas que arrastre el agua. La velocidad máxima será aquella con la cual no deberá ocasionarse erosión en las paredes de la tubería (CONAGUA 1994).

Tabla V. 3 Velocidades máximas y mínimas permisibles en tuberías

Material de la tubería	Velocidad (m/s)	
	Máxima	Mínima
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado de 60 cm de diámetro o mayores	3.50	0.30
Concreto presforzado	3.50	0.30
Acero con revestimiento	5.00	0.30
Acero sin revestimiento	5.00	0.30
Acero galvanizado	5.00	0.30
Asbesto cemento	5.00	0.30
Fierro fundido	5.00	0.30
Hierro dúctil	5.00	0.30
Polietileno de alta densidad	5.00	0.30
PVC (policloruro de vinilo)	5.00	0.30

Fuente: CONAGUA

Pérdidas de carga por fricción

Para las pérdidas de energía causadas por fricción se utiliza el modelo de Darcy-Weisbach, como lo señala CONAGUA en el Manual de Datos Básicos, el cual tiene un fundamento teórico respecto al esfuerzo cortante entre la pared de la tubería y el líquido, así como la viscosidad del mismo. Este modelo considera a los tres tipos de regímenes de flujo (laminar, transición y turbulento).

Para el cálculo de pérdidas por fricción en diseño de conductos a presión para agua potable, se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

h_f = Pérdida de energía por fricción en m

f = Factor de pérdidas de carga por fricción. Adimensional

L = Longitud de la tubería, en m

D = Diámetro interno del tubo, en m

V = Velocidad media, en m/s

g = aceleración de la gravedad, en m²/s



Para encontrar el valor del factor de pérdidas de carga por fricción f , se usa la siguiente formula, conocida como la ecuación de Colebrook-White.

$$\frac{1}{f} = -2 \log \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}}$$

Dónde:

f = factor de pérdidas de carga por fricción.

ε = Rugosidad, en mm

Re = Numero de Reynolds

D = Diámetro interior del tubo, en mm

El número de Reynolds está dado por:

$$Re = \frac{V D}{\nu}$$

Dónde:

V = Velocidad media en el conducto, en cm/s

D = Diámetro interno del tubo, en cm

ν = Viscosidad cinemática del agua en cm^2/s

La viscosidad cinemática varía con la temperatura como se observa en la figura V.4

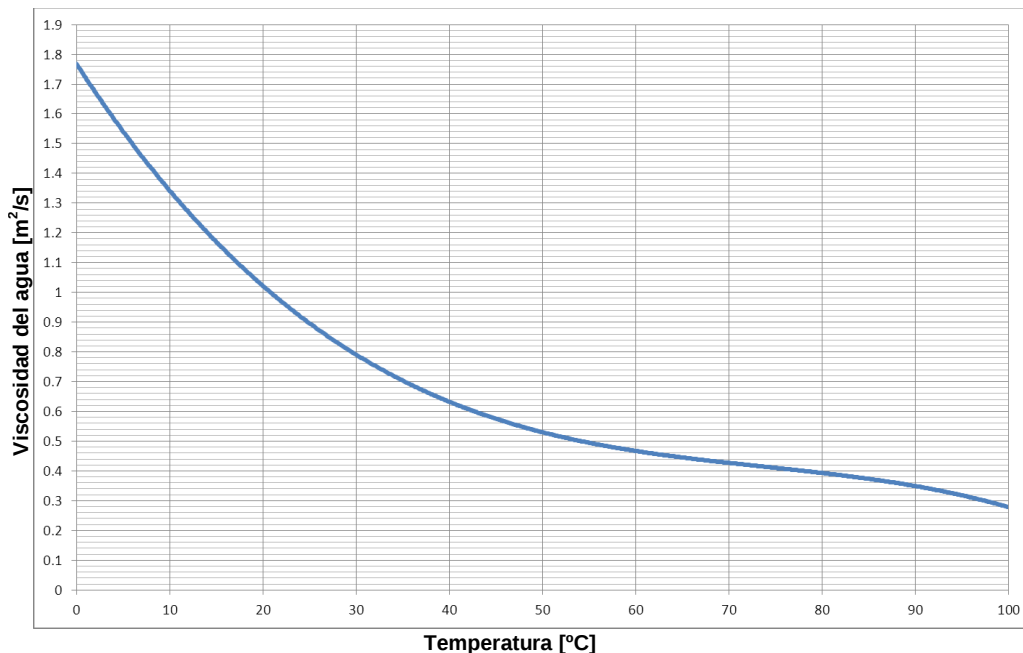


Fig. V. 9 Variación de la viscosidad cinemática del agua con la temperatura. Fuente: CONAGUA



Ecuación modificada de Coolebrook – White

Se han realizado varios estudios para obtener expresiones explícitas para el cálculo del factor de pérdida de carga f ajustado a los resultados de la ecuación de Colebrook-White (CONAGUA 1994). Una ecuación producto de estos estudios para la obtención del factor de pérdida de carga es la ecuación de Guerrero:

$$f = \frac{0.25}{\log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{G}{R_e^T} \right)^2}$$

Dónde:

Tabla V. 4 Parámetros G y T en función del número de Reynolds y rugosidad para materiales comunes.

$G = 4.555$ y $T = 0.8764$ para $4000 \leq Re \leq 10^5$
$G = 6.732$ y $T = 0.9104$ para $10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$
$G = 8.982$ y $T = 0.9300$ para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$

Material	ε en mm
Cobre, PVC, polietileno de alta densidad	0.0015
Fierro fundido	0.005 a 0.03
Acero	0.04 a 0.1
Asbesto cemento	0.025 a 0.03
Concreto	0.16 a 2

Fuente: CONAGUA

V.5.2 Diseño de la red con ayuda del programa EPANET

Para el cálculo de la red de abastecimiento se utilizó como apoyo el programa EPANET, programa desarrollado por la U.S. EPA, el cual realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nodos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamientos o embalses.

EPANET permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, de la presión en los nodos de demanda, del nivel del agua en los depósitos, y de la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación.

EPANET permite calcular:

- El caudal que circula por cada una de las conducciones
- La presión en cada uno de los nodos
- El nivel de agua en cada tanque
- El tiempo de permanencia del agua en las tuberías
- La procedencia del agua en cada punto de la red.



El programa toma la teoría hidráulica utilizando las ecuaciones de Darcy – Weisbach así como la ecuación modificada de Colebrook – White para el cálculo de las pérdidas en cada uno de los tubos.

El trazo de la red se realiza siguiendo los caminos ya existentes y abarcando los frentes de casa para así abastecer a cada una de las viviendas de la localidad. El procedimiento para el trazo y equilibrio de la red es el siguiente:

1. En primer lugar se ubicó un depósito que alimentará la red en el lugar seleccionado; presionando el botón  en la barra de herramientas y dando click sobre el sitio deseado.
2. Se ubicaron los nodos o conexiones al inicio y final de cada tubería así como en bifurcaciones como se observa en la figura V.10, con el botón .
3. Se colocaron las tuberías uniendo los nodos siguiendo el trazo de las calles utilizando el botón  hasta conformar la red como se observa en la figura V.11.

Nota: Dado que se planea realizar una red abierta no se cierran los circuitos



Fig. V. 10 Ubicación y numeración de nodos y tanque de regulación. Fuente: EPANET



Fig. V. 11 Ubicación y numeración de las conexiones o tuberías. Fuente: EPANET

4. El programa asigna valores estándar a los elementos dibujados por lo que es necesario modificarlos a las características del proyecto. Lo primero que se modificará serán las propiedades de las tuberías, presionando dos veces sobre el objeto en el plano.
5. Como primera iteración se utilizará el diámetro de 2" (48.7 mm). Los datos a modificar en el programa son los mostrados en la tabla V.5.

Tabla V. 5 Propiedades de la red

Tubería	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad [mm]
1	39	48.7	0.018
2	228	48.7	0.018
3	271	48.7	0.018
4	95	48.7	0.018
5	131	48.7	0.018
6	118	48.7	0.018
7	103	48.7	0.018
8	45	48.7	0.018
9	149	48.7	0.018
10	104	48.7	0.018
11	90	48.7	0.018
12	60	48.7	0.018
13	120	48.7	0.018
14	52	48.7	0.018
15	45	48.7	0.018
16	40	48.7	0.018
17	113	48.7	0.018

Tubería	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad [mm]
18	27	48.7	0.018
19	56	48.7	0.018
20	72	48.7	0.018
21	62	48.7	0.018
22	49	48.7	0.018
23	47	48.7	0.018
24	35	48.7	0.018
25	71	48.7	0.018
26	167	48.7	0.018
27	79	48.7	0.018
28	160	48.7	0.018
29	25	48.7	0.018
30	32	48.7	0.018
31	110	48.7	0.018
32	71	48.7	0.018
33	87	48.7	0.018

Elaboración propia



6. Tomando en cuenta la población proyecto y el número aproximado de casas en la comunidad se obtuvo que en promedio hay 4 habitantes/vivienda, considerando un crecimiento en la mancha urbana.
7. Para cada tramo de tubería se realizó el conteo aproximado de los frentes de casa, con lo que se obtuvo el número de conexiones para toma domiciliaria y el número de habitantes por tramo de tubería a abastecer.
8. Teniendo como dato que la dotación es 50 litros al día por habitante, calculo mostrado en el capítulo II, se obtiene el gasto medio, multiplicando el número de habitante a abastecer en cada tramo de tubería por la dotación.
9. Considerando el coeficiente de variación diaria de 1.2 y variación horaria de 1.5 se obtienen los gastos máximos diarios y horarios respectivamente.

Nota: La descripción detallada de los datos insertados en el programa se presenta en el Anexo C.

Tabla V. 6 Gastos medio, máximo diario y máximo horario para cada sección de tubería

Tubería	Longitud [m]	Conexiones	Habitantes	Q _{med}		Q _{MD} [L/s]	Q _{MH} [L/s]
				L/día	L/seg		
1	39	0	0	0	0	0	0
2	228	12	54	2676.92	0.031	0.037	0.056
3	271	10	45	2230.77	0.026	0.031	0.046
4	95	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033
5	131	5	22	1115.38	0.013	0.015	0.023
6	118	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033
7	103	6	27	1338.46	0.015	0.019	0.028
8	45	1	4	223.08	0.003	0.003	0.005
9	149	11	49	2453.85	0.028	0.034	0.051
10	104	1	4	223.08	0.003	0.003	0.005
11	90	9	40	2007.69	0.023	0.028	0.042
12	60	2	9	446.15	0.005	0.006	0.009
13	120	5	22	1115.38	0.013	0.015	0.023
14	52	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014
15	45	2	9	446.15	0.005	0.006	0.009
16	40	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019
17	113	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033
18	27	0	0	0.00	0.000	0.000	0.000
19	56	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019
20	72	5	22	1115.38	0.013	0.015	0.023
21	62	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014
22	49	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019
23	47	3	13	869.23	0.010	0.012	0.018
24	35	3	13	869.23	0.010	0.012	0.018
25	71	2	9	446.15	0.005	0.006	0.009
26	167	6	27	1338.46	0.015	0.019	0.028
27	79	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014
28	160	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033
29	25	1	4	1223.08	0.014	0.017	0.025
30	32	3	13	1169.23	0.014	0.016	0.024
31	110	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019
32	71	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014
33	87	0	0	0.00	0.000	0.000	0.000

Elaboración propia



10. En cada uno de los nodos se modificó la cota y se cargó el gasto máximo diario (demanda base) en el nodo inicial de cada tubería.
11. Se identificó el punto más desfavorable el cual se encuentra en la cota más alta o el punto más alejado.

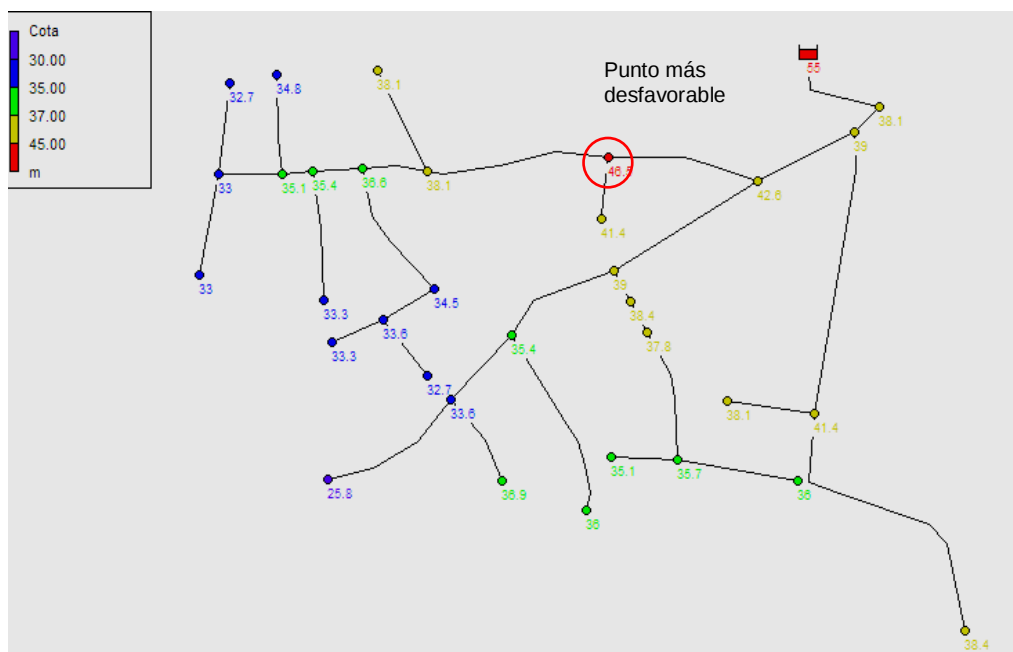


Fig. V. 12 Cotas de los nodos y ubicación del punto más desfavorable. Fuente: EPANET

V.5.2.1 Análisis a periodo extendido

Para conseguir un resultado más realista, se hizo un análisis de periodo extendido; el cual permite observar variación la demanda a cada hora a lo largo de un día. En el caso de la comunidad se generarán 3 patrones de comportamiento diferentes:

- El primero correspondiente a la comunidad, comparando su comportamiento con una población pequeña
- El segundo correspondiente a la escuela primaria y secundaria cuyo funcionamiento se limita a algunas horas al día
- El tercero al kínder cuyo horario difiere al de la escuela primaria y secundaria.

Para crear el patrón de demanda:

12. Se seleccionó la categoría patrones en el buscador de datos
13. Se crearon los patrones introduciendo los datos observados en la figura V.13

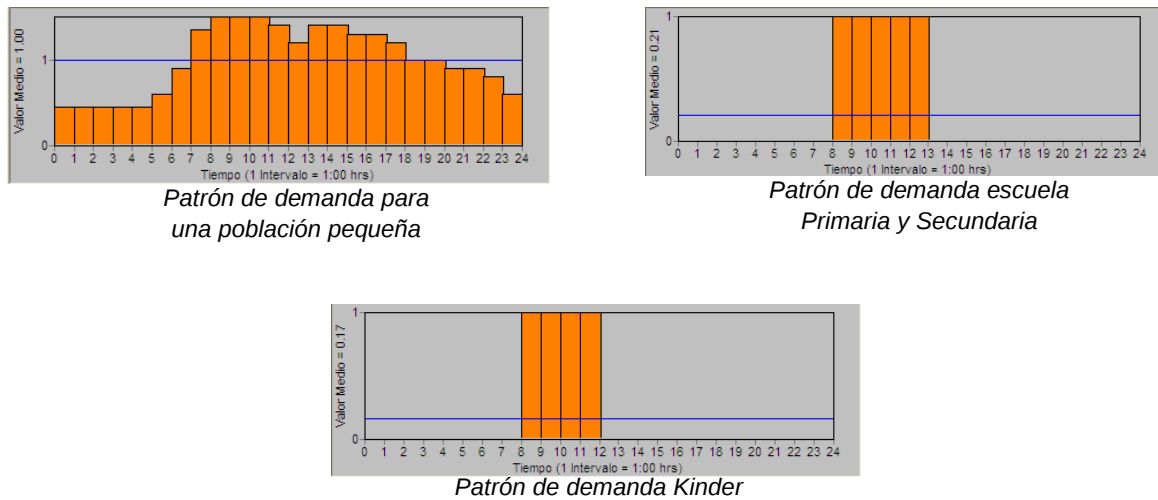


Fig. V. 13 Patrones de demanda. Fuente: EPANET

Una vez que se cuenta con toda la información se puede empezar con el análisis a periodo extendido.

14. Se asoció a cada uno de los nodos la curva de demanda correspondiente desde el menú de propiedades.
15. En la categoría de opciones se seleccionó Tiempo para cambiar la duración de periodo de análisis a 24 horas.
16. Se realizó el primer Análisis Hidráulico presionando el botón 
17. Dado que el comportamiento es diferente para cada hora se detuvo el análisis en la hora pico (8 – 11 horas) ya que en ese horario se tiene un mayor consumo.
18. Se modificó la cota del embalse y diámetros de la tubería hasta que la presión en el punto más desfavorable sea como mínimo 6 metros columna de agua (m.c.a.)
19. También se verificó que las presiones durante el horario de 12 a 5 am no excedieran la presión de trabajo.

El equilibrio de la red se obtuvo modificando la cota del tanque de regulación a 55 m como mínimo con los diámetros observados en la figura III.21, la presión en el punto más desfavorable y otros puntos en el horario más desfavorable (10:00 am) se observan en la tabla V.7 y figura V.14

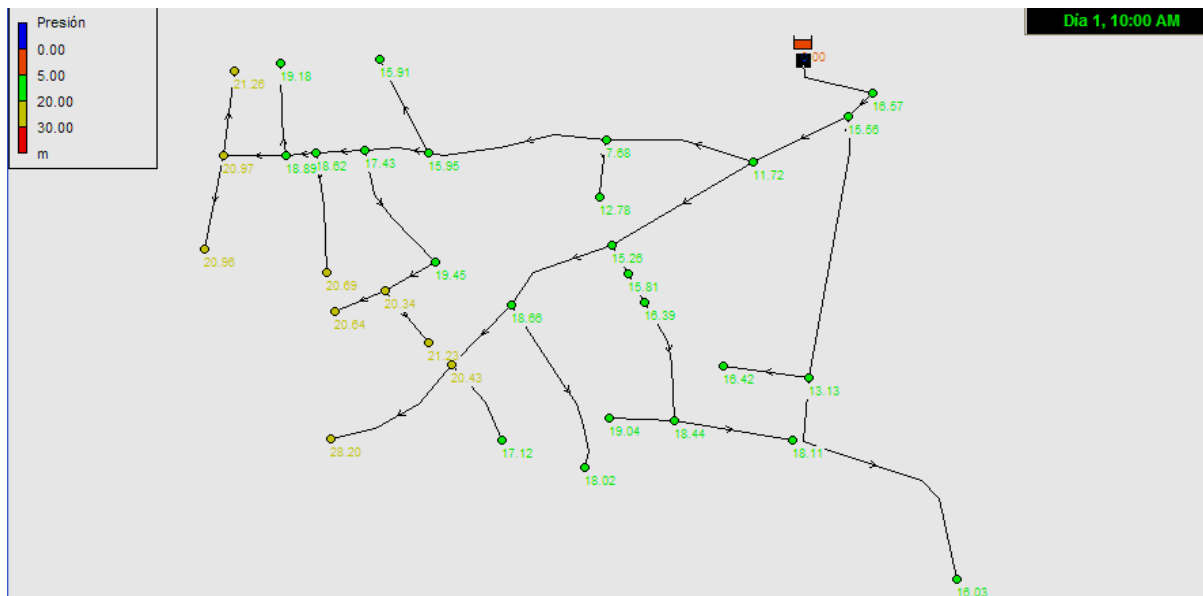


Fig. V. 14 Presiones en m.c.a para cada nodo. Fuente: EPANET

Tabla V. 7 Presiones en cada nodo y presión mínima para el horario más desfavorable

Nudo	Presión [m.c.a]	Nudo	Presión [m.c.a]	Nudo	Presión [m.c.a]
1	16.57	13	15.91	26	21.23
2	15.56	14	17.43	27	17.12
3	13.13	15	19.45	28	20.43
4	16.03	16	20.64	29	28.2
5	11.72	17	18.62	30	18.02
6	7.68	18	20.69	31	16.42
7	15.26	19	20.97	32	15.81
8	18.44	20	21.26	33	18.39
9	18.11	21	20.96	34	12.78
10	19.04	22	20.34	35	0
11	15.95	23	18.89		
12	18.66	24	19.18		

Elaboración propia

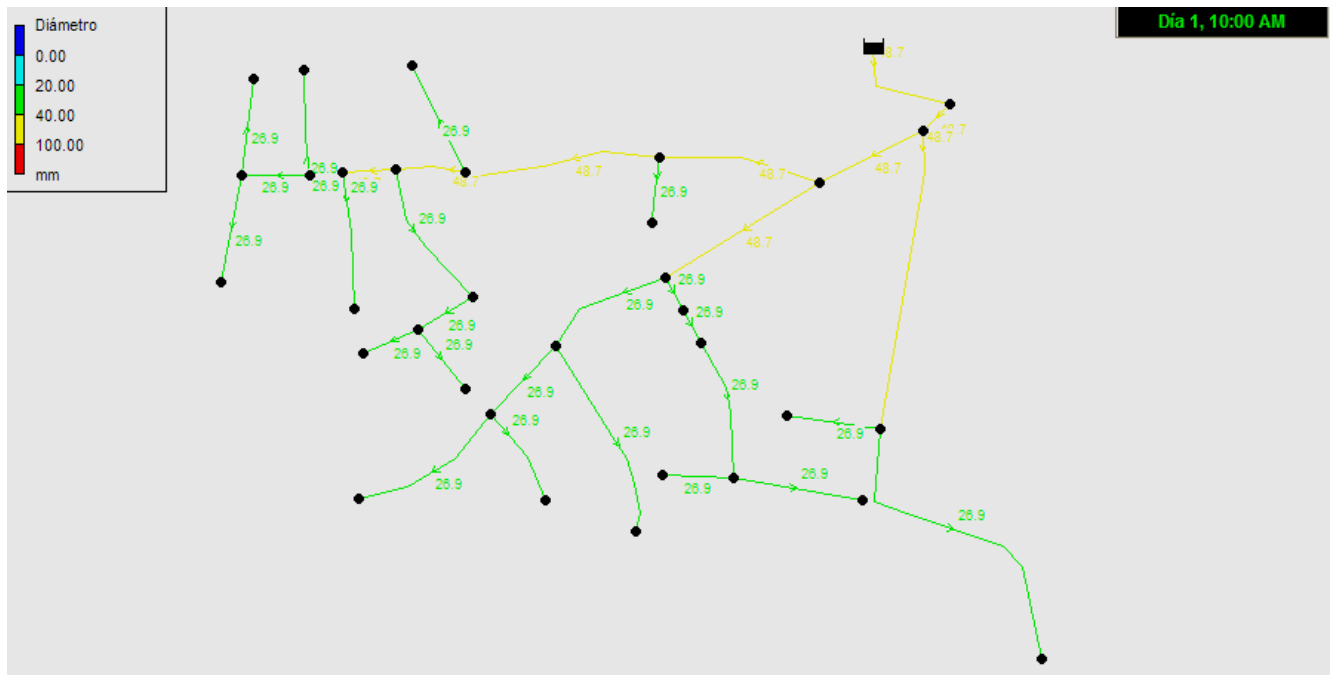


Fig. V. 15 Diámetros de tuberías al equilibrar a red. Fuente: EPANET



V.6 Recomendaciones para la construcción de la línea de conducción y red de distribución.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones para la construcción de la red de distribución así como la línea de conducción en localidades pequeñas, extraídas del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), Manual de sistemas rurales.

V.6.1 Almacenamiento

Durante la carga y descarga de los tubos, no deben arrojarse al suelo, someterlos a peso excesivo o golpearlos. En el caso de utilizar medios mecánicos para la carga o descarga, deben utilizarse medios que no dañen los tubos, tales como eslingas de nylon, fajas de lana.

El sitio de almacenaje de los tubos de PVC o PEAD debe estar cercano al lugar de la instalación; la superficie debe estar nivelada y libre de piedras. La primera capa de tubos se apoya sobre tiras de madera, las cuales deben de tener una separación no mayor de 1.5 m. No deben hacerse estibas con altura mayor a 2 m, cuidando que la colocación sea alternada.

V.6.2 Trazo

No es necesario usar tránsito en el trazo para la apertura de las zanjas. Se pueden utilizar balizas o simplemente un hilo fuerte o cuerda tensa, tendida en el tramo que se excavará, o de crucero a crucero, en el caso de la red de distribución. En el caso de poca profundidad (hasta 1 m para diámetros hasta de 101.6 mm) se marca con cal sobre el pavimento dos líneas paralelas, separadas entre sí 60 cm. Si no hay pavimento, el trazo se puede hacer picando el terreno con un zapapico, a lo largo de la cuerda tendida, o bien hincando estacas cada 20 m para sujetar a ellas las cuerdas, de manera que no se pierda la línea al iniciar la excavación. A medida que se van alcanzando profundidades de 20 o 30 cm, los mismos peones se encargan de retirar las cuerdas para que no estorben y puedan ser utilizadas en el trazo de otros tramos.

V.6.3 Excavación

Las zanjas se deben abrir únicamente lo suficiente para el avance en la instalación de la tubería; la excavación no debe de rebasar los 200 m adelante del frente de la instalación del tubo. Al evitar tramos largos abiertos, muy a menudo se reduce y aún elimina el bombeo o ademado, la posibilidad de inundación y la socavación originada por el agua freática con los consiguientes derrumbes e inconvenientes al tránsito y a los trabajadores.



La excavación se realiza alojando el material manualmente o con equipo mecánico. Los factores que determinan el ancho de la zanja son el diámetro exterior de la tubería, procedimiento de acoplamiento tomando en cuenta el espacio suficiente que permita al operario colocar la plantilla, hacer el acoplamiento, acostillar, rellenar y consolidar los rellenos; y el ancho suficiente para no incrementar la carga del relleno sobre la clave del tubo.

La profundidad de la zanja de 1.00 m, más el diámetro exterior del tubo y el espacio requerido para la plantilla. Una profundidad relativamente escasa provocará que la carga viva sea notable; si sucede lo contrario, la carga muerta del relleno que actúa sobre la clave será mayor.

V.6.4 Plantilla

En el fondo de la zanja se coloca una plantilla de material seleccionado con espesor mínimo recomendable de 10 cm que debe ser nivelada, alineada y debidamente compactada. Se efectuarán cavidades de donde estén alojadas las juntas de acoplamiento y accesos para retirar los cables o eslingas durante las maniobras de colocación. La tubería sirve como sostén de la tubería en toda su longitud, con excepción de las juntas de acoplamiento. Las condiciones bajo las cuales se instala la tubería influyen en su capacidad para resistir las fuerzas combinadas de presión interna y carga externa.

La construcción de la plantilla asegura la estabilidad de la línea, y debe cumplir con dos condiciones: que el tubo se apoye en toda su longitud sobre un lecho firme y uniforme.

Aun siendo el terreno de características suaves, la plantilla es necesaria, pues proporcionan al tubo nivelación adecuada y permite repartir su carga. La plantilla deberá estar exenta de piedras, raíces y afloramientos rocosos, y se apisonará hasta que el rebote del pisón que se ha logrado la mayor compactación posible, lo que se consigue humedeciendo los materiales, al tiempo que se apisona.

V.6.5 Atraques

Debido a que en las líneas de conducción de agua potable la presión interna genera esfuerzos axiales en los cambios de dirección como codos y tee's se requiere construir apoyos en la tubería llamados atraques, que tienen la finalidad de evitar que la línea se mueva y le afecte su acoplamiento como consecuencia del empuje producido por la presión.

Los atraques constituyen medios de anclaje entre la tubería, accesorios y pared de la zanja; se construyen de concreto ($f' c = 100 \text{ kg/cm}^2$) elaborado con una mezcla integrada por una parte de cemento, seis y media de arena limpia, siete de grava de $\frac{3}{4}$ de pulgada (20 mm), y dos un cuarto de agua para revenimiento de 8 cm.



V.6.6 Relleno de la zanja

El acostillado, relleno de la zanja y apisonado, debe de seguir a la instalación tan pronto como sea posible. De esta manera se disminuye el riesgo de que la tubería sufra algún desperfecto, y se eliminan también los problemas que causan las inundaciones en la zanja.

La herramienta usada en el acostillado es un pisón de cabeza angosta. Para compactar el material de relleno entre la tubería y las paredes de la zanja, así como para el relleno inicial se usa un pisón de cabeza plana.



Capítulo VI. Alcantarillado



VI. Alcantarillado

Las aguas que han sido utilizadas por la población se denominan en forma general aguas residuales. Estas se componen de las aguas de desechos domésticos, industriales, comerciales, municipales o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que debido a su uso han sufrido degradación en su calidad original.

Por otra parte, las aguas de lluvia, denominadas aguas pluviales, que caen en una población, también requieren un buen control para evitar posibles inundaciones.

VI.1 Descripción de los principales componentes de un sistema de alcantarillado y su función

Los elementos que constituyen un sistema de alcantarillado se pueden clasificar en dos grupos: tuberías o conductos y obras o estructuras accesorias como lo explica Lara González en su obra.

Tuberías o conductos

Los conductos reciben diversos nombres a lo largo del sistema. A continuación, se explica de manera general el significado de cada uno de estos nombres.

- a) Atarjeas. Son los conductos de menor diámetro en la red. Colocados generalmente por el eje de la calle, reciben directamente las aguas residuales domiciliarias.
- b) Subcolectores. Los subcolectores son tuberías que captan las aguas recolectadas por las atarjeas. Generalmente los subcolectores son de mayor diámetro que las atarjeas, sin embargo, en un principio pueden tener el mismo diámetro.
- c) Colectores. Los colectores captan el agua de los subcolectores y las atarjeas, por lo cual son de mayor diámetro que el de los subcolectores.

Los colectores o subcolectores reciben convencionalmente el nombre de interceptores cuando son colocados en forma perpendicular a otros conductos de menor diámetro, que vierten en ellos volúmenes captados en una zona alta y de esta manera, permiten reducir los volúmenes que se captarían en las zonas más bajas.

- d) Emisor. El emisor es generalmente el conducto al cual ya no se conectan descargas de aguas residuales ni de aguas pluviales, y tienen como objetivo el conducir volúmenes de agua captados por todo el sistema de tuberías, que constituye la red de alcantarillado, hasta el lugar donde se tratarán o se verterán las aguas residuales.



Estructuras y obras accesorias.

Lara González describe las estructuras que generalmente se utilizan en un sistema de alcantarillado, las cuales se explican a continuación:

- a) Pozos de visita. Estos pozos tienen la finalidad de facilitar la inspección y limpieza de los conductos del sistema, así como de permitir la ventilación de los mismos. Se instalan en el comienzo de las atarjeas, en cambios de dirección y de pendiente, para permitir la conexión de otras atarjeas o colectores y cuando haya necesidad de cambiar de diámetro. En resumen, entre dos pozos de visita deberán quedar tramos rectos y uniformes de tubería.
- b) Pozos de visita común. Se utilizan para tuberías de 20 cm a 61 cm de diámetro siendo su base de 1.20 m de diámetro interior como mínimo para permitir el manejo de las barras de limpieza. También existen otros tipos de estructuras cuya función es similar a la de los pozos de visita, y se utilizan en el caso de tuberías de grandes diámetros, estas estructuras generalmente son de forma rectangular y reciben el nombre de pozos caja de visita.
- c) Pozos de caída. Por razones de carácter topográfico o por tenerse determinadas elevaciones fijas para las plantillas de algunas tuberías, suele presentarse la necesidad de construir estructuras que permitan efectuar en su interior los cambios bruscos de nivel. Los pozos de caída son verdaderos pozos de visita en los que admite la entrada de agua en la parte superior del pozo y permite el cambio brusco de nivel por medio de una caída, sea libre o conducida por un tubo.

Atendiendo el diámetro de las tuberías a las cuales sirven los pozos de caída se clasifican en:

- Pozos con caída adosada.
Son pozos de visita comunes a los cuales lateralmente se les construye una estructura menor y permiten la caída en tuberías de 20 y 25 cm de diámetro con un desnivel hasta de 2.00 m.
- Pozos de caída.
Son pozos de visita, comunes y especiales, a los cuales en el interior de la caja se les construye una pantalla que funciona como deflector de caudal que cae del tubo más elevado disminuyendo además la velocidad del agua. Se construye para tuberías de 30 a 76 cm de diámetro y con un desnivel hasta de 1.50 m.



VI.2 Diseño hidráulico

Los gastos de diseño que se emplean en los proyectos de alcantarillado sanitario son: Gasto medio, mínimo, máximo instantáneo y máximo extraordinario. Los tres últimos se determinan a partir del primero. El sistema de alcantarillado sanitario, debe construirse herméticamente por lo que no se adicionará al caudal de aguas residuales el volumen por infiltraciones.

VI.2.1 Gastos de diseño

Gasto medio

El gasto medio es el valor del caudal de aguas negras residuales en un día de aportación promedio al año. Para calcular el gasto medio de aguas negras, se requiere definir la aportación de aguas residuales de las diferentes zonas identificadas en los planos de uso de suelo.

La aportación es el volumen diario de agua residual entregado a la red de alcantarillado, la cual es un porcentaje del valor de la dotación de agua potable. En zonas habitacionales, se adopta como aportación de aguas residuales el 80% de la dotación de agua potable, considerando que el 20% se consume antes de llegar a las atarjeas (CONAGUA 2000). En función de la población y de la aportación, el gasto medio de aguas negras en cada tramo de la red se calcula con:

$$Q_{med} = \frac{Ap \cdot P}{86,400}$$

Dónde:

Q_{med} es el gasto medio de aguas negras en l/s
 Ap es la aportación en litros por habitante al día
 P es la población en número de habitantes
86,400 son el número de segundos al día

Gasto mínimo

El gasto mínimo es el menor de los valores de escurrimiento que normalmente se presentan en una tubería. Este valor es igual a la mitad del gasto medio (CONAGUA 2000).



Gasto máximo instantáneo

El gasto instantáneo es el valor máximo de escurrimiento que se puede presentar en un instante dado. Su valor, es el producto de multiplicar el gasto medio de aguas negras por un coeficiente M, que en el caso de la zona habitacional es el coeficiente de Harmon (CONAGUA 2000).

$$Q_{max, inst.} = M \cdot Q_{med}$$

En el caso de zonas habitacionales el coeficiente M está dado por la siguiente fórmula:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \bar{P}}$$

Dónde:

P es la población servida acumulada hasta el punto final (aguas abajo) del tramo de tubería considerada en miles de habitantes

En tramos con una población acumulada menor de 1,000 habitantes, el coeficiente M es constante e igual a 3.8. Para una población acumulada mayor que 63, 454 habitantes, el coeficiente M se considera constante e igual a 2.17, es decir, se acepta que su valor a partir de esta cantidad, no sigue la ley de variación establecida por Harmon. El coeficiente M en zonas industriales, comerciales o públicas presenta otra ley de variación. Siempre que sea posible, debe hacerse un aforo del caudal de agua residual en las tuberías existentes para determinar sus variaciones reales. De no disponer de ésta información, el coeficiente M podrá ser 1.5 en zonas comerciales e industriales (CONAGUA 2000).

Gasto máximo extraordinario

El gasto máximo extraordinario es el caudal de aguas residuales que considera aportaciones de agua que no forman parte de las descargas normales, como bajadas de aguas pluviales de azoteas, patios, o las provocadas por un crecimiento demográfico explosivo no considerado.

En función de éste gasto se determina el diámetro adecuado de las tuberías, ya que se tiene un margen de seguridad para prever los caudales adicionales en las aportaciones que pueda recibir la red (CONAGUA 2000).

Para el cálculo del gasto máximo extraordinario se tiene:

$$Q_{max, ext.} = C_s \cdot Q_{max, inst.}$$



Dónde:

Cs es el coeficiente de seguridad adoptado

Q max.inst. es el gasto máximo instantáneo

En el caso de aportaciones normales el coeficiente Cs será de 1.0; para condiciones extraordinarias, este Cs será de 1.5.

VI.2.2 Variables hidráulicas

Velocidades

a) Velocidad mínima

La velocidad mínima se considera aquella con la cual no se permite depósito de sólidos en atarjeas que provoque azolves y taponamientos. La velocidad mínima permisible es de 0.3 m/s, considerando el gasto mínimo calculado.

b) Velocidad máxima

La velocidad máxima es el límite superior de diseño, con el cual se trata de evitar la erosión de las paredes de las tuberías y estructuras (CONAGUA 2000).

Pendientes

El objeto de limitar los valores de pendientes es evitar, hasta donde sea posible, el azolve y la erosión de las tuberías.

Las pendientes de las tuberías, deberán seguir hasta donde sea posible el perfil del terreno, con el objeto de tener excavaciones mínimas, pero tomando en cuenta las restricciones de velocidad y de tirantes mínimos del apartado anterior y la ubicación y topografía de los lotes a los que se darán servicio.

En los casos especiales en donde la pendiente del terreno sea muy fuerte, es conveniente que para el diseño se consideren tuberías que permitan velocidades altas, y se debe hacer un estudio técnico económico de tal forma que se pueda tener solo en casos extraordinarios y en tramos cortos velocidades de hasta 8 m/s (CONAGUA 2000).

Profundidad mínima de zanja

La profundidad mínima está regida por dos factores:

- Evitar rupturas del conducto ocasionadas por las condiciones de tráfico, mediante un colchón mínimo que es función de la resistencia del tubo. Los principales factores que intervienen para definir el colchón mínimo son: material de tubería, tipo de terreno y las cargas vivas probables. Para tuberías de PEAD corrugado esa profundidad mínima es de 60 cm considerando los factores antes mencionados.



- Permitir la correcta conexión del 100% de las descargas domiciliarias al sistema de alcantarillado, con la consideración de que el albañal exterior, tendrá como mínimo una pendiente geométrica de 10 milésimas y el registro interior más próximo al parámetro del predio, tenga una profundidad mínima de 60 cm (CONAGUA 2000).

VI.3 Diseño de la red de alcantarillado con el uso del programa EPA SWMM

Se utilizó como base para el diseño de la red de alcantarillado el programa desarrollado por la EPA para gestión de aguas pluviales (StormWater Management Model) el cual es un modelo dinámico de simulación continua en periodo extendido. El programa permite realizar una simulación de la cantidad de agua evacuada a través de un sistema compuesto por tuberías.

El programa funciona con una serie de subcuencas en las cuales cae la lluvia y se genera la escorrentía hacia el sistema de alcantarillado. *Cabe resaltar que los alcances del proyecto consideran únicamente el agua que cae en el área impermeable de las viviendas y de desagüe por lo que no se presentan diseño de boca de tormentas o coladeras pluviales.*

El modelo hidráulico en SWMM se conforma de:

- Nudos de conexión: Son puntos donde se conectan las líneas entre sí, físicamente representan los pozos de registro del sistema de drenaje.
- Nudos de vertido: Son nudos terminales del drenaje utilizado para definir el sitio de disposición final.
- Líneas o conductos: Son tuberías por las que el agua es conducida mediante gravedad hasta un punto de disposición final.
- Subcuencas: Son unidades hidrológicas de terreno cuya topografía y elementos del sistema de drenaje conducen la escorrentía hacia un punto de descarga, en este caso una tubería de conducción, por lo que para cada tubería habrá por lo menos una subcuenca que descargue en un punto de salida. Las subcuencas pueden dividirse en áreas permeables e impermeables. Como ya se mencionó el agua captada para este sistema será solo el del área impermeable correspondiente a las viviendas y el agua de las áreas permeables será infiltrada o escurrirá naturalmente.
- Pluviómetros: Los pluviómetros suministran los datos de entrada de las precipitaciones que ocurren sobre una o varias de las subcuencas definidas en el área de estudio.

La interfaz de trabajo de SWMM es similar a la de EPANET, el procedimiento seguido para el diseño de la red fue el siguiente:

1. En primer lugar, se dibujaron las subcuencas, que como ya se mencionó representarán las áreas impermeables que escurren hacia las tuberías, utilizando el botón  de la barra de objetos; haciendo que el cursor tome la forma de lápiz y dando  click en las esquinas de la subcuenca para formar el polígono que delimita a la subcuenca. Se realizó el procedimiento en todas las cuencas, tal y como se observa en la figura VI.1.
2. Se ubican todos los nudos (pozos de visita) que sean necesarios con el botón  para permitir el flujo de agua mediante una red en peine.
3. Se selecciona el punto de descarga que permita el desalojo de las aguas residuales con facilidad, es decir que tenga una cota baja para que el sistema permita desalojar las aguas por gravedad.
4. En dicho punto se ubicó un nudo de vertido con el botón  de la barra de objetos.
5. Se unen los nudos utilizando una tubería, dibujada con el botón  siguiendo la trayectoria de las calles existentes. Figura V.2.



Fig. VI. 1 Trazo y numeración de subcuencas de escurrimiento. Fuente: SWMM

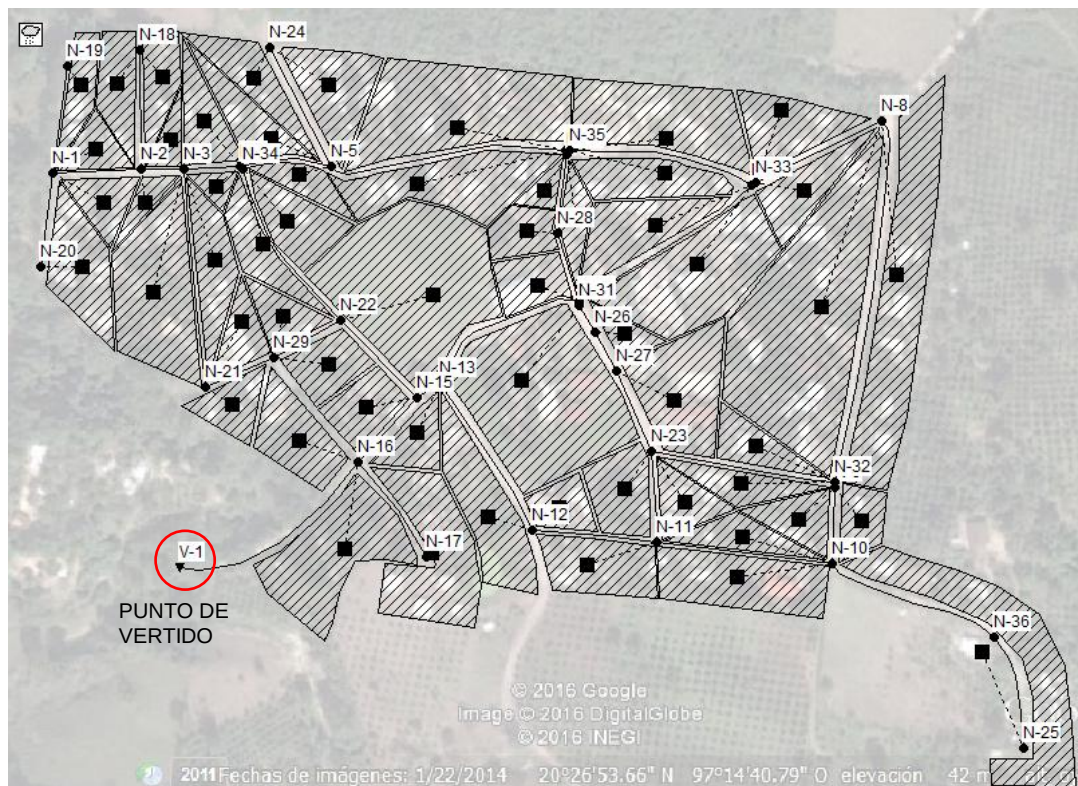


Fig. VI. 2 Ubicación de pozos de visita, punto de vertido y línea de conducción. Fuente: SWMM

Al igual que EPANET el programa asigna valores estándar a los objetos recién dibujados por lo que es necesario modificar las propiedades a las características del proyecto.

Para realizar modificaciones a las características de los objetos dibujados anteriormente se da doble click sobre el objeto para que aparezca un cuadro de opciones. Los parámetros principales de entrada cada uno de los objetos son:

Nudos

- Cota de fondo del pozo donde se encontrará la conexión.
- Profundidad del pozo
- Datos de aportes externos del caudal pluvial, que representaran el agua residual de las viviendas.

Tuberías

- Nudo de entrada y salida ya que con esta información se definirá el sentido de flujo en el programa
- Longitud del conducto
- Altura del conducto respecto de la cota de solera en los nudos inicial y final
- Coeficiente de Manning
- Geometría del conducto.



Subcuencas

- Nudo donde descarga la subcuenca
- Valor de coeficiente de Manning para el flujo en áreas permeables como en áreas impermeables
- Porcentaje de suelo impermeable carente de almacenamiento.
- Porcentaje de impermeabilidad
- Pendiente de la subcuenca
- Pluviómetro asignado

VI.3.1 Cálculo de aportes externos

Considerando el 20% del agua que es otorgada por la red de distribución de agua potable es consumida antes de llegar a las atarjeas se obtiene que cada habitante ingresa al sistema de alcantarillado 40 litros al día.

De la misma forma en que se hizo para la red de distribución, se contabilizaron los frentes de casa y teniendo en cuenta el promedio de 4 habitantes por vivienda se obtuvo el aporte a cada sección de tubería (gasto medio).

Una vez obtenido el gasto medio es posible obtener el gasto máximo extraordinario que será incluido en el nudo inicial como aportes externos de cada tramo de tubería, lo cual se muestra en la Tabla VI.1 y con más detalle en el Anexo C.

Dado que el sistema de agua potable varía en el transcurso del día, también lo hará los aportes al sistema de alcantarillado, es por eso que es necesario añadir los mismos patrones de demanda que se utilizó para el sistema de abastecimiento en el capítulo V, figura V.13.

VI.3.2 Tormenta de diseño y pluviómetro

El agua que llega al sistema de alcantarillado no es únicamente debido a las aportaciones de las personas que habitan la localidad, sino también se debe en parte al agua que escurre desde las azoteas, patios u otras áreas impermeables debido a las lluvias que existen en la localidad, por lo que es necesario diseñar una tormenta con la cual el programa realizara el análisis.

Una tormenta de diseño puede ser definida con información histórica de precipitación en el sitio. Es necesario considerar variables como la duración de la tormenta, frecuencia o probabilidad de ocurrencia, área que abarca la tormenta y la distribución de la lluvia en el tiempo (Hietograma).



Tabla VI. 1 Tabla resumen de Aportaciones (Gasto medio, gasto mínimo, Coeficiente de Harmon, Gasto máximo extraordinario, gasto máximo instantáneo) para cada sección de tubería

Tubería	Longitud [m]	Conexiones	Habitantes	$Q_{\text{med Al (80\%)}}$ [L/s]	$Q_{\text{mín Al}}$ [L/s]	M	$Q_{\text{máx inst}}$ [L/s]	$Q_{\text{máx ext C=1}}$ [L/s]	$Q_{\text{máx ext C=1.5}}$ [L/s]
CN-1	89.84	9	40	0.019	0.009	3.8	0.071	0.071	0.106
CN-2	81.60	5	22	0.010	0.005	3.8	0.039	0.039	0.059
CN-3	62.45	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-4	49.76	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-5	56.05	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-6	25.72	0	0	0.000	0.000	3.8	0.000	0.000	0.000
CN-7	40.99	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-8	61.21	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-9	138.03	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-10	148.21	11	49	0.023	0.011	3.8	0.086	0.086	0.130
CN-11	119.21	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-12	119.76	5	22	0.010	0.005	3.8	0.039	0.039	0.059
CN-13	67.99	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-14	93.42	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-15	132.20	5	22	0.010	0.005	3.8	0.039	0.039	0.059
CN-16	104.42	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-17	18.32	0	0	0.000	0.000	3.8	0.000	0.000	0.000
CN-18	53.29	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-19	79.05	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-20	169.21	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-21	55.09	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-22	111.32	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-23	81.01	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-24	109.32	6	27	0.012	0.006	3.8	0.047	0.047	0.071
CN-25	56.52	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-26	125.35	8	36	0.017	0.008	3.8	0.063	0.063	0.094
CN-27	48.83	1	Kinder	0.002	0.001	1.5	0.003	0.003	0.005
CN-28	45.27	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-29	47.22	1	Secundaria	0.005	0.003	1.5	0.008	0.008	0.011
CN-30	45.64	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-31	51.89	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-32	39.55	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-33	19.88	1	Primaria	0.009	0.005	1.5	0.014	0.014	0.021
CN-34	115.07	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-35	227.87	12	54	0.025	0.012	3.8	0.094	0.094	0.141
CN-36	100.21	0	0	0.000	0.000	3.8	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

A veces no es suficiente obtener el dato de precipitación máxima para un número determinado de horas a un periodo de retorno dado; sino se requiere tener la evolución de tal precipitación durante el tiempo que demore la misma. Para ello se requiere un hietograma de diseño el cual reflejará la distribución de las precipitaciones producidas a lo largo del lapso que dure la lluvia. Para obtener este hietograma existen diversos métodos, para este caso se utilizara el *método del bloque alterno*.

Primero es necesario definir la duración de la tormenta, la cual corresponde al máximo caudal de escorrentía y recibe el nombre de tiempo de concentración. Para calcular el tiempo de concentración se utilizó el simulador de flujo de agua de cuencas hidrográficas (SIATL) el cual nos permite obtener datos de la micro cuenca; figura VI.3, en la que se encuentra la localidad el Palmar.

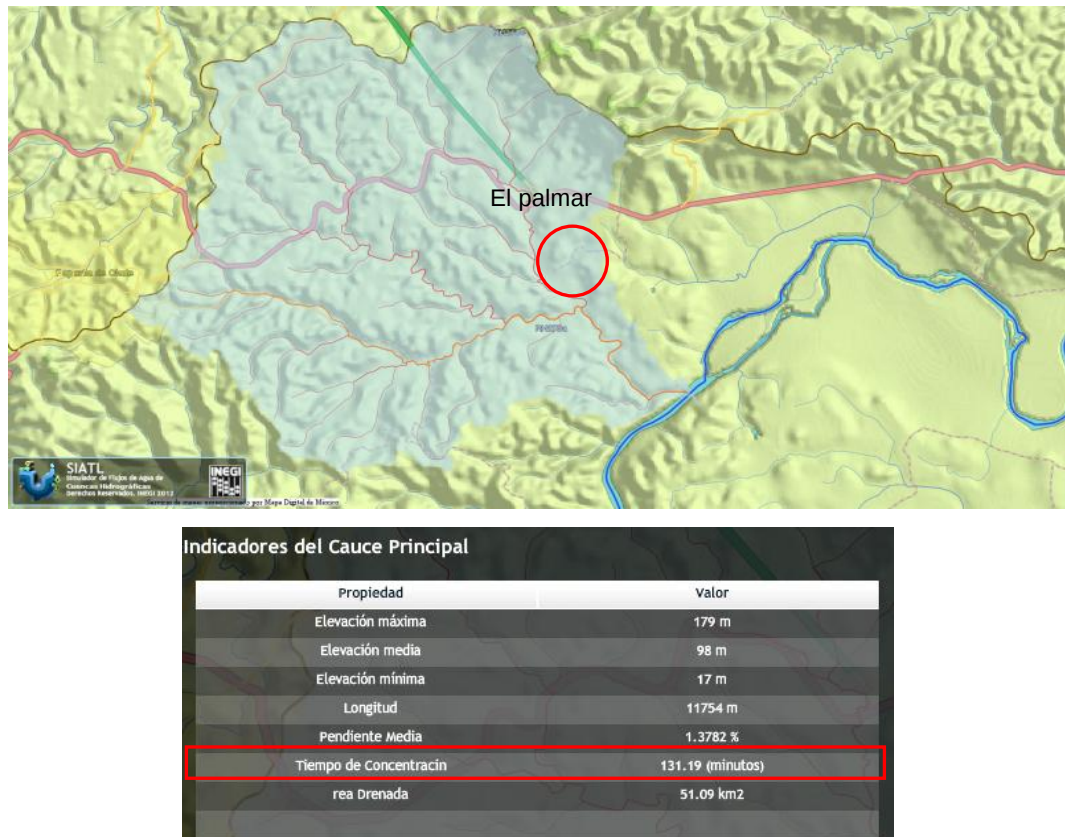


Fig. VI. 3 Ubicación de la comunidad en la microcuenca y parámetros del cauce principal.
Fuente:SIATL

La frecuencia o probabilidad de ocurrencia permite estimar la magnitud de la tormenta de diseño utilizando el concepto de periodo de retorno, ya que el sistema de alcantarillado está diseñado para un periodo de 10 años, se estará buscando la peor tormenta en ese periodo. Para esto se utilizaron las isoyetas de intensidad proporcionadas por SCT (Anexo D). De las cuales para la comunidad se obtuvieron la gráfica descrita en la figura III.29.



d [min]	Intensidad [mm/hr]
5	200
10	150
20	120
30	90
60	60
120	40
240	30

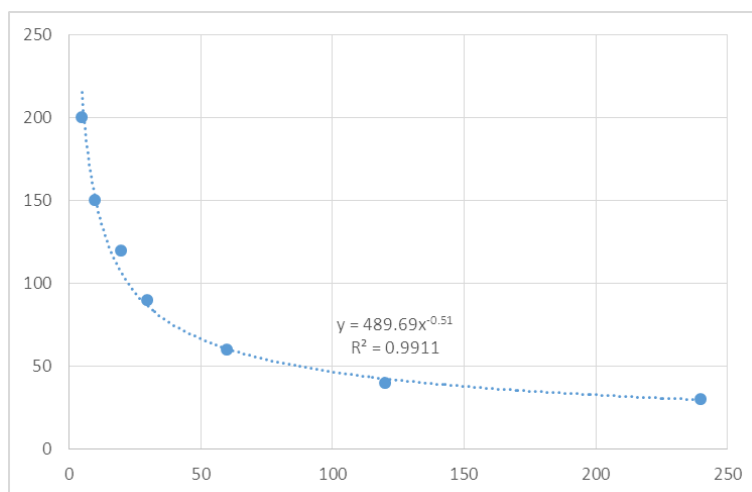


Fig. VI. 4 Curva Intensidad – duración. Elaboración propia utilizando datos de SCT (Anexo D)

EPA SWMM presenta resultados cada 15 min y dado que la duración de la tormenta es de 130 min se ha definido que es conveniente tener 10 intervalos para observar el desarrollo de cada uno de estos. Por ello se obtuvieron los valores de intensidad para cada uno de los 10 intervalos con la ecuación obtenida a partir de la línea de tendencia. De igual forma se obtiene la precipitación correspondiente a dicho intervalo y su Δp .

Tabla VI. 2 Intensidad, precipitación y precipitación neta

t [min]	I [mm/hr]	P [mm]	ΔP [mm]
13	132.4	28.94	28.94
26	93.0	40.65	11.71
39	75.6	49.58	8.93
52	65.3	57.09	7.51
65	58.3	63.69	6.60
78	53.1	69.64	5.95
91	49.1	75.10	5.46
104	45.8	80.18	5.08
117	43.2	84.95	4.76
130	40.9	89.45	4.50

Elaboración propia

El método de bloques alternos consiste en alternar los bloques de mayor a menor, comenzando por el intervalo más lluvioso al centro, a la derecha el siguiente intervalo más lluvioso y alternando de la siguiente manera:



Tabla VI. 3 Metodología de bloques alternos

Intervalo	t [min]	ΔP [mm]	I [mm/h]
1	13	4.76	21.99
2	26	5.46	12.61
3	39	6.60	10.15
4	52	8.93	10.31
5	65	28.94	26.72
6	78	11.71	9.00
7	91	7.51	4.95
8	104	5.95	3.43
9	117	5.08	2.60
10	130	4.50	2.08

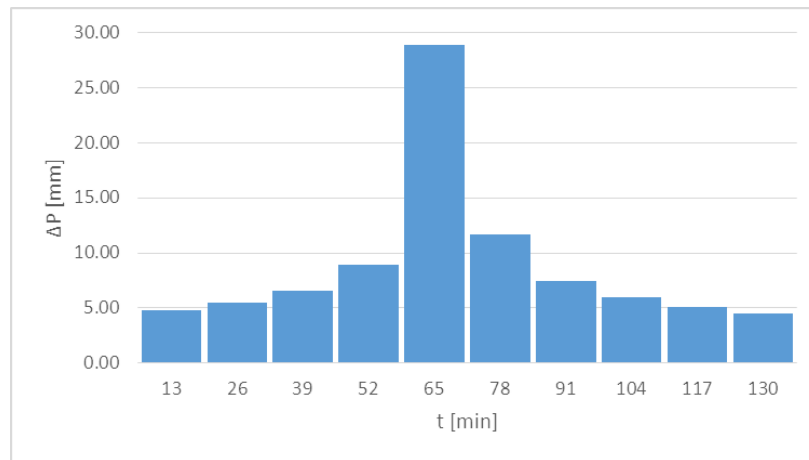


Fig. VI. 5 Hietograma de precipitaciones. Elaboración propia

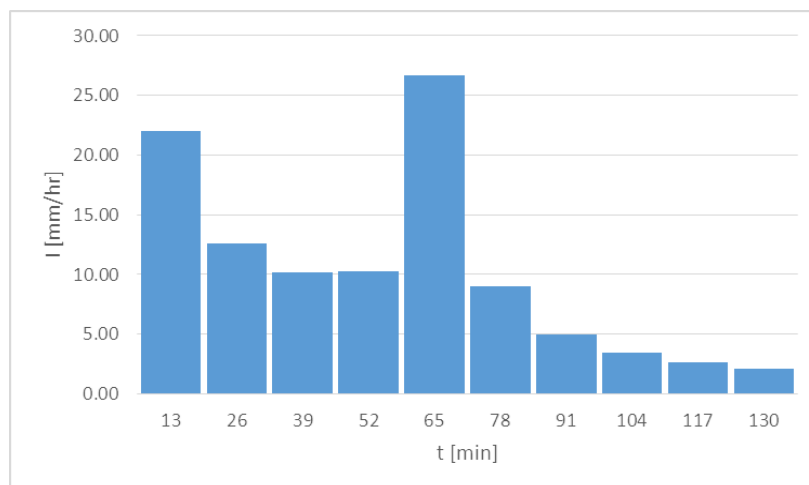


Fig. VI. 6 Hietograma de intensidades. Elaboración propia

El hietograma de intensidades obtenido será cargado en el programa. En el siguiente diagrama (Figura VI.7) se resume el procedimiento de diseño utilizando SWMM.

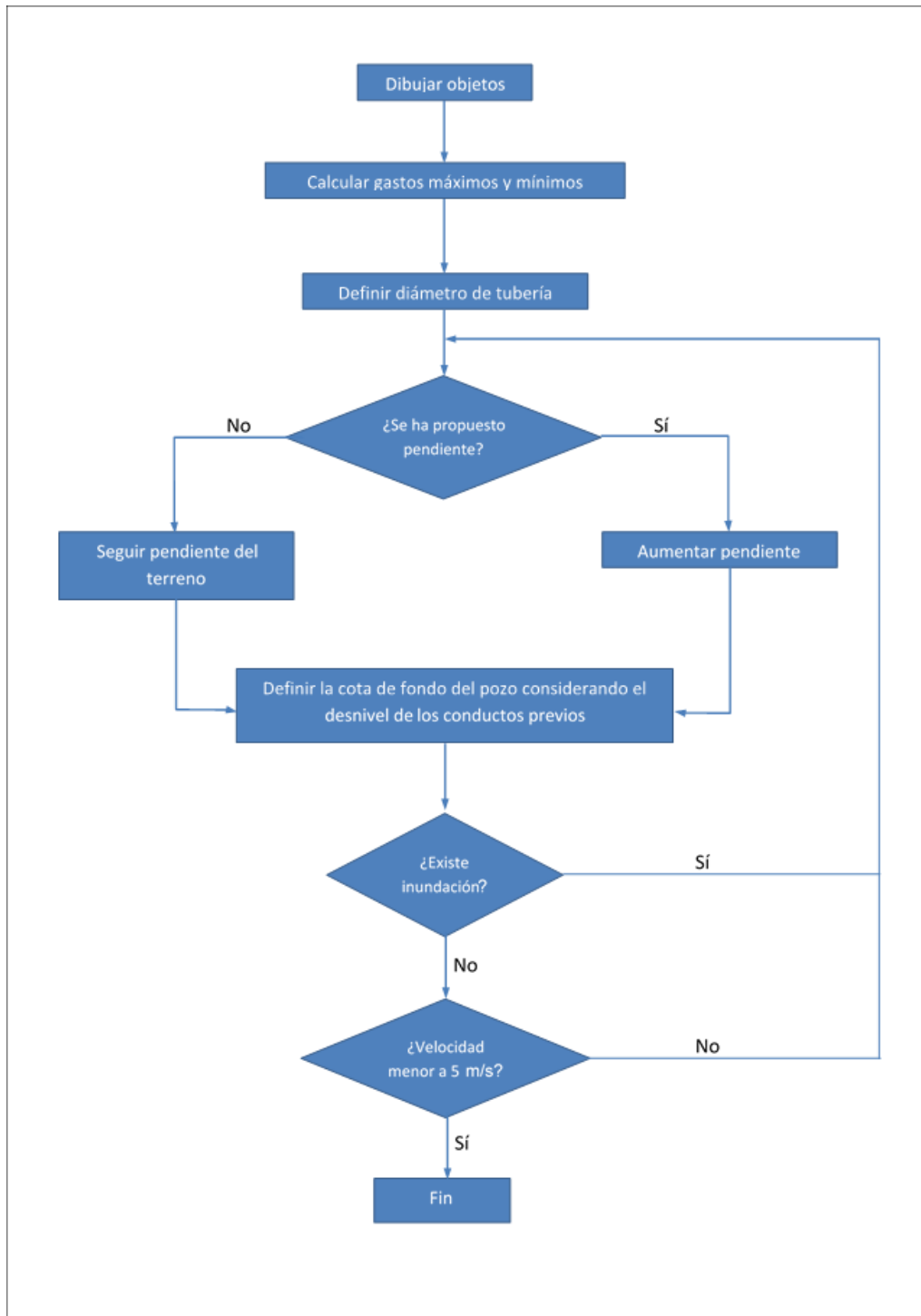


Fig. VI. 7 Metodología de equilibrio de la red de alcantarillado.

VI. 5 Planta de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales que son conducidas por la red de alcantarillado son aguas que llevan grasas, detergentes, materia orgánica, entre otros, que al ser devueltas a la naturaleza generan efectos nocivos a la salud humana y al medio ambiente, por lo que siempre es necesario contar con un sistema de tratamiento que permita el manejo adecuado de los residuos.

En México solo el 44.7% de las aguas recolectadas en sistemas de alcantarillado presentan un tratamiento. Lo cual representa una situación crítica de contaminación de ríos, lagos y mares. Como parte del proyecto ejecutivo, debido a que el gasto promedio es muy pequeño (aproximadamente 2 l/s, salvo el caso extraordinario de la tormenta) se propone un sistema de tratamiento de aguas residuales “paquete” marca Rotoplas.

El sistema se conecta directamente a la tubería de drenaje pasando en primer lugar por una rejilla que elimina los residuos voluminosos que pudieran ser arrastrados por el drenaje. Una vez que estos residuos son removidos se procede a los tanques donde el proceso anaerobio y aerobio en el cual se centra el proceso del tratamiento. Una ventaja de este sistema es que al ser utilizados depósitos plásticos se evitan fugas y se permite la reubicación de la planta de ser necesario.

La ubicación de la planta se eligió con base en el sistema de disposición, aunque el agua una vez que es tratada puede ser reutilizada para el riego de jardines, WC o lavado de piso; se determinó que la solución más económicamente viable era retornarla al cauce del río, ya que un sistema de almacenamiento y distribución estaría fuera de los alcances de este proyecto.

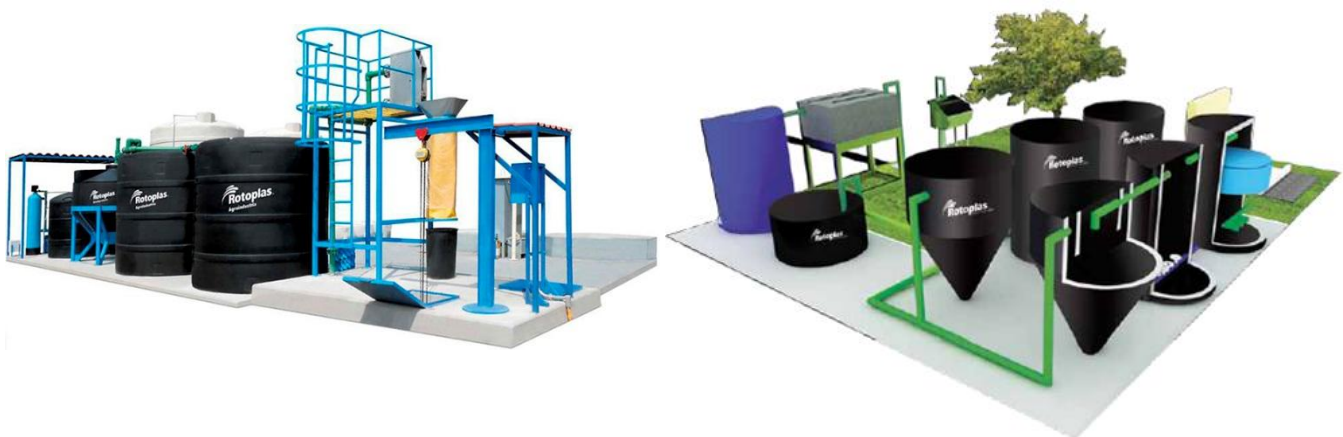


Fig. VI. 9 Planta de tratamiento paquete. Fuente: Rotoplas



Capítulo VII. Conclusiones



VII. Conclusiones

- La comunidad rural “congregación El Palmar” se ubica dentro de la cuenca del río Tecolutla, zona característica por lomeríos bajos con clima predominante cálido subhúmedo.
- Para el último censo, realizado en 2010, la comunidad contaba con 118 viviendas habitadas y un total de 587 habitantes, de los cuales el 49.9% hablan una lengua indígena, por lo que la comunidad es considerada predominantemente indígena.
- La comunidad presentan características de un grado de marginación alto.
- Debido a los proyectos de infraestructura, como la carretera Cardel – Poza Rica, no es posible determinar el crecimiento poblacional a largo plazo, por ello se eligió un periodo de diseño de 10 años.
- Siguiendo la tendencia de crecimiento de la comunidad se proyectó que para 2026, año para el cual el sistema alcanzara su saturación, la comunidad contara con 638 hab.
- Las actividades que requieren un mayor consumo de agua son el aseo personal y el lavado de ropa, puesto que en conjunto representan casi el 70% del uso total, esto acorde a la encuesta realizada en campo sobre el uso de agua potable en la comunidad.
- Dada la poca existencia de agua en la zona, los habitantes de la comunidad suelen cuidar el agua incluso recolectando agua de lluvia.
- El consumo de agua potable, actualmente de 35.14 l/hab/día, se podría ver modificado al incluir el sistema de alcantarillado en la comunidad a causa del agua necesaria para muebles sanitarios, en consecuencia se incrementó la dotación a 50 l/hab/día.
- A la entrada y salida de la comunidad se ubican las zonas que presentan la mejor calidad de agua presentando únicamente contaminación por coliformes fecales y totales.
- A pesar de que la comunidad se ubica dentro una zona considerada como impermeable, se identificaron estructuras de captación con presencia de un nivel piezométrico, el cual es un indicador de la existencia de un flujo subterráneo.
- El flujo subterráneo se desplaza de la zona nor oriental, donde los niveles estáticos alcanzan hasta los 76 msnm, hacia la zona sur poniente, donde la carga disminuye hasta los 36 msnm.



- El acuífero no pudo ser caracterizado, por medio de una prueba de bombeo, dada la poca transmisibilidad de las rocas.
- Se corrobora la existencia de continuidad hidráulica del flujo subterráneo por medio de una exploración geofísica, donde asimismo se identificaron tres horizontes característicos: conglomerado, formación arcillo-limosa y arcillas.
- Con el fin de obtener el volumen necesario para abastecer a la comunidad se recomendó realizar un pozo a 50 m de profundidad y diámetro de 12" intentando atravesar la mayor cantidad de estratos permeables que cedan agua.
- Para no estresar el acuífero el gasto de extracción debe ser pequeño, bombeando un gasto de 3 l/s a fin de evitar cambios en el nivel estático.
- El modelo de bomba sumergible KSB UPD 152-6 representa la mejor opción para el bombeo puesto que en funcionamiento con el gasto de 3 l/s cuenta con una carga hidráulica de 70 m, superando así los 64 m de carga necesarios para el bombeo.
- Situándose el pozo profundo a la entrada de la comunidad, el agua solo requerirá una desinfección como tratamiento, el cual se realizaría con pastillas de hipoclorito de calcio.
- El horario de bombeo se realizaría en el horario de 8:00 a 11:15 para evitar un volumen de almacenamiento excesivo.
- Es necesario que el tanque de almacenamiento se ubique a una altura de 55 msnm para abastecer con una presión mínima de 6 m.c.a. al punto más desfavorable de la red de distribución.
- En vista de que la comunidad cuenta con un trazo definido de calles y las casas no se encuentran dispersas las tomas en los domicilios tendrán un abastecimiento de conexión de patio.
- Las tuberías de PEAD liso y corrugado para abastecimiento y alcantarillado, respectivamente, representan la mejor alternativa constructiva debido a su fácil instalación y bajos costos.
- A fin de evitar costos excesivos por concepto de excavación la tubería de abastecimiento así como de alcantarillado intenta seguir la pendiente natural del terreno.
- Una planta de tratamiento "paquete" situada en el punto de vertido es necesaria para poder verter las aguas al cauce natural del río en la comunidad.



Bibliografía

- CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Sistema de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades*. Vol. Serie Técnica No. 18. 1988.
- Chow, Ven Te, David R. Maidment, y Larry W. Mays. *Hidrología aplicada*. Primera Edición. Bogotá: Mc Graw Hill, 1994.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Alcantarillado Sanitario*. México, 2000.
- . *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Datos básicos*. México, 1994.
- . *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Diseño, construcción y operación de tanques de regulación para abastecimiento de agua potable*. México, 2007.
- . *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario*. México, 1994.
- . *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Manual de sistemas rurales*. México, 1994.
- . *Manual de proyección de población. Norma técnica No. 11*. México, 2001.
- CONAPO, Consejo Nacional de Población. *Índice absoluto de marginación 2000 - 2010*. Primera edición. México, 2013.
- Hernández Sampieri, Roberto. *Metodología de la Investigación*. Primera edición. México: Mc Graw Hill, 1991.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. «Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México.» 2008.
http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/1-GEOGRAFIADAMEXICO/MANUAL_CARAC_EDA_FIS_VS_ENERO_29_2008.pdf
(último acceso: 6 de Octubre de 2016).
- Lara González, José Luis. *Alcantarillado*. Segunda edición. México: Facultad de Ingeniería, 1991.
- Mataix, Claudio. *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*. Segunda edición. Madrid: Ediciones del castillo, 1994.
- OMS, Organización mundial de la salud. *Guías para la calidad de agua potable*. Tercera edición. Vol. 1. Recomendaciones. 2006.



Secretaría de economía. *Análisis de agua. Muestreo de aguas subterráneas*. Proyecto de norma PROY-NMX-AA-152-SCFI-2009, 2009.

Secretaría de Salud. *Salud ambiental. Agua para consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, 1994.

SGM, Servicio Geológico Mexicano. «Carta geológica de la República Mexicana.» 2007. http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/sgm2000.pdf (último acceso: 6 de Octubre de 2016).

Thomas D., Jordan Jr. *Sistemas de agua potable por gravedad para poblaciones rurales*. Lima: Tecnología Inmediata ITDG, 1988.



Anexo A. Cuantificación de obra

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO****FACULTAD DE INGENIERÍA**

Elaborado para:

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**SCT**SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES**Cuantificación de obra: Tren de descarga y línea de conducción**

Concepto	Cantidad	
Excavación aproximada	360	m3
Bomba sumergible marca KSB o similar	2	pza
Reducción concéntrica 3" - 2"	1	pza
Tubería de acero inoxidable 3"	120	ml
Codo a 90º de Fo. Go. 3"	2	pza
Codo a 45º de Fo. Go. 3"	3	pza
Codo a 90º de PEAD 3"	5	pza
Válvulas de seccionamiento tipo compuerta 3"	3	pza
Conexión en Yee Fo.Go. 3"	1	pza
Conexión en Tee Fo.Go. 3"	2	pza
Ampliación concéntrica 2" - 3"	2	pza
Brida roscada 2"	1	pza
Niple de Fo.Go. 2"	1	pza
Junta Gibault	3	pza
Válvula de globo de paso directo	1	pza
Válvula ventosa trifuncional marca A.R.I. o similar	1	pza
Manómetro tipo Bourdon	1	pza
Medidor de Flujo	1	pza
Válvula aliviadora de sobre presión	1	pza
Conexión en Yee PEAD 3"	1	pza
Tapón PEAD 3"	1	pza
Muro de tabique 10 x 14 x 28	6	m2
Tubería de PEAD 3"	600	ml
Acero de refuerzo $f_s=2000 \text{ kg/cm}^2$	5.51	kg
Aplanado fino de cemento arena 1:3	6	m2
Tapa de Fo.Fo para registro	1	pza
Marco de Fo.Fo. para registro	1	pza



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Elaborado para:

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Cuantificación de obra: Tanque de regulación

Concepto	Cantidad	
Excavación aproximada	58	m3
Mampostería de 3ra con mortero de cemento arena 1:3 en muros	42	m2
Relleno apisonado y compactado	5.78	m3
Concreto de f'c = 100 kg/cm2 en plantilla	2.88	m3
Concreto de f'c = 150 kg/cm2 en losa de piso y dentellón	5.86	m2
Concreto de f'c = 175 kg/cm2 en losa de cubierta	3.14	m3
Cimbra de madera (superficie de contacto)	152	m2
Acero de refuerzo fs=1265 kg/cm2	4.01	kg
Acero de refuerzo fs=2000 kg/cm2	320	kg
Aplanado fino de cemento arena 1:3	52	m2
Escalera de acceso	2.3	ml
Registro con tapa	1	pza
Banda de PVC de 6"	18	ml
Ventilas	4	pza
Válvula de seccionamiento tipo compuerta	1	pza
Conexión en Tee de PEAD 2" x 2"	1	pza
Brida rocada 2"	1	pza
Niple de acero inoxidable 2"	1	pza
Válvula ventosa trifuncional marca A.R.I. o similar	1	pza
Válvula de globo de paso directo 2"	1	pza
Tapa de Fo.Fo para registro	1	pza
Marco de Fo.Fo. para registro	1	pza
Muro de tabique 10 x 14 x 28	6	m2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Elaborado para:

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

Cuantificación de obra: Red de distribución.

Concepto	Cantidad	
Excavación aproximada	1340.38	m3
Tubería de PEAD 2"	946.77	ml
Tubería de PEAD 1"	2006.02	ml
Tapón final de PEAD 1"	15	pza
Codo a 45º de PEAD 2"	1	pza
Codo a 90º de PEAD 1"	2	pza
Conexión en Tee de PEAD 1" x 1"	6	pza
Conexión en Tee de PEAD 2" x 2"	4	pza
Conexión en Tee de PEAD con reducción 2" x 1"	4	pza
Válvula de compuerta	4	pza
Adaptador bridado	8	pza
Muro de tabique 10 x 14 x 28	24	m2
Acero de refuerzo fs=2000 kg/cm2	22	kg
Aplanado fino de cemento arena 1:3	24	m2
Tapa de Fo.Fo para registro	1	pza
Marco de Fo.Fo. para registro	1	pza

Para cada toma domiciliaria (aproximadamente 143 tomas)

Abrazadera de PVC con salida de 13 mm	1	pza
Adaptador de bronce para PVC	2	pza
Tubo de PEAD de 13 mm	2 - 11	ml
Codo a 90º de Fo. Go. Con rosca interior 13 mm	1	pza
Niple Fo. Go. Con extremos roscables 0.9 m x 13 mm	2	pza
Niple Fo. Go. Con extremos roscables 0.1 m x 13 mm	1	pza
Llave de nariz de rosca exterior 13 mm	1	pza



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Elaborado para:

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SCT
SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

Cuantificación de obra: Alcantarillado

Concepto	Cantidad	
Tubería de PEAD corrugado 6"	1645.29	ml
Tubería de PEAD corrugado 8"	127.64	ml
Tubería de PEAD corrugado 10"	1116.38	ml
Pozo de visita común tipo A	1	pza
Pozo de visita común tipo B	26	pza
Pozo de visita con caídas adosadas	8	pza
Brocales de concreto	35	pza
Tapa de concreto	35	pza



Anexo B. Cuestionario propuesto para levantamiento de información de campo



Anexo B. Cuestionario propuesto para levantamiento de información en campo



Cuestionario propuesto para levantamiento de información en campo

Investigación sobre la calidad de vida y costumbres de uso de agua en la población “El Palmar”

Localización y datos generales

El palmar, Veracruz de Ignacio de la llave		
Calle	Manzana	Lote
Datos del entrevistador		
Nombre		Clave
Datos del entrevistado		
Nombre		Edad

Leer el siguiente enunciado introductorio.

“Buenos días / tardes. ¿Nos permitiría un momento de su tiempo, por favor? Mi nombre es (*nombre del entrevistador*) y estoy participando en una investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) sobre calidad de vida y uso de agua en la población de “El Palmar”. Desearíamos que nos contestara algunas preguntas si es tan amable”.

Cuestionario

- ¿Usted es habitante permanente de la vivienda?
 - Sí (*ir a 3*)
 - No (*ir a 2*)
- ¿Podría entrevistar a otra persona de esta familia que sea habitante permanente y que esté presente hoy?
 - Sí (*presentación*)
 - No (*despedida*)
- ¿Cuánto tiempo ha sido habitante de la vivienda?
 - Menos de un año
 - Más de un año pero menos de tres
 - Más de tres años pero menos de diez
 - Más de diez
- ¿Cuántas personas habitan en su vivienda?
 - De uno a tres habitantes
 - De tres a cinco habitantes
 - De cinco a siete habitantes
 - Más de siete habitantes
- ¿Con cuántas habitaciones cuenta su vivienda?

_____ Habitaciones

- ¿Cuál es el máximo nivel de estudios de cada persona que habita en su casa? Indicar el total por escolaridad.
 - _____ Sin escolaridad
 - _____ Primaria
 - _____ Secundaria
 - _____ Nivel medio superior
- ¿Cuántas personas de su casa contribuyen al ingreso familiar con regularidad?

_____ Número de personas
- ¿Cuál es el trabajo que genera las ganancias principales?
 - Agricultura
 - Ganadería
 - Artesano
 - Empleado
 - Obrero
 - Negocio propio
 - Otro _____
- ¿Hubo alguna defunción en este hogar en el último año? Especifique el número de personas
 - Sí, _____ personas
 - No (*ir a 11*)
- ¿Podría brindarme información sobre las personas difuntas en su familia?

Persona 1	Persona 2	Persona 3
Sexo	Sexo	Sexo
Edad	Edad	Edad
Causa	Causa	Causa

- ¿De dónde obtiene el agua que utiliza su familia?
 - Pozo
 - Otro _____ (*ir a 15*)
- ¿Cómo califica la calidad del agua que obtiene del pozo?
 - Mala
 - Regular
 - Buena
 - Muy buena
- ¿Cuánto tiempo demora en traer agua a su vivienda desde el pozo?
 - De cinco a diez minutos
 - De diez a quince minutos
 - Más de quince minutos
- ¿Ha presentado lesiones en espalda debido al acarreo de agua desde el pozo a su vivienda?
 - Sí
 - No
- Cuántas cubetas de agua utiliza en un día

_____ Cubetas



Anexo B. Cuestionario propuesto para levantamiento de información en campo



16. ¿Usted recolecta agua de lluvia?

- A. Sí
- B. No

17. ¿Combina agua de lluvia y de alguna otra fuente?

- A. Sí
- B. No

18. ¿Usted almacena agua?

- A. Sí
- B. No (ir a 20)

19. ¿Dónde almacena el agua?

- A. Cubetas
- B. Pileta
- C. Tinaco
- D. Otros _____

20. ¿Podría mostrarme los recipientes en los que almacena y/o acarrea agua?

- A. Sí
- B. No (ir 23)

21. Voy a medir sus recipientes

Pileta		Tinaco		Cubeta	
Alto (m)		Alto (m)		Alto (m)	
Ancho (m)		Diámetro (m)		Diámetro (m)	
Largo (m)					

22. ¿A qué nivel llena su recipiente?

Pileta		Tinaco		Cubeta	
Alto (m)		Alto (m)		Alto (m)	

23. ¿Qué bebida prefiere consumir su familia?

- A. Agua (ir a 25)
- B. Refresco
- C. Otro _____

24. ¿Cuántos litros de refrescos acostumbra su familia y usted beber al día?

- A. Dos litros
- B. Cuatro litros
- C. Seis litros
- D. Más de seis litros

25. ¿Dónde obtiene el agua que utiliza para beber?

- A. Pozo
- B. Garrafrones/ agua embotellada (ir a 30)

26. ¿Cómo desinfecta el agua que bebe su familia?

- A. La hierve
- B. Agrego un producto comercial
- C. No la desinfecto

27. ¿Usted acostumbra lavar sus manos antes de cada comida?

- A. Sí
- B. No

28. ¿Ha presentado síntomas de diarrea en los últimos tres meses?

- A. Sí
- B. No

29. ¿Considera usted que exista algún riesgo para su salud al beber agua extraída del pozo?

- A. Sí
- B. No

30. ¿En qué actividades utiliza el agua y cuantas cubetas aproximadamente le asigna a cada actividad al día?

Uso	Sí	No	Cantidad (cubetas)
Riego de jardines y/o macetas			
Lavar frutas y verduras			
Aseo personal			
Para beber			
Aseo de la vivienda			
Preparación de alimentos			
Lavar ropa			
Uso de retrete			

31. Si tuviera una llave para suministro de agua común en las cercanías de su casa, ¿Usaría más agua?

- A. Sí
- B. No (ir a 33)

32. ¿En qué actividades usaría más agua? Indique aproximadamente cuantas cubetas más usaría al día

Uso	Cantidad (cubetas)
Riego de jardines y/o macetas	
Lavar frutas y verduras	
Aseo personal	
Para beber	
Aseo de la vivienda	
Preparación de alimentos	
Lavar ropa	
Uso de retrete	

33. ¿Cuenta usted con baño propio en su vivienda?

- A. Sí (ir a 37)
- B. No

34. ¿Comparte usted y su familia el baño con otras familias?

- A. Sí
- B. No

35. ¿Cuántas personas comparten el baño?

- A. Menos de cinco
- B. De cinco a diez
- C. Más de diez



Anexo B. Cuestionario propuesto para levantamiento de información en campo



36. Si tuviera fácil acceso al agua y drenaje ¿Estaría dispuesto a tener baño propio?
- A. *Sí*
 - B. *No*
37. ¿Dónde acostumbra lavar su ropa?
- A. *En un río*
 - B. *En un lavadero comunal*
 - C. *En un lavadero privado en su vivienda*
38. ¿Acostumbra reciclar el agua que ha utilizado para aseo personal, lavar ropa, cubiertos o platos?
- A. *Sí*
 - B. *No (ir a 40)*
39. ¿Cómo reutiliza dicha agua?
- A. *Riego de jardín o macetas*
 - B. *Uso en retrete*
 - C. *Otro _____*
40. ¿Cómo es que se disponen las excretas en su hogar?
- A. *Letrina seca*
 - B. *Fosa séptica*
 - C. *Hoyo cubierto*
 - D. *Descargas en el río*



Anexo C. Características de los sistemas de abastecimiento y alcantarillado



Sistema de abastecimiento



Fig. C- 1 Ubicación y numeración de los nodos para el sistema de abastecimiento



Fig. C- 2 Ubicación y numeración de tuberías para el sistema de abastecimiento



Tabla C- 1 Características de los nudos en el sistema de abastecimiento

Nudo	Cota de terreno [m]	Presión [m.c.a]	Cota de plantilla [m]	Altura de platilla [m]
1	38.1	16.52	37.1	0.1
2	39	15.52	38	0.1
3	41.4	13.09	40.7	0.1
4	38.4	15.99	37.4	0.1
5	42.6	11.67	41.6	0.1
6	46.5	7.64	45.5	0.1
7	39	15.22	38.3	0.1
8	35.7	18.4	35	0.1
9	36	18.07	35	0.1
10	35.1	18.99	34.4	0.1
11	38.1	15.91	37.4	0.1
12	35.4	18.62	34.4	0.1
13	38.1	15.87	37.4	0.1
14	36.6	17.39	35.9	0.1
15	34.5	19.41	33.8	0.1
16	33.3	20.59	32.3	0.1
17	35.4	18.58	34.7	0.1
18	33.3	20.65	32.6	0.1
19	33	20.92	32.3	0.1
20	32.7	21.22	32	0.1
21	33	20.92	32.3	0.1
22	33.6	20.3	32.9	0.1
23	35.1	18.85	34.4	0.1
24	34.8	19.13	34.1	0.1
26	32.7	21.19	32	0.1
27	36.9	17.08	36.2	0.1
28	33.6	20.39	32.9	0.1
29	25.8	28.16	25.1	0.1
30	36	17.98	35.3	0.1
31	38.1	16.38	37.4	0.1
32	38.4	15.77	37.7	0.1
33	37.8	16.34	36.8	0.1
34	41.4	12.74	40.7	0.1

*Los resultados mostrados en la columna presión corresponden a la hora más desfavorable del análisis (10:00 am)



Anexo C. Características de los sistemas de abastecimiento y alcantarillado



Tabla C- 2 Características de las tuberías en el sistema de abastecimiento

Tubería	Conexiones	Habitantes	Q _{med}		Q _{MD} [L/s]	Q _{MH} [L/s]	Φ interior[mm]	Φ exterior [pulg.]	Caudal [L/s]	Velocidad [m/s]
			L/día	L/seg						
1	0	0	0	0	0	0	48.7	2	0.68	0.37
2	12	54	2676.92	0.031	0.037	0.056	48.7	2	0.12	0.06
3	10	45	2230.77	0.026	0.031	0.046	26.9	1	0.05	0.08
4	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033	48.7	2	0.57	0.3
5	5	22	1115.38	0.013	0.015	0.023	48.7	2	0.19	0.1
6	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033	48.7	2	0.34	0.18
7	6	27	1338.46	0.015	0.019	0.028	26.9	1	0.03	0.05
8	1	4	223.08	0.003	0.003	0.005	26.9	1	0	0.01
9	11	49	2453.85	0.028	0.034	0.051	48.7	2	0.29	0.16
10	1	4	223.08	0.003	0.003	0.005	26.9	1	0.09	0.16
11	9	40	2007.69	0.023	0.028	0.042	26.9	1	0.05	0.09
12	2	9	446.15	0.005	0.006	0.009	48.7	2	0.19	0.1
13	5	22	1115.38	0.013	0.015	0.023	26.9	1	0.06	0.1
14	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014	26.9	1	0.04	0.06
15	2	9	446.15	0.005	0.006	0.009	26.9	1	0.01	0.02
16	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019	48.7	2	0.12	0.07
17	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033	26.9	1	0.03	0.06
18	0	0	0.00	0.000	0.000	0.000	26.9	1	0.07	0.13
19	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019	26.9	1	0.05	0.09
20	5	22	1115.38	0.013	0.015	0.023	26.9	1	0.02	0.04
21	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014	26.9	1	0.01	0.02
22	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019	26.9	1	0.02	0.03
23	3	13	869.23	0.010	0.012	0.018	26.9	1	0.01	0.02
24	3	13	869.23	0.010	0.012	0.018	26.9	1	0.02	0.03
25	2	9	446.15	0.005	0.006	0.009	26.9	1	0.05	0.09
26	6	27	1338.46	0.015	0.019	0.028	26.9	1	0.03	0.05
27	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014	26.9	1	0.01	0.02
28	7	31	1561.54	0.018	0.022	0.033	26.9	1	0.03	0.06
29	1	4	1223.08	0.014	0.017	0.025	26.9	1	0.08	0.15
30	3	13	1169.23	0.014	0.016	0.024	26.9	1	0.07	0.12
31	4	18	892.31	0.010	0.012	0.019	26.9	1	0.05	0.09
32	3	13	669.23	0.008	0.009	0.014	26.9	1	0.01	0.02
33	0	0	0.00	0.000	0.000	0.000	48.7	2	0.68	0.37

*Los valores de las columnas caudal y velocidad corresponden al horario más desfavorable (10:00 a.m.)



Sistema de alcantarillado

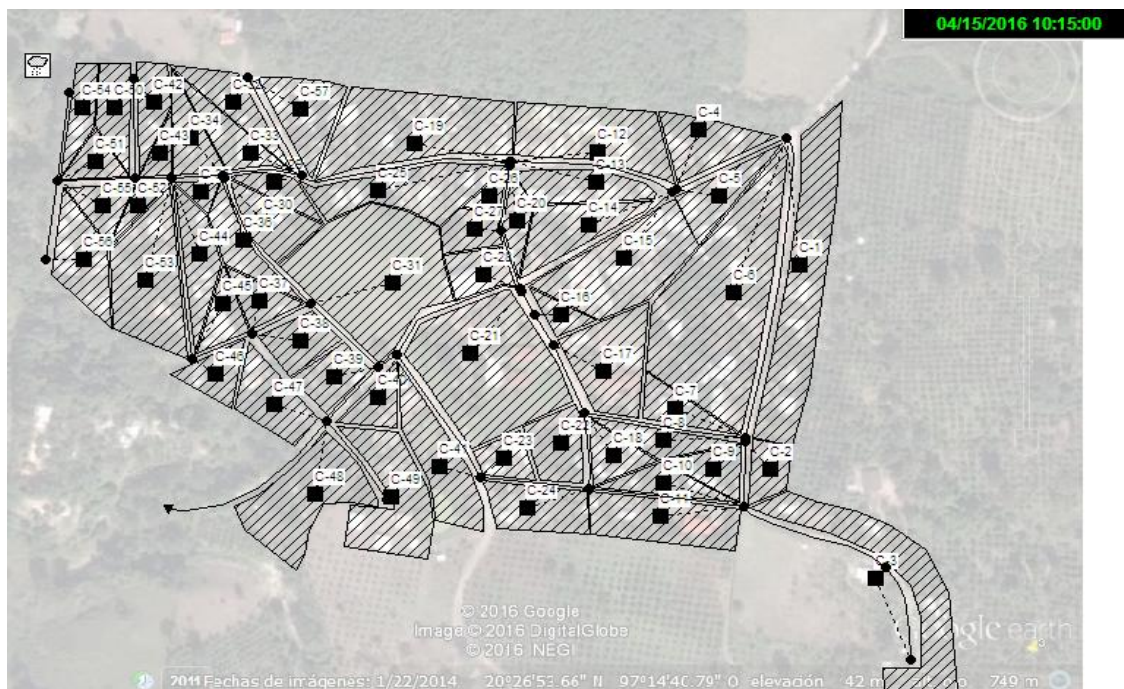


Fig. C- 3 Ubicación y numeración de las cuencas del sistema de alcantarillado

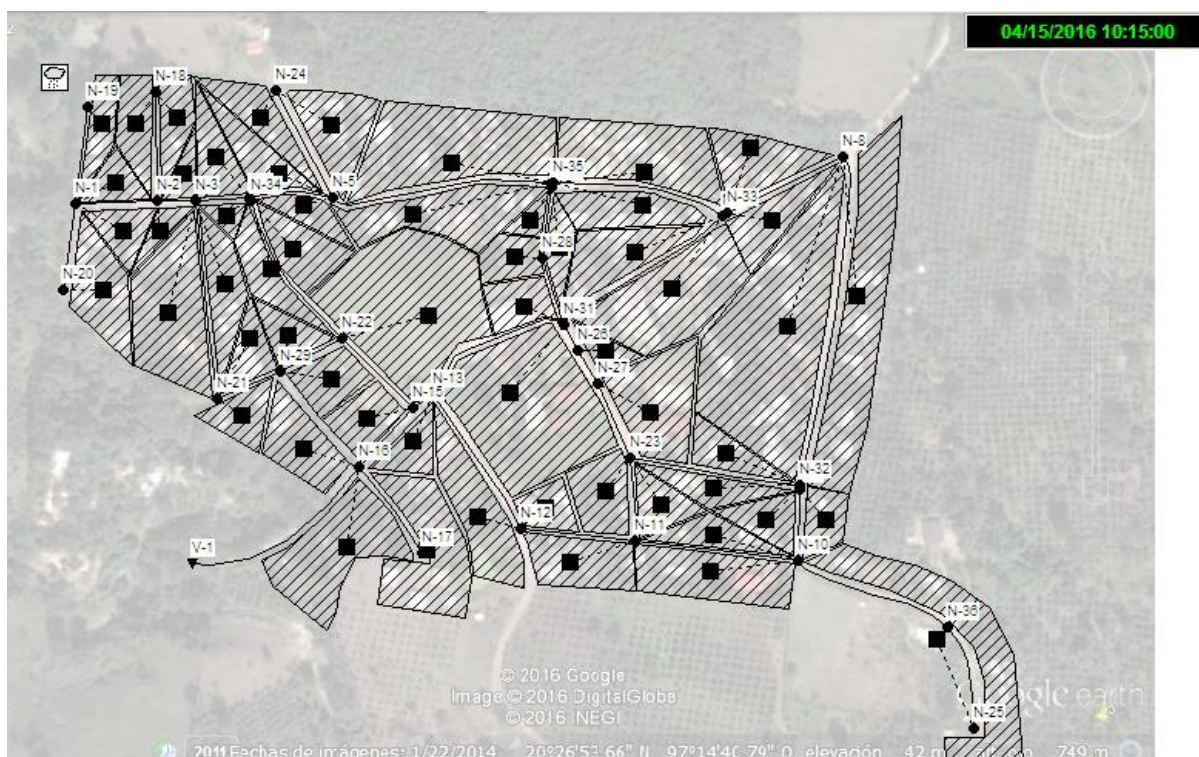


Fig. C- 4 Ubicación y numeración de los nodos del sistema de alcantarillado



Fig. C- 5 Ubicación y numeración de las tuberías del sistema de alcantarillado



Anexo C. Características de los sistemas de abastecimiento y alcantarillado



Tabla C- 3 Características de las cuencas del sistema de alcantarillado

Cuenca	Área [m ²]	Área [ha]	Área imp [m ²]	% área imp	% área perm	Ancho [m]	Pendiente [%]	Coefficiente n Imp.	Coefficiente n Perm.	Descarga
C-1	9360.35	0.936	573.36	6.13	93.87	41.08	0.50	0.014	0.15	N-8
C-2	1760.22	0.176	135.80	7.71	92.29	31.15	0.50	0.014	0.15	N-9
C-3	7915.93	0.792	1236.28	15.62	84.38	63.15	0.50	0.014	0.15	N-25
C-4	2864.91	0.286	222.37	7.76	92.24	30.67	6.00	0.014	0.15	N-33
C-5	1537.41	0.154	249.91	16.26	83.74	16.46	2.00	0.014	0.15	N-33
C-6	11814.67	1.181	928.42	7.86	92.14	51.85	0.50	0.014	0.15	N-8
C-7	1170.64	0.117	207.20	17.70	82.30	16.17	0.50	0.014	0.15	N-32
C-8	1189.88	0.119	0.00	0.00	100.00	10.34	0.50	0.014	0.15	N-32
C-9	1354.75	0.135	56.45	4.17	95.83	23.97	0.50	0.014	0.15	N-9
C-10	1421.63	0.142	112.23	7.89	92.11	13.00	0.50	0.014	0.15	N-10
C-11	4071.62	0.407	732.83	18.00	82.00	59.89	0.50	0.014	0.15	N-10
C-12	4749.12	0.475	481.65	10.14	89.86	39.84	6.00	0.014	0.15	N-35
C-13	2013.10	0.201	321.68	15.98	84.02	16.89	6.00	0.014	0.15	N-35
C-14	2179.19	0.218	42.68	1.96	98.04	16.48	2.00	0.014	0.15	N-7
C-15	5431.05	0.543	643.58	11.85	88.15	41.08	0.50	0.014	0.15	N-7
C-16	890.63	0.089	150.20	16.86	83.14	19.94	0.50	0.014	0.15	N-26
C-17	3480.02	0.348	941.75	27.06	72.94	73.69	0.50	0.014	0.15	N-27
C-18	1298.33	0.130	397.76	30.64	69.36	23.57	0.50	0.014	0.15	N-23
C-19	6481.59	0.648	647.41	9.99	90.01	43.73	6.00	0.014	0.15	N-6
C-20	1018.86	0.102	275.99	27.09	72.91	13.12	6.00	0.014	0.15	N-30
C-21	8700.46	0.870	1050.52	12.07	87.93	81.47	0.50	0.014	0.15	N-31
C-22	2068.94	0.207	123.57	5.97	94.03	37.56	0.50	0.014	0.15	N-23
C-23	1247.50	0.125	269.51	21.60	78.40	31.23	0.50	0.014	0.15	N-12
C-24	2987.73	0.299	169.07	5.66	94.34	36.88	0.50	0.014	0.15	N-11
C-25	2844.26	0.284	347.74	12.23	87.77	19.19	6.00	0.014	0.15	N-6
C-26	381.44	0.038	149.63	39.23	60.77	19.75	6.00	0.014	0.15	N-30
C-27	1358.19	0.136	426.03	31.37	68.63	48.73	6.00	0.014	0.15	N-28
C-28	2078.34	0.208	844.95	40.65	59.35	46.01	2.00	0.014	0.15	N-14
C-29	1082.55	0.108	0.00	0.00	100.00	17.68	2.00	0.014	0.15	N-5
C-30	1575.33	0.158	97.05	6.16	93.84	27.01	2.00	0.014	0.15	N-34
C-31	8996.84	0.900	0.00	0.00	100.00	79.21	0.50	0.014	0.15	N-22
C-32	1328.31	0.133	503.31	37.89	62.11	14.79	2.00	0.014	0.15	N-24
C-33	1778.03	0.178	95.52	5.37	94.63	29.05	2.00	0.014	0.15	N-5
C-34	1425.21	0.143	135.18	9.49	90.51	34.77	0.50	0.014	0.15	N-4
C-35	336.12	0.034	211.43	62.90	37.10	8.20	0.50	0.014	0.15	N-4
C-36	2278.83	0.228	193.62	8.50	91.50	19.03	0.50	0.014	0.15	N-34
C-37	1010.39	0.101	25.55	2.53	97.47	19.47	0.50	0.014	0.15	N-29
C-38	1614.38	0.161	133.57	8.27	91.73	31.11	0.50	0.014	0.15	N-29
C-39	1745.70	0.175	61.82	3.54	96.46	32.76	0.50	0.014	0.15	N-15
C-40	899.99	0.090	80.50	8.94	91.06	12.57	0.50	0.014	0.15	N-13
C-41	3628.84	0.363	217.07	5.98	94.02	32.60	0.50	0.014	0.15	N-12
C-42	1874.67	0.187	190.83	10.18	89.82	22.97	0.50	0.014	0.15	N-18
C-43	563.49	0.056	0.00	0.00	100.00	10.05	0.50	0.014	0.15	N-2
C-44	2185.70	0.219	246.65	11.28	88.72	15.83	0.50	0.014	0.15	N-3
C-45	930.08	0.093	89.63	9.64	90.36	20.38	0.50	0.014	0.15	N-21
C-46	734.28	0.073	71.21	9.70	90.30	16.09	0.50	0.014	0.15	N-21
C-47	1706.49	0.171	197.44	11.57	88.43	20.02	0.50	0.014	0.15	N-16
C-48	4065.79	0.407	0.00	0.00	100.00	45.77	0.50	0.014	0.15	N-16
C-49	5118.07	0.512	475.33	9.29	90.71	64.75	0.50	0.014	0.15	N-17
C-50	1417.24	0.142	92.82	6.55	93.45	17.37	0.50	0.014	0.15	N-18
C-51	766.21	0.077	138.86	18.12	81.88	13.67	0.50	0.014	0.15	N-1
C-52	536.94	0.054	0.00	0.00	100.00	20.87	0.50	0.014	0.15	N-2
C-53	5464.33	0.546	286.62	5.25	94.75	39.59	0.50	0.014	0.15	N-3
C-54	1625.58	0.163	211.99	13.04	86.96	26.03	0.50	0.014	0.15	N-19
C-55	1156.30	0.116	244.01	21.10	78.90	20.63	0.50	0.014	0.15	N-1
C-56	2411.91	0.241	315.53	13.08	86.92	48.47	0.50	0.014	0.15	N-20
C-57	2490.22	0.249	321.16	12.90	87.10	27.72	6.00	0.014	0.15	N-24



Anexo C. Características de los sistemas de abastecimiento y alcantarillado



Tabla C- 4 Características de las tuberías del sistema de alcantarillado

Tubería	Longitud [m]	Conexiones	Habitantes	$Q_{\text{med AI (80\%)}}$ [L/s]	$Q_{\text{min AI}}$ [L/s]	M	$Q_{\text{máx inst}}$ [L/s]	$Q_{\text{max ext C=1}}$ [L/s]	$Q_{\text{max ext C=1.5}}$ [L/s]
CN-1	89.84	9	40	0.019	0.009	3.8	0.071	0.071	0.106
CN-2	81.60	5	22	0.010	0.005	3.8	0.039	0.039	0.059
CN-3	62.45	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-4	49.76	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-5	56.05	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-6	25.72	0	0	0.000	0.000	3.8	0.000	0.000	0.000
CN-7	40.99	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-8	61.21	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-9	138.03	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-10	148.21	11	49	0.023	0.011	3.8	0.086	0.086	0.130
CN-11	119.21	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-12	119.76	5	22	0.010	0.005	3.8	0.039	0.039	0.059
CN-13	67.99	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-14	93.42	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-15	132.20	5	22	0.010	0.005	3.8	0.039	0.039	0.059
CN-16	104.42	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-17	18.32	0	0	0.000	0.000	3.8	0.000	0.000	0.000
CN-18	53.29	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-19	79.05	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-20	169.21	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-21	55.09	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-22	111.32	7	31	0.014	0.007	3.8	0.055	0.055	0.082
CN-23	81.01	1	4	0.002	0.001	3.8	0.008	0.008	0.012
CN-24	109.32	6	27	0.012	0.006	3.8	0.047	0.047	0.071
CN-25	56.52	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-26	125.35	8	36	0.017	0.008	3.8	0.063	0.063	0.094
CN-27	48.83	1	Kinder	0.002	0.001	1.5	0.003	0.003	0.005
CN-28	45.27	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-29	47.22	1	Secundaria	0.005	0.003	1.5	0.008	0.008	0.011
CN-30	45.64	4	18	0.008	0.004	3.8	0.031	0.031	0.047
CN-31	51.89	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-32	39.55	2	9	0.004	0.002	3.8	0.016	0.016	0.024
CN-33	19.88	1	Primaria	0.009	0.005	1.5	0.014	0.014	0.021
CN-34	115.07	3	13	0.006	0.003	3.8	0.024	0.024	0.035
CN-35	227.87	12	54	0.025	0.012	3.8	0.094	0.094	0.141
CN-36	100.21	0	0	0.000	0.000	3.8	0.000	0.000	0.000



Tabla C- 5 Características de las tuberías del sistema de alcantarillado (continuación)

Tubería	Pendiente %	Φ interior	Φ exterior	Caudal [LPS]	Velocidad [m/s]	Tirante [mm]
CN-1	-0.334	145	176	2.16	0.51	90
CN-2	-2.726	145	176	0.9	0.18	90
CN-3	-0.038	145	176	0.64	0.17	70
CN-4	-0.402	145	176	0.88	0.19	100
CN-5	-0.178	145	176	2.4	0.37	130
CN-6	-0.389	145	176	3.31	0.52	90
CN-7	-3.230	145	176	5.74	1.32	80
CN-8	-2.450	145	176	4.91	1.16	80
CN-9	-0.217	245	288	10.76	0.58	180
CN-10	-5.870	145	176	2.21	1.41	40
CN-11	-3.523	145	176	1.77	1.12	50
CN-12	-3.611	145	176	0.72	0.65	30
CN-13	-0.147	245	288	12.98	0.52	180
CN-14	-5.052	145	176	1.02	1.02	30
CN-15	-2.496	145	176	3.69	1.13	70
CN-16	-4.715	145	176	7.27	1.67	90
CN-17	-7.097	195	232	29.9	2.54	130
CN-18	-2.439	245	288	43.69	1.99	170
CN-19	-5.819	145	176	1.01	0.76	40
CN-20	-2.541	245	288	47.25	2.09	170
CN-21	-1.329	195	232	12.43	1.16	130
CN-22	-0.988	245	288	22.36	1.21	150
CN-23	-0.948	245	288	20.28	1.16	150
CN-24	-0.823	195	232	6.66	0.58	130
CN-25	-0.632	145	176	0.44	0.58	30
CN-26	-0.214	145	176	3.8	0.49	120
CN-27	-7.372	145	176	1.43	1.18	40
CN-28	-0.389	145	176	2.6	0.53	110
CN-29	-1.110	145	176	4.63	0.87	120
CN-30	-0.219	245	288	11.8	0.57	170
CN-31	-0.193	245	288	11.61	0.55	170
CN-32	-9.860	145	176	0.67	1.14	20
CN-33	-8.167	145	176	1.76	0.92	50
CN-34	-0.456	195	232	6.43	0.65	100
CN-35	-0.167	245	288	6.08	0.51	130
CN-36	-1.022	145	176	3.41	0.59	100

*El caudal, velocidad y tirante mostrado corresponde únicamente al horario más desfavorable (10:15 a.m.)



Tabla C- 6 Características de los nudos del sistema de alcantarillado

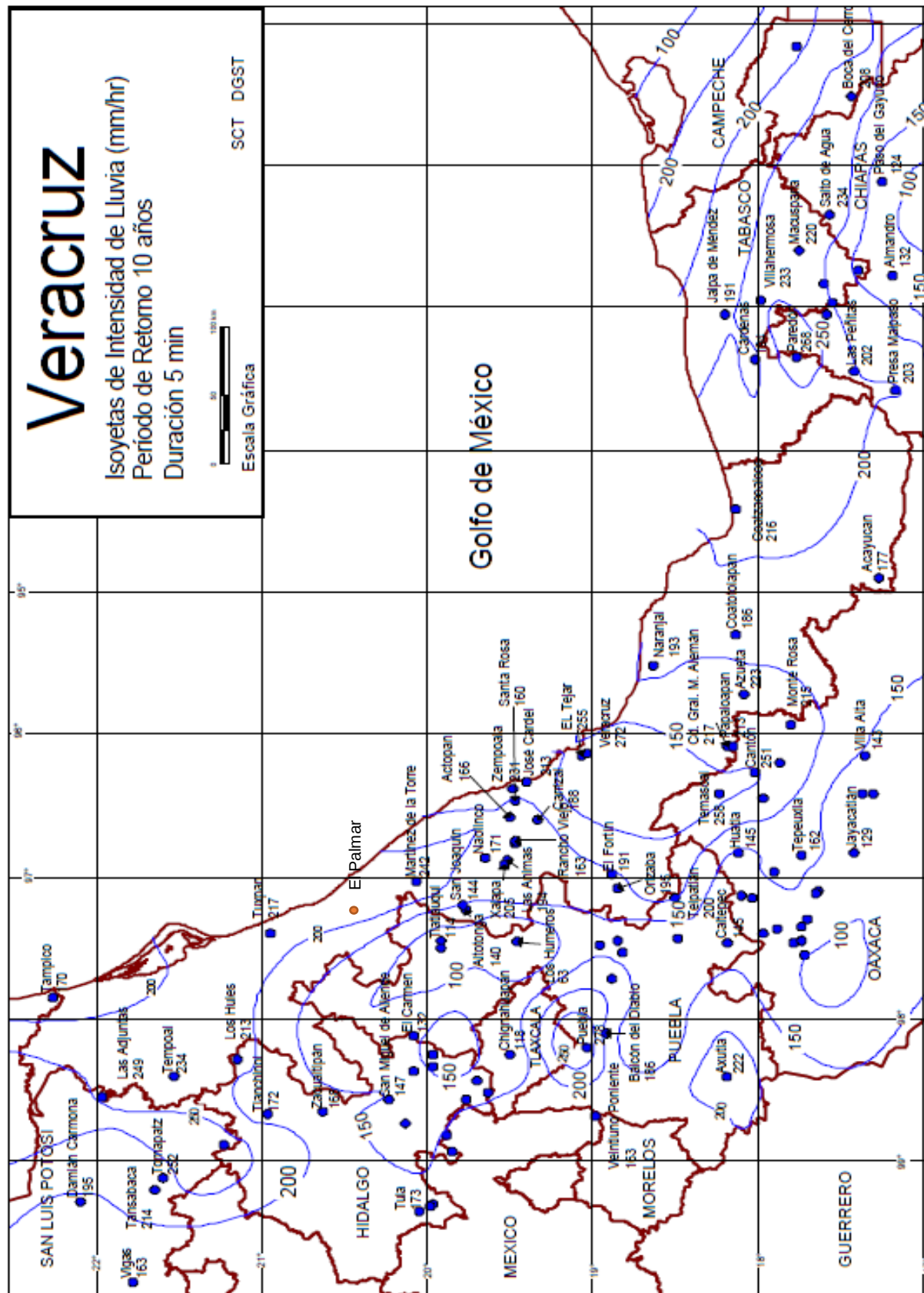
Nudo	Cota del terreno [m]	Cota de fondo [m]	Profundidad max	Pozo adosado	
				Cota de salida	Desnivel de salida
N-1	33	31.90	1.10	32.08	0.18
N-2	34.8	31.80	3.00	34.02	2.22
N-3	35.1	31.70	3.40	34.20	2.50
N-4	36.3	35.52	0.78		
N-5	37.8	37.02	0.78		
N-6	46.5	45.72	0.78		
N-7	42.3	41.52	0.78		
N-8	39	36.81	2.20		
N-9	41.1	36.43	4.68		
N-10	36.3	36.07	0.23		
N-11	36	35.17	0.83		
N-12	36.6	34.40	2.20		
N-13	35.1	33.30	1.80		
N-14	39	38.22	0.78	38.28	0.06
N-15	34.5	31.10	3.40	32.00	0.90
N-16	33.6	29.80	3.80	32.82	3.02
N-17	36.9	34.40	2.50		
N-18	34.8	34.02	0.78		
N-19	32.7	31.92	0.78		
N-20	33	32.10	0.90		
N-21	32.7	31.40	1.30		
N-22	34.2	31.20	3.00	33.42	2.22
N-23	36.9	35.90	1.00		
N-24	38.1	37.32	0.78		
N-25	37	36.82	0.18		
N-26	38.4	36.60	1.80	37.62	1.02
N-27	37.2	36.42	0.78		
N-28	42	41.82	0.18		
N-29	33.6	31.30	2.30		
N-30	46.5	45.72	0.78		
N-31	39	38.22	0.78		
N-32	41.1	36.43	4.68		
N-33	42.3	41.52	0.78		
N-34	36.3	35.52	0.78		
N-35	46.5	45.72	0.78		
N-36	37.5	35.80	1.70		

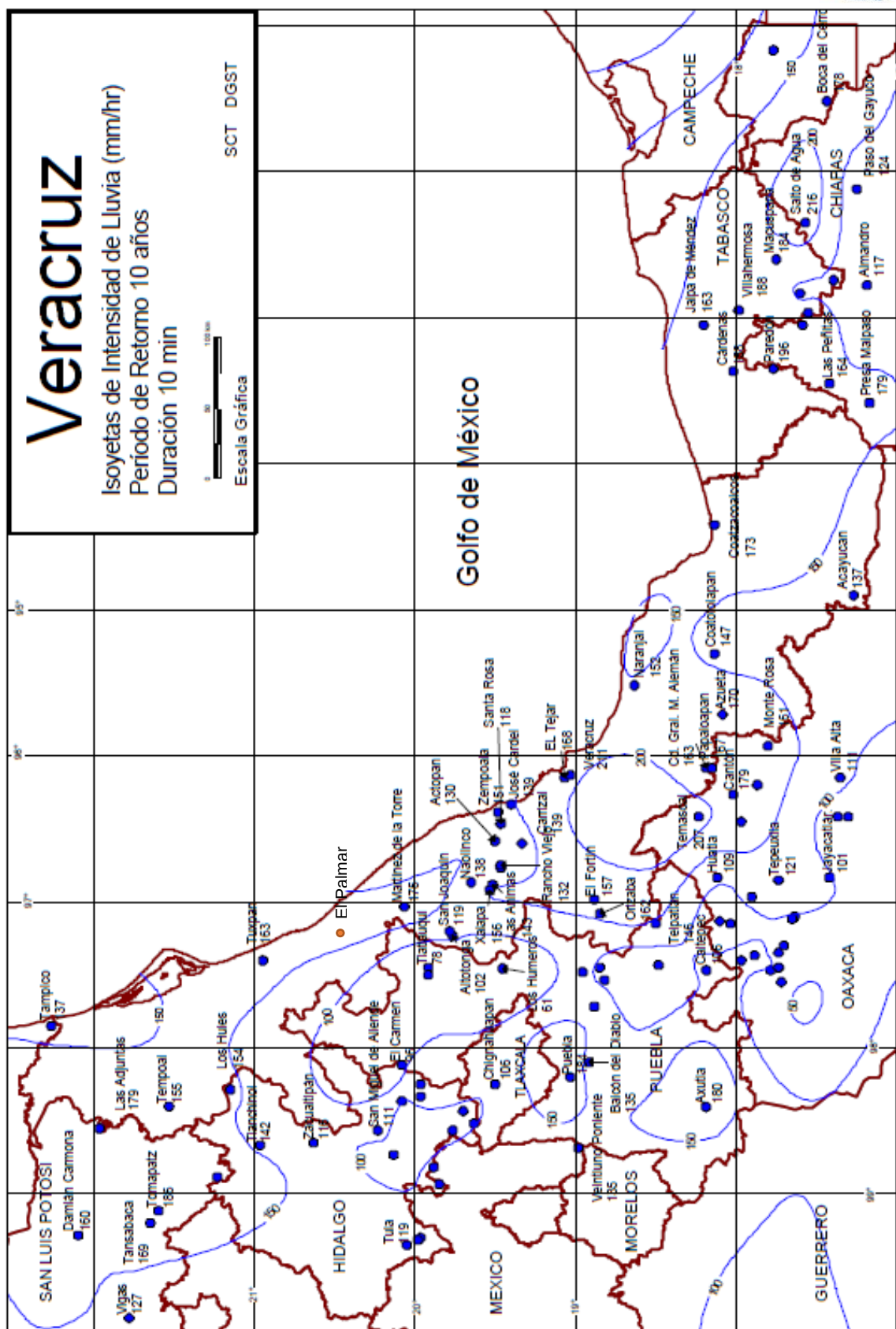
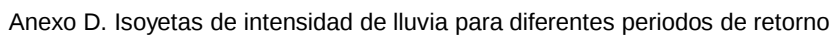


Anexo D. Isoyetas de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno (SCT)



Anexo D. Isoyetas de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno







Anexo D. Isoyetas de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno

