



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO BÁSICO DE GEOTECNIA PARA EL  
PROYECTO DE LA PRESA TULTITLÁN,  
LOCALIZADA EN EL POBLADO DE TULTITLÁN,  
MUNICIPIO DE SAN FELIPE ORIZATLÁN, ESTADO  
DE HIDALGO.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A:**

**NOHEMI HERNÁNDEZ RIVERA**



**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. RICARDO ROBERTO ROJO YANIZ**

**MARZO DE 2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/042/08

Señorita  
NOHEMI HERNÁNDEZ RIVERA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. RICARDO ROBERTO ROJO YANIZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"ESTUDIO BÁSICO DE GEOTECNIA PARA EL PROYECTO DE LA PRESA TULTITLÁN,  
LOCALIZADA EN EL POBLADO DE TULTITLÁN, MUNICIPIO DE SAN FELIPE ORIZATLÁN,  
ESTADO DE HIDALGO"**

- INTRODUCCIÓN
- I. LOCALIZACIÓN Y GEOGRAFÍA
  - II. GEOLOGÍA
  - III. HIDROLOGÍA
  - IV. GEOTECNIA
  - V. BANCOS DE MATERIALES
  - VI. LOCALIZACIÓN DE LA BOQUILLA
  - VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
PLANOS Y FOTOGRAFÍAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 22 de Mayo del 2008.  
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA  
GGZ/RSU/gar.

MTRO  
GGZ

## AGRADECIMIENTOS

*Mamá, esta tesis es gracias a toda tu dedicación y motivación que me diste durante todo mi vida y por darme el gran ejemplo de una mujer luchadora como lo eres tú, te amo mamá.*

*Papá, esta tesis es dedicada para ti porque yo sé que aunque no estés conmigo, me diste lo mejor de ti para ser una gran mujer, responsable, alegre, dedicada en lo que me gusta, te amo papá.*

*Beto, gracias a ti amor porque sin tu apoyo no lo hubiera logrado fuiste un gran impulso para concluir esta etapa en mi vida y que salgamos adelante como una familia que somos, te amo.*

*Diego, esta tesis es para darte una motivación para que salgas adelante y que sepas que no hay ningún obstáculo en la vida para que logres tus sueños y seas un hombre con un futuro emprendedor en cualquier carrera en la que decidas dedicar tu vida, te amo mi amor.*

*Ing. Roberto Rojo, no tengo manera de agradecer todo su apoyo y paciencia para concluir mi carrera, solamente me queda decirle muchísimas gracias.*

*A mis amigos, por su amistad y por su apoyo para concluir mi carrera y no solo eso sino compartir tantos buenos momentos en la facultad que me llevo en el corazón, fue una etapa muy hermosa en mi vida, me llevo grandes amistades que siempre estarán ahí cuando más los necesite.*

*A mis profesores de toda la carrera, gracias por toda su enseñanza y darme un gran ejemplo de que todo se puede lograr con esfuerzo y dedicación.*

---

**ESTUDIO BÁSICO DE GEOTECNIA PARA EL PROYECTO DE LA PRESA TULTITLÁN,  
LOCALIZADA EN EL POBLADO DE TULTITLÁN, MUNICIPIO DE SAN FELIPE  
ORIZATLÁN, ESTADO DE HIDALGO.**

**ÍNDICE**

INTRODUCCION

OBJETIVO DEL ESTUDIO .....	5
1 LOCALIZACIÓN Y GEOGRAFÍA .....	7
1.1 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA .....	7
1.1.1 HUEJUTLA DE REYES .....	9
1.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN Y ACCESO .....	11
1.3 CLIMA Y VEGETACIÓN .....	12
1.4 FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA .....	15
1.4.1 FISIOGRAFÍA .....	15
1.4.2 HIDROGRAFÍA .....	17
2 GEOLOGÍA .....	21
2.1 ESTRATIGRAFÍA .....	21
2.1.1 FORMACIÓN AGUA NUEVA (Kcet) .....	22
2.1.2 FORMACIÓN SAN FELIPE (Kcoss) .....	23
2.1.3 FORMACIÓN MÉNDEZ (Kcem) .....	23
2.1.4 FORMACIÓN VELASCO (Tpa ar – mg) .....	25
2.1.5 FORMACIÓN CHICONTEPEC (Tpa e) .....	26
2.1.6 FORMACIÓN TLANCHINOL (Tmb) .....	28
2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	28
2.3 GEOLOGÍA DEL VASO .....	29
2.4 GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA .....	32
2.4.1 GEOLOGÍA DE LA MARGEN IZQUIERDA .....	32

2.4.2	GEOLOGÍA DEL CAUCE .....	32
2.4.3	GEOLOGÍA DE LA MARGEN DERECHA.....	33
3	HIDROLOGÍA .....	34
3.1	CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DE LA CUENCA.....	34
3.2	ESTUDIO DE DEMANDAS DE AGUA.....	36
3.2.1	MODELOS PARA ESTIMACIÓN DE POBLACIÓN.....	37
3.3	SIMULACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL VASO. ....	42
3.4	VASO DE ALMACENAMIENTO. ....	42
3.5	TRÁNSITO DE AVENIDAS EN VASOS.....	46
3.6	OBRAS DE EXCEDENCIAS.....	47
3.6.1	CIMACIO DE CRESTA LIBRE.....	47
3.6.2	CAPACIDAD DE DESCARGA.....	47
3.6.3	COEFICIENTE DE DESCARGA.....	48
3.6.4	ESTIMACIÓN DEL BORDO LIBRE .....	48
3.6.5	ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE AZOLVES.....	50
4	GEOTECNIA .....	52
4.1	LEVANTAMIENTO SUPERFICIAL EN LA ZONA DE LA BOQUILLA Y VASO .....	52
4.1.1	MECÁNICA DE SUELOS .....	52
4.1.2	GEOFÍSICA.....	52
4.2	PRESA DE MATERIALES GRADUADOS .....	53
4.2.1	PRESA DE CONCRETO TIPO GRAVEDAD .....	53
4.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	53
4.3.1	COMBINACIONES DE CARGA:.....	54
4.4	POZOS A CIELO ABIERTO .....	66
4.5	CALAS.....	72
4.6	BARRENACIÓN .....	74
4.7	ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	77

---

5	BANCOS DE MATERIALES .....	80
5.1	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	80
5.2	LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE BANCOS DE MATERIAL .....	82
5.3	BANCOS DE ROCA .....	87
5.4	BANCO DE GRAVAS .....	88
5.5	BANCOS DE ARENAS .....	88
5.6	BANCOS DE ARCILLAS .....	90
6	LOCALIZACIÓN DE LA BOQUILLA.....	92
6.1	LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO SUPERFICIAL DE LA BOQUILLA.....	92
6.1.1	ARENISCAS Y LUTITAS (Tar – lu).....	94
6.1.2	ALUVIÓN (Qal).....	94
6.1.3	TERRAZAS DE INUNDACIÓN (Qre).....	94
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	96

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FOTOS

**ANEXOS**

PLANOS Y CARTA

---

# INTRODUCCIÓN

## OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo general es la construcción de una presa que viene a constituir un elemento clave en el estado de Hidalgo, con la finalidad de aprovechar en forma integral el escurrimiento de esta importante cuenca.

La obra tiene un objetivo clave, garantizar las crecientes demandas de agua para consumo doméstico de las comunidades asentadas en los municipios de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán, poblaciones que sufren un escaso déficit de agua para el consumo humano y agrícola.

Los estudios a desarrollar del proyecto, es de contar con estudios básicos para determinar las características superficiales del vaso y la boquilla, por esto se hicieron estudios de exploración geológicos y geotécnicos que van a permitir establecer en una fase posterior la permeabilidad del vaso y en consecuencia la construcción de la presa de almacenamiento que pueda garantizar los volúmenes requeridos hacia estas comunidades, así como la localización de los bancos de materiales que se van a utilizar para la construcción de la cortina y de las obras de acceso al proyecto.

## MÉTODO DE TRABAJO

La metodología aplicada para el proyecto integral, consistió de tres etapas:

- La primera etapa se realizó en gabinete:

a. Recopilación de información para su selección, integración y reinterpretación para los fines geológicos – geotécnicos perseguidos. Las fuentes de información son el Servicio Geológico Mexicano, bajo la base cartográfica de INEGI, además de las instituciones afines (PEMEX, CFE, SARH, entre otras), universidades y empresas mineras.

Información recopilada.

1. Se tiene estudios por parte de otros organismos y son:
  - De Consejos de Recursos Minerales se consultó:
    - Plano Geológico de la Carta Pachuca F14 – 11 escala 1:250,000
    - Plano Geológico hoja Huejutla F14 – D41 escala 1:50,000 y
    - Plano Geológico Tamazunchale F14 – D40 escala 1:50,000
  - De INEGI se consultó:
    - Plano Topográfico hoja Huejutla F14 – D41 escala 1:50,000
    - Tamazunchale F14 – D40 escala 1:50,000
  - Carta Geológica Pachuca F14 – 11 escala 1:250,000.

---

b. Interpretación de fotografías aéreas, con especial énfasis en lineamientos, curvilineamientos, zonas de dolinas y relación estructural con posibilidad de encontrar cavernas que no permitan el almacenamiento de agua para el embalse.

- La segunda etapa se realizó en el campo, y en general consiste de:

a. Cartografía geológica, mediante la verificación de contactos, secciones geológicas y apoyo con las fotografías aéreas en áreas de complicación geológica. La información se enfoca hacia la obtención de cartas geológicas – geotécnicas para la construcción de una boquilla en el área de Tultitlán, Hidalgo.

b. Reconocimiento geológico – geotécnico, con muestreo representativo de los bancos de material de roca, gravas, arenas y arcillas, definiendo calidad, potencial y perspectivas para su uso en la construcción de una boquilla en el área.

c. Llevar muestras de rocas, y de los posibles bancos de materiales al laboratorio de mecánica de suelos para su evaluación.

- La tercera y última etapa consistió en la integración, interpretación y validación de la información obtenida.

Como resultado de estos estudios se produce un informe final con los siguientes planos digitalizados: geológico – estructural de la boquilla y del embalse; plano de interpretación de bancos de materiales, imágenes y fotografías de los materiales.



---

# 1 LOCALIZACIÓN Y GEOGRAFÍA

## 1.1 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA

La presa Tultitlán se va ubicar en la porción N 5° E del Estado de Hidalgo, aproximadamente a 115 km en línea recta con respecto de la capital estatal. Geográficamente se localiza entre los paralelos 21° 06' 10" y 21° 08' 36" Latitud Norte y los meridianos 98° 38' 25" y 98° 38' 50" de Longitud Oeste. El estado de Hidalgo colinda al norte con Querétaro de Arteaga, San Luís Potosí y Veracruz; al este con Veracruz y Puebla; al sur con Puebla, Tlaxcala y Estado de México; al oeste con el Estado de México y Querétaro de Arteaga (Figura No. 1).



**Figura 1 Mapa de localización del área de estudio.<sup>1</sup>**

El estado de Hidalgo tiene una superficie de 20,905 km<sup>2</sup> con lo que representa el 1.1% del territorio nacional, de las cuales un 29.8% está destinado al campo, 38.1% a la actividad ganadera en la forma de pastizales y matorrales; un 21.9% es superficie forestal comprendiendo bosques y selvas; 9.2% están dedicados a zonas urbanas, caminos, tomado de internet de Google Earth (Figura No. 2) y otros; un 1.0% lo representan cuerpos de agua; y cuenta con 2,235,591 habitantes aproximadamente y están repartidos en 84 municipios y 4,596 localidades.

<sup>1</sup> Fuente: [www.mapasparacolorear.com.mx](http://www.mapasparacolorear.com.mx)



**Figura 2 Mapa de carreteras de Pachuca, a San Felipe Orizatlán, Hidalgo<sup>2</sup>.**

Para llegar a San Felipe Orizatlán, se hace saliendo de la ciudad de Pachuca, localizado en la parte Meridional del estado donde se toma la carretera pavimentada No. 105, hacia el norte y se recorren 228 km pasando por las poblaciones Metzquitlán, Mezttitlán, Zacualtipán, Lolotla, Huejutla de Reyes, hasta llegar a Orizatlán y de ahí donde se recorren unos 3 a 5 km hacia el este por un camino de terracería para llegar al poblado de Tultitlán, (Figura No. 3).

<sup>2</sup> Fuente: [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)

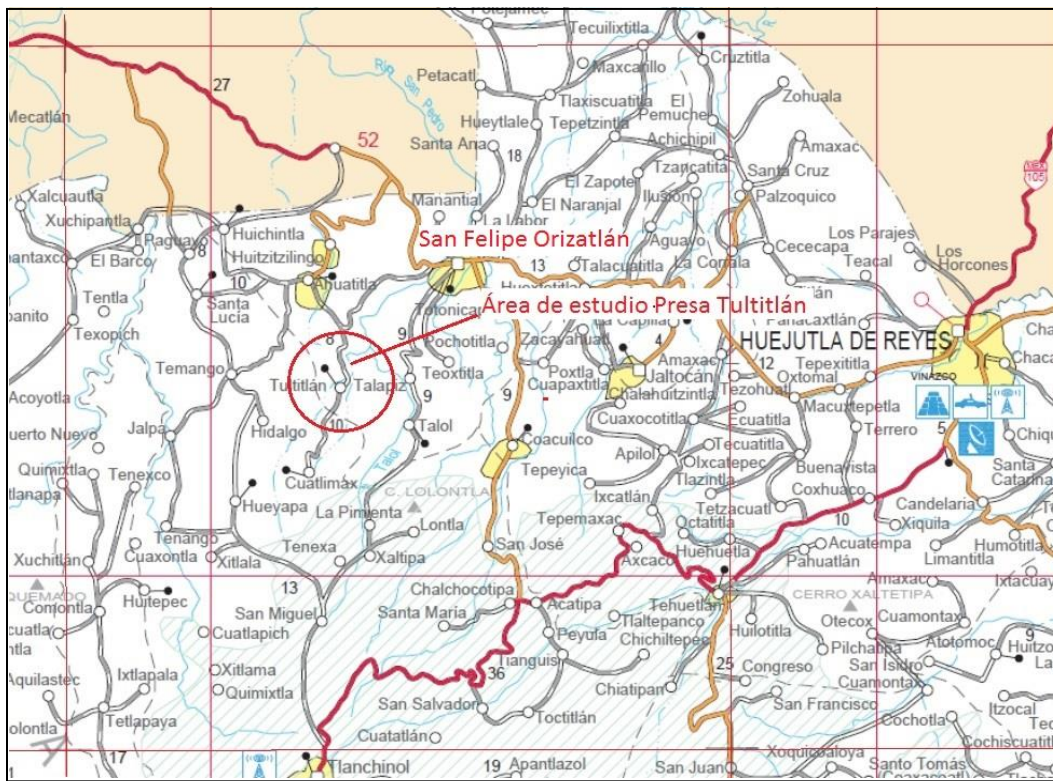


Figura 3 Mapa de localización del área de estudio de la Presa Tultitlán.<sup>3</sup>

### 1.1.1 HUEJUTLA DE REYES

El vaso “Tultitlán” implica los territorios de los municipios de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán que se ubica en el límite norte del estado de Hidalgo con la colindancia con el estado de San Luis Potosí y Veracruz.

La presa se va a ubicar dentro del municipio de San Felipe Orizatlán, que se encuentra a una altitud sobre el nivel del mar de 160 metros. Su localización geográfica es por el Norte, Latitud 21° 08’ 36” y por el Oeste, Longitud de 98° 36’ 23”.

Sus colindancias son al Norte con los estados de Veracruz y San Luis Potosí, al Sur con los municipios de Tlanchinol, Huejutla, al Oeste con el municipio de Tlanchinol y con el estado de San Luis Potosí, al este con los municipios de Huejutla y Jaltocán y el estado de Veracruz.

Jaltocán se encuentra a una altitud sobre el nivel del mar de 200 m. Su localización geográfica es por el Norte, latitud 21° 08’ 00” y por el Oeste, Longitud de 98° 32’ 18”. Sus colindancias son con los municipios de Huejutla y San Felipe Orizatlán (Figura No. 4)

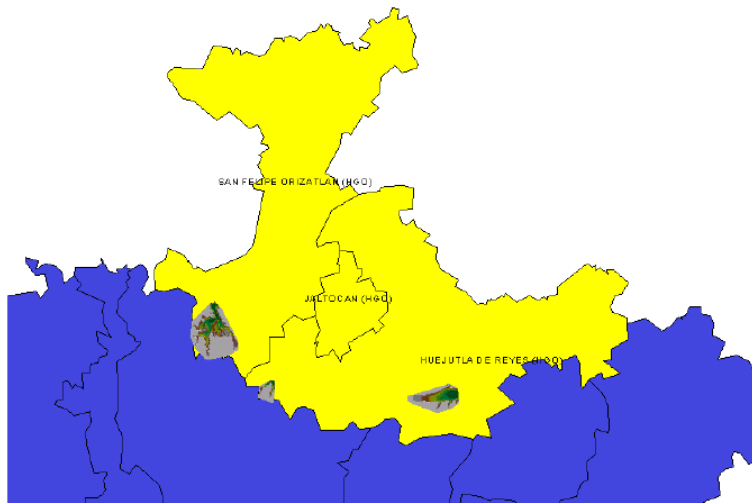
<sup>3</sup> Fuente: Mapa de carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ,2010.

---

El municipio de Huejutla de Reyes, se localiza al norte del estado y geográficamente está entre los paralelos 21° 08´de Latitud Norte y 98° 25´de Longitud Oeste, a una altitud de 140 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

Colinda al norte con el estado de Veracruz; al sur con los municipios de Atlapexco y Huazalingo; al este con Jaltocán, Tlanchinol y Orizatlán; y al oeste con Huautla. Sus principales comunidades del municipio son: Ixcatlán, Cuachuilco, Santa Catarina, Santa Cruz, Tehuetlán, Mecuxpetla y los Otates.

Huejutla de Reyes es el mayor municipio con 377.8 km<sup>2</sup>, Jaltocán ocupa una superficie de 48.8 km<sup>2</sup>, mientras que San Felipe Orizatlán ocupa un territorio de 308 km<sup>2</sup>, juntos suman una extensión territorial de 734.6 km<sup>2</sup>.



**Figura 4 Mapa de localización de posibles sitios para la construcción de presas de almacenamiento en comunidades de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán, Hidalgo.<sup>4</sup>**

---

<sup>4</sup> Fuente: Comisión Nacional del Agua



## 1.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN Y ACCESO

El estado de Hidalgo cuenta con 7,923 km de carreteras, de los cuales 36 corresponden a CAPUFE, a carreteras federales 1,025 (12.9 %), a carreteras estatales 2,422 (30.6 %), a caminos rurales 3,822 (48.2 %) y 618 km (7.8 %) a caminos construidos por diversas dependencias para el apoyo de sus propias funciones (Figura No. 5)

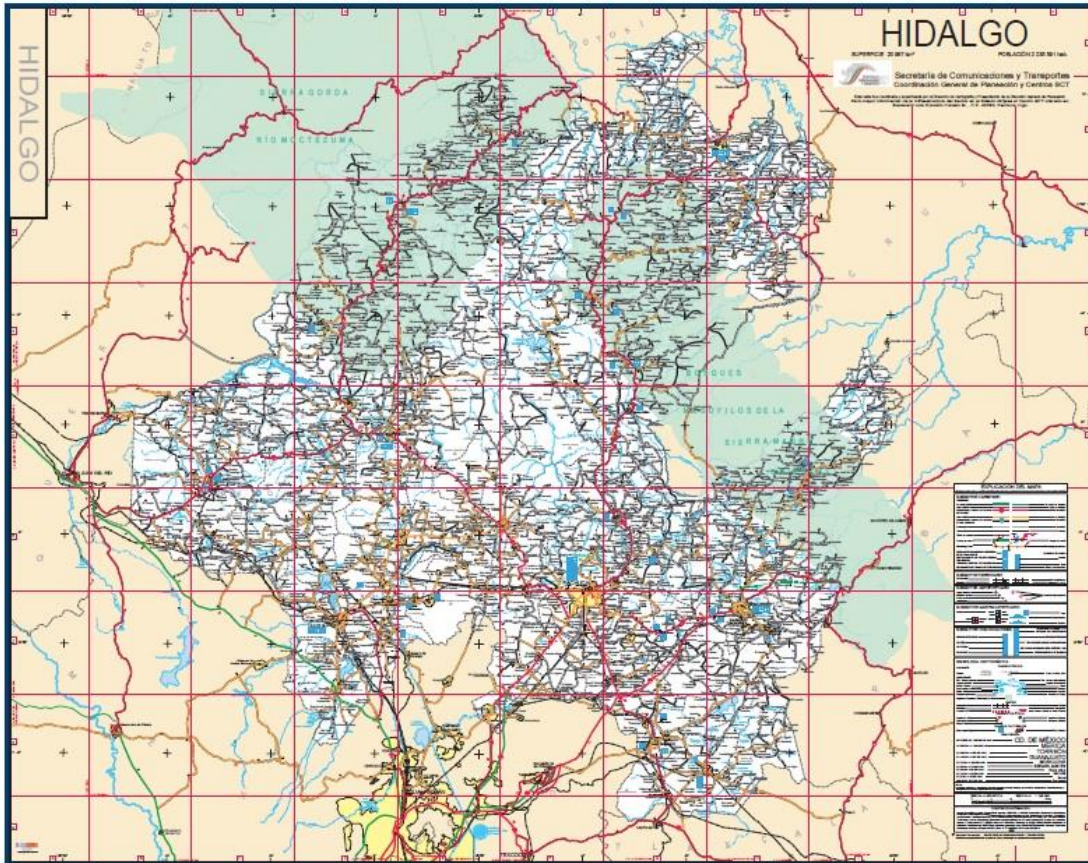


Figura 5 Mapa de carreteras del estado de Hidalgo.<sup>5</sup>

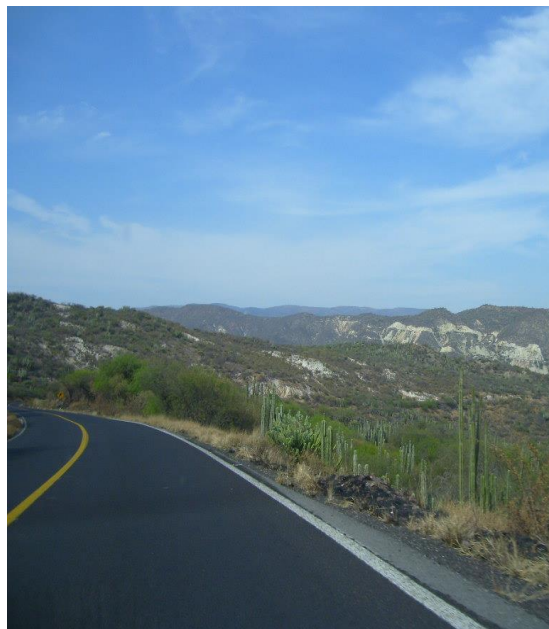
El aeropuerto de Pachuca cuenta con una pista de 1,800 m de largo por 30 de ancho con plataforma de aviación general y servicios de combustible. Presenta un promedio de 4,500 operaciones anuales.

La red ferroviaria que complementa el sistema de comunicaciones del estado, contaba hasta 1999 con 978.5 km, equivalentes al 3% del total nacional. El ferrocarril constaba con 255.7 km de vías troncales; 108.3 km de ramales y 217.5 km de vías secundarias; así mismo, 50.3 km de vías particulares, 184.7 km de vías auxiliares y 60 km de vías en desuso. El 90 % presentan una antigüedad de más de 50 años.

<sup>5</sup> Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 2006.

---

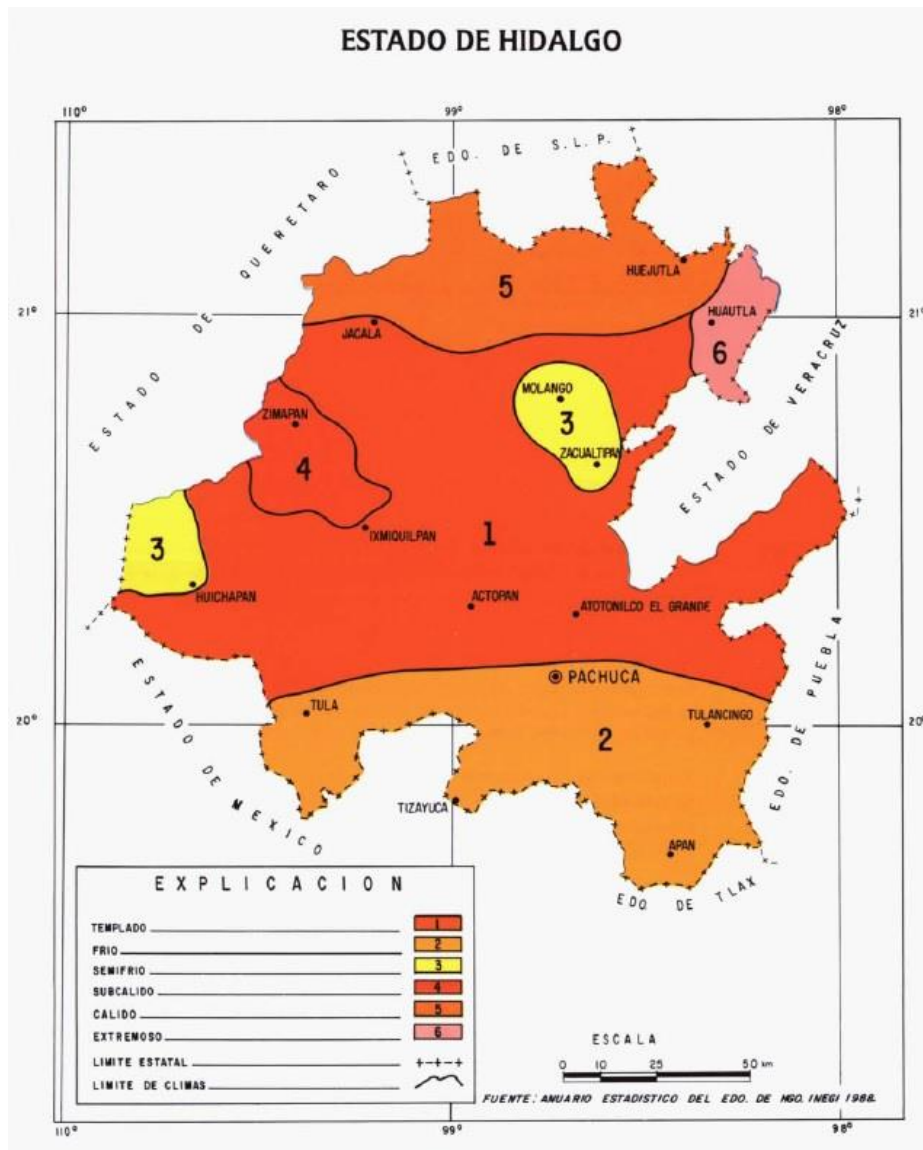
El acceso hacia la ciudad de Pachuca es a través de la carretera Federal México - Huejutla de Reyes – Tampico. En la población de Huejutla, se encuentra una desviación hacia el noroeste donde se encuentra el poblado de Coacuilco, que comunica con el poblado de San Felipe Orizatlán. Para ir al poblado de Tultitlán, se parte hacia el oeste saliendo de San Felipe, donde se encuentra la desviación para Huichintla y a unos 3 km de éste entronque se encuentra una desviación de terracería que llega al poblado de Tultitlán, donde se recorren 3 km para llegar al lugar donde se va a localizar la boquilla de la presa Tultitlán (Fotos 1 y 2).



**Foto 1 y Foto 2 Vista del camino para llegar al sitio de la presa en Huejutla.**

### **1.3 CLIMA Y VEGETACIÓN**

En la carta de Pachuca escala 1:250,00 el clima es variado debido a la alternancia de altitudes entre llanos, valles y serranías, que conforman la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico. Existen numerosos climas que convergen en el estado de acuerdo a la clasificación de Köppen (1936), los principales son el clima templado subhúmedo con lluvias en verano, semiseco templado y semicálido húmedo, su temperatura media anual es de 24.8 °C, con una máxima de 31.5 °C en los meses de julio y agosto, y una mínima de 15.4 °C en enero. Dada la situación anterior, Hidalgo tiene como resultado de la situación orográfica, hidrográfica y geográfica, una temperatura promedio de 25° C (Figura No. 6).



**Figura 6 Mapa de climas del estado de Hidalgo.<sup>6</sup>**

El clima cálido comprende aproximadamente 10% de la superficie del Estado, abarcando la región de Huejutla, en la porción noroeste del Estado, con una precipitación media anual de 1,852 mm y temperatura media anual de 22°C.

La vegetación es muy variada al sur, la Llanura Costera del Golfo le proporciona un suelo bajo y plano donde predominan los huizaches, mezquite, nopal y lechuguilla, además de liebres y búhos.

Hacia el centro y en toda la parte norte y este del estado, la Sierra Madre Oriental toma los nombres de las principales sierras, como son Sierra de Zacualtipan, Sierra de Jacala,

<sup>6</sup> Fuente: Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1992.



Sierra de Zimapán y Sierra de Pachuca. En donde típicamente encontramos bosques de pino y encino, abeto, oyamel y enebro; así como venados cola blanca, onza y jaguar. En la Sierra de la Huasteca la flora y fauna son distintas pues aquí habitan los árboles de fina madera como el copal, caoba, palo de rosa, ébano y framboyán; la fauna típica está compuesta de tlacuaches, puerco espines, tigrillos, tejones, codornices y guajolotes silvestres (Figura No. 7) (Tomado de la Monografía Geológico-Minero del Estado de Hidalgo del Consejo de Recursos Minerales, 1992).

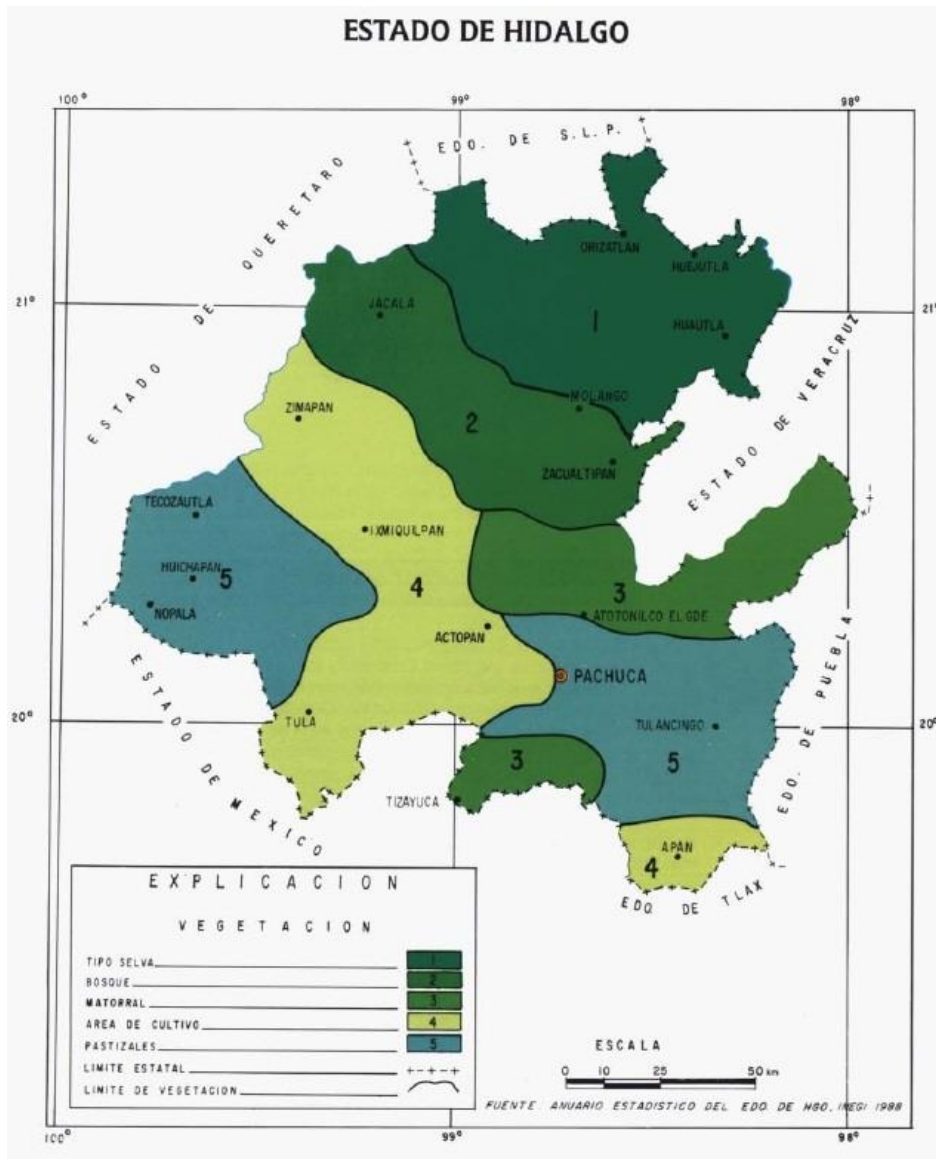


Figura 7 Mapa de vegetación del estado de Hidalgo.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Fuente: Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1992.



## 1.4 FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

### 1.4.1 FISIOGRAFÍA.

En la entidad se conocen tres provincias fisiográficas que son la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico y la subprovincia de Tampico-Misantla (Figura No. 8).

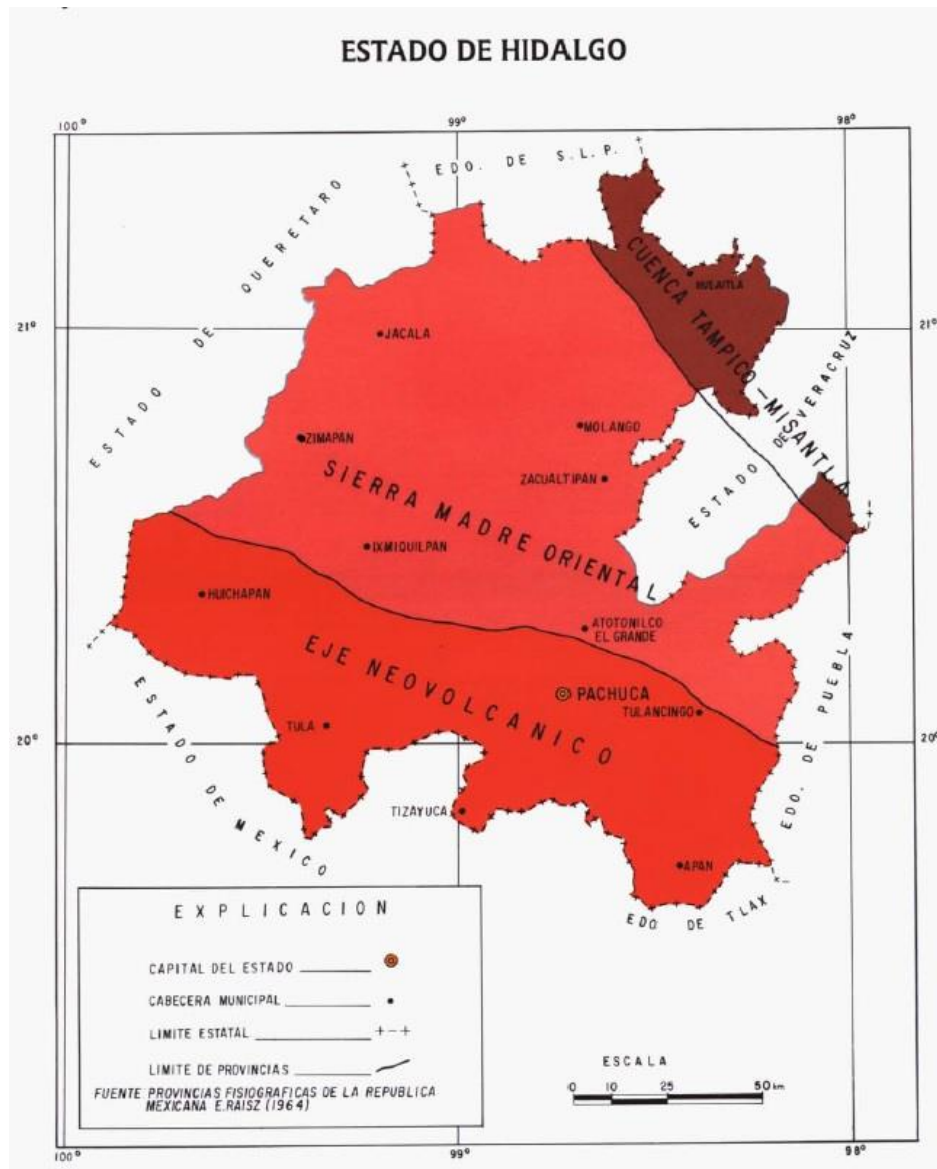


Figura 8 Mapa Fisiográfico del estado de Hidalgo.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Fuente: Consejo de Recursos Minerales (CRM), 1992.

## Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental.

Se ubica en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Hidalgo, Puebla, Veracruz y Oaxaca. Es una franja de estructuras anticlinales Laramílicas orientada norte-noroeste a sur-sureste bien definida formada por rocas sedimentarias del Precámbrico, Paleozoico, Triásico, Jurásico y Cretácico. Esta provincia forma la cadena de pliegues y fallas más extensa de México (Ortega, et al, 1992).

También se le conoce como la Sierra Madre Oriental que se caracteriza por sierras orientadas noroeste-sureste constituidas por rocas paleozoicas, y mesozoicas. Estas rocas se encuentran intrusionadas por rocas ígneas de composición granodiorítica del Terciario (Figura No. 9).

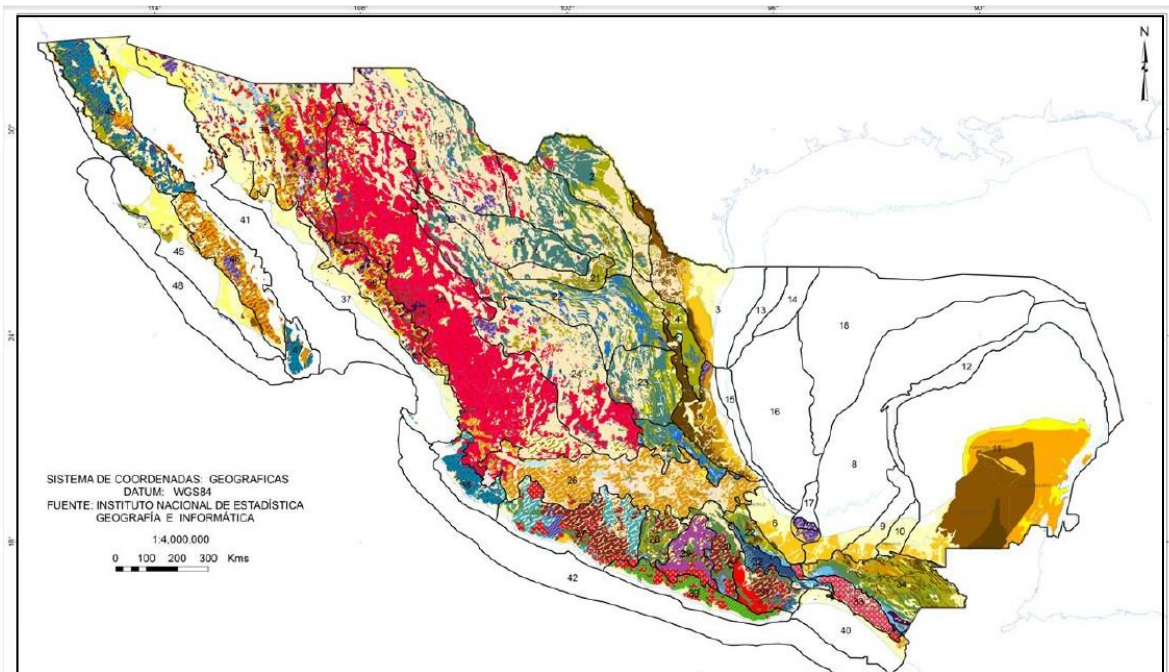


Figura 9 Mapa de Provincias Geológicas de México, sobrepuestas al Mapa Geológico.<sup>9</sup>

## Faja Volcánica Transmexicana.

Se ubica en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Puebla y Veracruz. Se orienta oeste-este y está constituida por rocas ígneas del Neógeno, formando la cadena de volcanes más extensa de México (Ortega, et al, 1992).

También se le conoce como la provincia del Eje Neovolcánico que constituye una franja volcánica que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20°. Se caracteriza en términos generales por la presencia de una gran cantidad de aparatos volcánicos asociados en su mayor parte a fracturas regionales (Figura No. 9).

<sup>9</sup> Fuente: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Ortega, et al., 1992)

---

## **La sub provincia cuenca Tampico-Misantla.**

Se ubica en los estados de Veracruz, San Luis Potosí y Puebla, corresponde a una antifosa que se extiende al oriente del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental y costa afuera en la plataforma continental del Golfo de México, está limitada por el Cinturón Extensional Quetzalcóatl (Ortega, op. cit.), Figura No. 9.

Comprende la parte noreste del estado de Hidalgo y se localiza dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (subprovincia cuenca Tampico-Misantla, según E. López Ramos, 1978) dentro de un enclave tectónico denominado antifosa de Chicontepec (Álvarez M., 1938).

La columna estratigráfica consiste principalmente de secuencias clásticas del Terciario poco deformadas, que descansan sobre rocas predominantemente carbonatadas del Cretácico y Jurásico, y algunas rocas ígneas extrusivas, las cuales se incrementan hacia el límite sur con la Faja Volcánica Transmexicana.

### **1.4.2 HIDROGRAFÍA.**

El estado de Hidalgo posee desde terrenos llanos y semiáridos en los que no se presentan corrientes de importancia, como ocurre en los llanos de Apan; zonas relativamente secas a las que atraviesan ríos importantes como es el caso del Valle del Mezquital, o bien, sierras muy lluviosas, por cuyas cañadas bajan ríos caudalosos (Moctezuma y Calabozo) llevando sus aguas hacia el Golfo de México.

Los ríos principales de la entidad corren en dirección suroeste-noreste, o bien sur a norte, salvo en la zona sur, en donde existen áreas pertenecientes a la Cuenca de México, todos ellos confluyen hacia el Golfo de México.

#### **A. AGUAS SUPERFICIALES.**

La hidrología estatal que conforma a la cuenca RH26 del Río Pánuco, se distribuye en cuatro subcuencas hidrológicas principales que son: Río Pánuco, Río Támesis, Río Tamuín y el Río Moctezuma. (Figura No. 11)

Se tienen 26 ríos de cauce menor que confluyen en el río Moctezuma para formar lo que se conoce como la subcuenca del Pánuco, que viene del sur hacia el norte y que nacen entre ellos se tienen: el Río Amajac y el Río San Pedro. De este último sus afluentes son entre otros el Río Tultitlán, el Río Talol, el Río Acamaluco, el Río San Martín, el Río Coacuilco, entre otros y que son parte de la Cuenca Tampico Misantla.

Los cuerpos de agua naturales más importantes existentes en el Estado son: al centro la Laguna de Metztitlán que junto con los ríos Grande y Tulancingo forman parte del distrito de riego de Metztitlán; al centroeste la Presa de Ángeles; al este la Presa Omiltemetl; al

---

suroeste la Presa Requena y la Presa Endhó, que junto con el río Tula forman parte del distrito de riego de esta región; y al oeste la Presa Taxhimay, en el límite con el Estado de México.

Al norte del estado de Hidalgo, los ríos Amajac, Claro, San Pedro, así como caídas de agua se utilizan para la agricultura, ganadería y uso doméstico, constituyen además parte del paisaje natural; sin embargo, es importante hacer notar que sólo 10% es aprovechable, debido a las condiciones orográficas existentes.

El sur del Estado está irrigado por ríos que en su mayoría forman parte de distritos de riego, de los cuales es importante recalcar que el río Tula, presenta un alto grado de contaminación por los desechos del desagüe de la ciudad de México, así como la Presa Requena, en la que desemboca este río y la Presa Endhó, que almacenan aguas negras (Figura No. 10).

La Presa Tejocotal, se localiza en el Municipio de Acaxochitlán conteniendo 5% de sólidos en suspensión debido a la erosión de las márgenes del embalse y por lo tanto, según el tipo de sólido que presenta, puede ser limitada su utilización en el riego.

Existen también otros cuerpos de agua (Presa Ángeles) en esta parte del Estado.

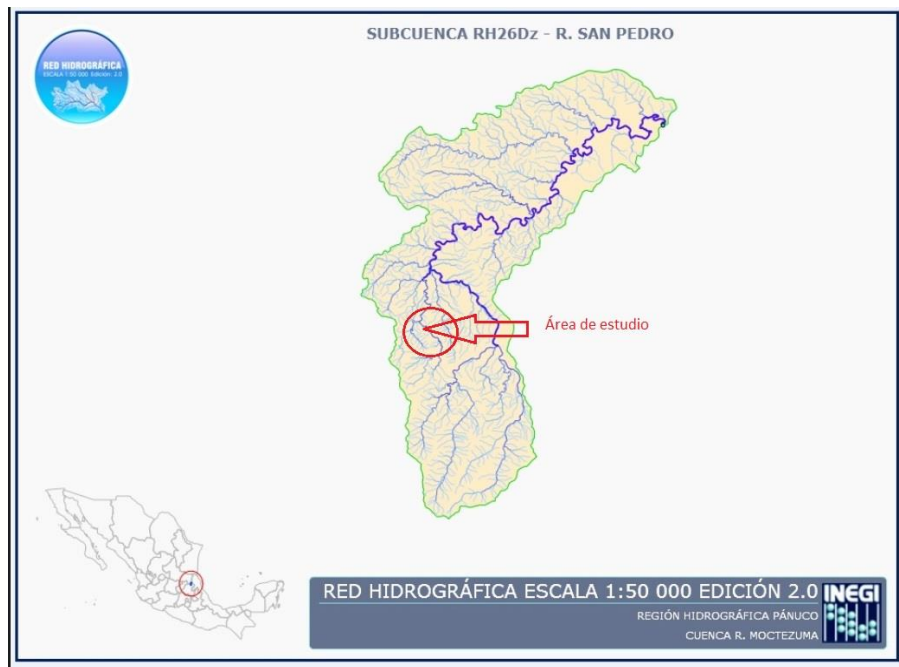
## **B. HIDROLOGÍA LOCAL.**

La presa Tultitlán se va ubicar al norte del Estado de Hidalgo; Fisiográficamente la zona queda comprendida en la Sierra Madre Oriental, dentro de la denominada Sierras Altas y de la Llanura Costera del Golfo (figura No. 8, tomado del Consejo de Recursos Minerales, op.cit.).

Se tienen tres sistemas hidrológicos que existen en Hidalgo, el primero es el Amajac que nace en la Sierra Baja y se precipita sobre Omitlán, que rodea los municipios de Actopan y Atotonilco el Grande donde se incorpora el río Tizahuapan y más adelante sirve de límite a los municipios de Metztitlán e Ixmiquilpan y continúa por el rumbo de Chapulhuacán y Tepehuapán de Guerrero, para salir finalmente por el estado de Veracruz.







**Figura 11 Red Hidrológica de la Subcuenca Hidrográfica RH26Dz – del Río Moctezuma y que pertenece al Río San Pedro.<sup>11</sup>**

Adicionalmente a estos sistemas existen otras corrientes de aguas autónomas, como son las de los ríos Candelaria, Atlapexco, Hule, Tlacolula y Yahualica, que nacen en la Sierra Alta y riegan los terrenos de la Huasteca, se tiene otros dos más que son, el Chiflón y el Huehuetla, que serpentean por la Sierra Tepehua.



**Foto 3 Cauce del Río Tultitlán donde va a quedar la presa.**

<sup>11</sup> Fuente: INEGI 2013.

## 2 GEOLOGÍA

### 2.1 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía estudia una parte de la geología, son estratos constituidos de cuerpos rocosos, composiciones litológicas, propiedades geofísicas y geoquímicas, relaciones de edad y su distribución (Figura No. 12, tomada de la carta geológica – minera Huejutla F14-D42 del Consejo de Recursos Minerales 2005, escala 1:50,000 de San Felipe Orizatlán, Estado de Hidalgo).

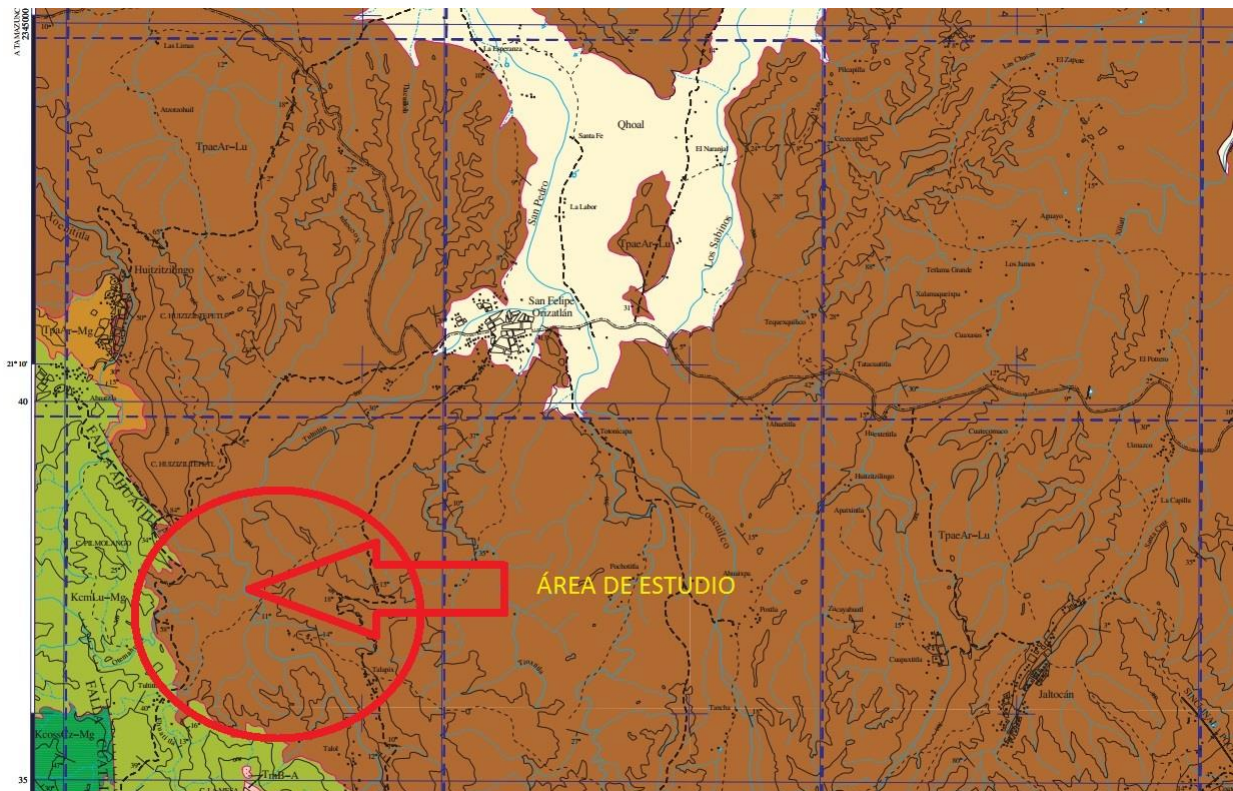


Figura 12 Mapa geológico de la parte nororiental del estado de Hidalgo.<sup>12</sup>

Donde se va a localizar la Presa Tultitlán se encuentran diferentes formaciones Estratigráficas, las cuales se van a describir a continuación:

<sup>12</sup> Fuente: Consejo de Recursos y Minerales (CRM), 2005.

---

### 2.1.1 FORMACIÓN AGUA NUEVA (Kcet)

Esta Formación pertenece al Turoniano y fue descrita por Stephenson, 1921 y Muir, 1934 in Monografía Geológico – Minero de Hidalgo, CRM, 1992<sup>13</sup>.

**Distribución.-** La Formación Agua Nueva, se encuentra distribuida prácticamente en toda la región oriental del país, aflora principalmente en el frente oriental de la Sierra Madre Oriental, en la porción noreste de la Cuenca de la Mesa Central y en el sector sur de la Península de Tamaulipas; y en el subsuelo, se le ha encontrado en la Cuenca de Burgos, de Tampico – Misantla y del sureste (Figura No. 12).

**Litología.-** Esta Formación consiste de una alternancia de calizas con nódulos y bandas de pedernal, con mudstone y wackestone arcillosos, con intercalaciones de lutitas laminares carbonosas y de mudstone carbonosos, así como de cuerpos de margas bentoníticas y de lechos de bentonitas (Stephenson y Muir op. Cit.). En general predominan las coloraciones gris y gris oscuro; la estratificación es en capas delgadas a medias en la base y laminares en la parte media y superior. Son comunes los cuerpos de espesor medio y grueso en las lutitas y margas.

**Espesor.-** Su espesor varía de 30 hasta 200 m.

**Relaciones Estratigráficas.-** En general sus contactos son concordantes con las Formaciones Tamaulipas Superior y San Felipe. También se le observa concordante sobre las Formaciones Cuesta del Cura, El Abra y Tamabra. En la porción oriental de la Cuenca del Sureste, su contacto inferior es también concordante sobre los sedimentos carbonatados del Albiano – Cenomaniano sin nombre formacional; y subyace transicionalmente a la Formación San Felipe (Consejo de Recursos Minerales, op.cit.).

**Edad.-** Por su posición estratigráfico y contenido faunístico en la porción sur de la Península de Tamaulipas, en el borde oriental de la Sierra Madre Oriental y en el noreste de la Cuenca de la Mesa Central, así como en el subsuelo de la Cuenca de Tampico – Misantla, su edad corresponde al Turoniano; pero en los bordes noreste y noroeste de la Península de Tamaulipas y de la Cuenca de Burgos, respectivamente, su rango es Cenomaniano Superior – Turoniano (Stephenson y Muir, op.cit.).

**Ambiente de Depósito.-** Por sus características litológicas y contenido faunístico, se interpreta que estos sedimentos se depositaron en ambientes que varían de plataforma externa a cuenca. La presencia de material bentonítico, indica el vulcanismo contemporáneo del lado Pacífico correspondiente al arco magmático, reflejo de la subducción de la Placa Farallón bajo la de la Placa de América del Norte (Stephenson, y Muir, op.cit.).

---

<sup>13</sup> Consejo de Recursos Minerales. Monografía Geologico-Minero de Hidalgo, 1992.



---

### 2.1.2 FORMACIÓN SAN FELIPE (Kcoss)

La Formación San Felipe pertenece al Coniaciano – Santoniano, y fue descrito por Jeffreys, 1910 in Muir, 1936 (in Consejo de Recursos Minerales, 1992).

**Distribución.-** La Formación San Felipe, se encuentra ampliamente distribuida en gran parte de la porción oriental del Territorio Nacional; desde la porción media y sur de la Península de Tamaulipas, Cuenca de Burgos, Cuenca de Tampico – Misantla, Cuenca de Veracruz y Cuenca del Sureste. También se le ha identificado en el borde oriental de la Sierra Madre Oriental y sectores adyacentes de la Cuenca de la Mesa Central.

**Litología.-** En general, la litología de esta unidad es muy homogénea y está representada por mudstone y wackestone, en partes arcillosas y bentoníticas, de color gris claro y gris verdoso, en capas de espesor delgado, con escasos nódulos de pedernal. Son abundantes las intercalaciones de bentonita y de Lutitas bentoníticas laminares.

**Espesor.-** Su espesor es muy variable, desde 5 hasta 140 metros y aún hasta 330 metros.

**Relaciones Estratigráficas.-** Los contactos inferior y superior de esta formación, son concordantes transicionales sobre la Formación Agua Nueva y bajo la Formación Méndez, respectivamente. En el subsuelo de la Cuenca de Veracruz. Sobreyace en ligera discordancia sobre la Formación Guzmantla.

**Edad.-** De acuerdo a su posición estratigráfica y abundante contenido faunístico, se le ubica en el Coniaciano – Santoniano y es posible que alcance probablemente hasta el Campaniano Inferior.

**Ambiente de Depósito.-** Las rocas sedimentarias de la Formación San Felipe, evidencian un ambiente de depósito de mar abierto, con notable influencia de material bentonítico proveniente del arco magmático del occidente, que se encontraba en franca actividad.

### 2.1.3 FORMACIÓN MÉNDEZ (Kcem)

La Formación Méndez fue descrita por Jeffreys, in Muir, op.cit. y pertenece al Campaniano – Maestrichtiano.

**Distribución.-** La Formación Méndez, se encuentra ampliamente distribuida en los bordes y en el subsuelo de las Cuencas de Tampico – Misantla, Burgos, el sur de la Península de Tamaulipas y el frente oriental de la Sierra Madre Oriental; así como en el subsuelo de las cuencas de Veracruz y del Sureste. También se le ha identificado en el frente norte de la Sierra de Chiapas.

**Litología.-** Consiste principalmente de margas de color gris y gris verdoso, con intercalaciones de Lutitas en partes bentoníticas y de capas de delgadas de bentonita, así como de algunas areniscas y de mudstone gris oscuro. Localmente en las Cuencas de Tampico – Misantla y de Veracruz, se reportan brechas calcáreas en la base. En la porción

---

oriental de la Cuenca del Sureste son frecuentes las intercalaciones de horizontes brechoides en toda la columna, que tienen la particularidad de alcanzar en la cima de esta formación hasta los 126 metros de espesor.

**Espesor.-** El espesor de esta formación es muy irregular, reportándose con variaciones de 40 metros hasta más de 1,000 metros.

**Relaciones Estratigráficas.-** El contacto inferior de esta unidad, es en general normal transicional sobre la Formación San Felipe; únicamente en algunas áreas de la Cuenca de Tampico – Misantla, se observa discordante sobre la Formación El Abra. Esta relación discordante se ha intensificado en el frente de la Sierra de Chiapas y porción sureste de la Cuenca del Sureste, donde el contacto inferior está definido por un hiatus sobre sedimentos del Cretácico Inferior, o bien se encuentra localmente ausente al sur – suroeste de Villahermosa, Tabasco

El contacto superior es normal transicional bajo las secuencias de terrígenos correspondientes a la Formación Midway en la porción norte de la Península de Tamaulipas y Cuenca de Burgos; y bajo la Formación Velasco en las de Tampico – Misantla y de Veracruz. En la parte media y occidental de la Cuenca del Sureste subyace también en concordancia a sedimentos arcillo – calcáreos del Paleoceno sin nombre formacional.

En las áreas sureste (Chiapas – Tabasco) y noreste (oriente de la Sonda de Campeche) de la Cuenca del Sureste, las brechas calcáreas que constituyen la culminación de esta formación transgreden hasta la base del Paleoceno. En el frente norte de la Sierra de Chiapas, la Formación Méndez subyace concordante a la base de la Formación Nanchital.

**Edad.-** La edad Campaniano – Maestrichtiano de la Formación Méndez, está bien controlada por su posición estratigráfica y su asociación faunística.

**Ambiente de Depósito.-** El ambiente de depósito de esta formación es el flysch característico en zona de antefosa en mar abierto, con intercalaciones de flujos turbidíticos provenientes de las áreas de plataforma, que evolucionan al final del Maestrichtiano a brechas calcáreas de talud en las cercanías con el borde de la plataforma (Jeffreys, 1910 in Muir, 1936).

Las rocas margosas y arcillo – calcáreas de la Formación Méndez, tienen un lugar importante como almacenadoras de aceite y gas. Particularmente las brechas calcáreas de la culminación de esta unidad, son las que constituyen los intervalos productores en algunos de los campos del noreste de la Sonda de Campeche y de la porción sureste del área de Chiapas – Tabasco en la Cuenca del Sureste. Asimismo, en la región de Ébano – Pánuco de la Cuenca Tampico – Misantla, se estableció su producción en las rocas margosas de esta edad afectadas por fracturamiento.

Los intervalos conglomeráticos intercalados en esta unidad son también productores en la Cuenca de Veracruz, y localmente en el extremo noroeste de la Sierra de Chiapas (área de Cerro Nanchital).

---

#### 2.1.4 FORMACIÓN VELASCO (Tpa ar – mg)

La Formación Velasco fue descrita por Cushman y Trager en 1924 y abarca desde el Daniano hasta el Ypresiano Sparnaciano, que son de edad del Paleoceno al Eoceno Inferior.

**Distribución.-** La distribución geográfica de la Formación Velasco es muy amplia, pues se extiende de Norte a Sur a lo largo del Sinclinal de Magiscatzin, desde Ciudad Victoria hasta Tullillo, Tamaulipas (Flanco oeste del Campo Ébano – Pánuco), en la parte este de la Faja de Oro y prácticamente en todo el frente de la Sierra Madre Oriental, desde los afloramientos de la formación Velasco, al noreste de la Tamazunchale, San Luis Potosí, hasta los sedimentos arcillosos del Paleoceno, en la región de Ayotoxco, Puebla y en el extremo sur de la antigua Cuenca Terciaria afectada por el levantamiento del Macizo de Teziutlán, Puebla. En algunos lugares también se encuentra la Formación Velasco entre Tamazunchale, San Luis Potosí y Villa Juárez, Puebla (Cushman op.cit.).

**Litología.-** Los sedimentos de esta formación indican, por su litología y fauna, condiciones de depósito en aguas moderadamente profundas, pues están constituidas en su mayor parte por Lutitas homogéneas de grano fino y localmente con capas delgadas de bentonita de color verdoso.

Los estratos expuestos a lo largo del flanco oriental y de la porción sureste del Sinclinal de Magiscatzin, consisten en Lutitas con escasas intercalaciones de areniscas calcáreas en capas delgadas; las Lutitas son de color gris, variando el tono e intensidad de verde, azul, café, rosa, rojo o marrón.

Pueden ser bastante calcáreas pero siempre son menos duras que las margas de la Formación Méndez, del Cretácico Superior, que subyacen a la Formación Velasco. En algunas zonas tienen yesos y en general, su desintegración no es tan marcadamente nodular como en el caso de la Formación Méndez. Las areniscas son tan calcáreas que bien pueden ser consideradas como calcarenitas variando su espesor de 1 a 10 cm, aunque en algunos lugares se notan lentes de hasta 30 cm de espesor que presentan, ocasionalmente pistas de serpúlidos (anélidos marinos) y huellas de oleaje.

En la parte axial del Sinclinal de Magiscatzin, que corresponde a la parte más alta estratigráficamente y en especial, en los alrededores del pueblo del mismo nombre, así como en la estación de Ferrocarril Calles, los sedimentos considerados como pertenecientes a la Formación Velasco, se componen de areniscas y Lutitas alternantes, que tienen semejanza con la Formación Chicontepec, de la región más al sur del Río Tamaoán.

La Formación Velasco está representada por Lutitas de color verde en la parte superior (con un espesor medio de 90 m). Lutitas de color café en la parte media y Lutitas gris blanquizas en la base; las últimas de posible composición cinerítica, son muy abundantes en los campos de Solís y Temapache. Al sur de la Cuenca de Chicontepec, La Formación

---

Velasco consiste en margas de color gris, gris verdoso, rojizo y café, más o menos arenosas y no muy duras, con capas muy delgadas de bentonita, cenizas y arena; litológicamente son muy diferentes a las capas de la Formación Chicontepec. En algunos lugares al NE de Ayotoxco, Puebla, la parte basal de la Formación Velasco contiene materiales retrabajados de color rojo, de la cima de la Formación Méndez lo que constituye un buen argumento para la separación en tiempo y litología de las Formaciones Velasco y Méndez.

**Espesor.-** El espesor de esta formación es muy irregular, reportándose con variaciones de 40 metros hasta más de 1,200 metros.

**Relaciones Estratigráficas.-** La Formación Velasco pertenece al Paleoceno, encontrándose subyaciendo a rocas de la Formación Chicontepec Medio, en ocasiones a la Formación Chicontepec Inferior de la que es equivalente en parte. Su contacto con estas rocas es gradual, sobreyace concordantemente con rocas de la Formación Méndez del Cretácico Superior.

**Edad.-** Su edad está clasificada y controlada por su posición estratigráfica y su asociación faunística entre el Paleoceno y Eoceno.

**Ambiente de Depósito.-** El ambiente de depósito de esta formación es el flysch característico en zona de antefosa en mar abierto, con intercalaciones de flujos turbidíticos provenientes de las áreas de plataforma, que evolucionan al final del Maestrichtiano a brechas calcáreas de talud en las cercanías con el borde de la plataforma.

### 2.1.5 FORMACIÓN CHICONTEPEC (Tpae)

La Formación Chicontepec fue descrita por Dumble en 1918 y abarca desde el Paleoceno hasta el Eoceno Inferior.

**Distribución.-** La Formación Chicontepec está expuesta en la parte occidental de la mitad del sur de la Cuenca Tampico – Misantla, desde Tancanhuitz, S.L.P., hacia el sureste hasta cerca de Teziutlán, Puebla, formando una faja de unos 260 km de longitud por 30 km de ancho, paralela a los pliegues de la Sierra Madre Oriental.

En el subsuelo se le ha identificado al poniente de la Faja de Oro, en el extremo sur de ésta y en el Distrito de Poza Rica. En el sureste de México, se le conoce en la parte sur de la Cuenca de Macuspana, Tabasco y en el extremo norte del estado de Chiapas, de Pichucalco hacia el oriente.

**Litología.-** Se acepta, desde luego, la división en tres Formaciones: Superior, Medio e Inferior, que se describirán a continuación y por razones de la roca que aflora en nuestra área, se va a hacer una descripción de la primera o Chicontepec Inferior:

**Formación Chicontepec Inferior.-** Está constituida por una serie alternante de capas de areniscas calcáreas, lutitas y margas depositadas en aguas poco profundas, estos sedimentos representan el tipo llamado “Flysch” o turbiditas. En la parte inferior se encuentran capas de areniscas calcáreas de grano fino, de color gris oscuro, de 0.50 a

---

0.60 cm de espesor, que alternan con capas de lutitas calcáreas de 20 a 25 cm de espesor.

En algunas localidades se encuentran entre los estratos basales, capas lenticulares de conglomerado de 2 a 3 m de espesor formados por guijarros de calizas y de pedernal de 3 cm de diámetro. A medida que se asciende estratigráficamente, las capas de areniscas se adelgazan hasta tener el mismo espesor que las Lutitas.

La Formación Chicontepec Inferior es una facies arenosa equivalente en edad a la Formación Velasco, que representa la facies arcillo – margosa. Las tres subdivisiones de la Fm. Chicontepec, se identifican a base de microfósiles.

**Formación Chicontepec Medio.-** Está constituido por una serie de areniscas y Lutitas en alternancia. Las areniscas son de color gris, de grano medio, compactas, en capas de 20 cm a 1 m de espesor, ocasionalmente con material carbonoso (restos de plantas). Las lutitas son de color gris a gris azulada, duras y estratificadas en capas delgadas. Esta formación tiene un espesor que varía de 40 a 200 m.

**Formación Chicontepec Superior.** - La parte superior del grupo consta, en términos generales, de capas de areniscas de grano fino a medio, de colores gris y gris oscuro, de 5 a 10 cm de espesor, con impresiones de gusanos marinos; huellas de oleaje y restos de plantas. Alternan con estas areniscas, capas delgadas de margas – arenosas de color gris y de lutitas de color gris azulado.

**Espesor.-** El espesor de esta formación es muy irregular, reportándose con variaciones de 40 metros hasta más de 1,200 metros.

Los sedimentos de la Formación Chicontepec descansan, a veces en forma discordante, sobre la Formación Méndez del Cretácico Superior, y están cubiertos a su vez por sedimentos arcillosos de las Formaciones Aragón o Guayabal del Eoceno.

**Relaciones Estratigráficas.-** La Formación Velasco pertenece al Paleoceno, encontrándose subyaciendo a rocas de la Formación Chicontepec Medio, en ocasiones a la Formación Chicontepec Inferior de la que es equivalente en parte. Su contacto con estas rocas es gradual, Sobreyace concordantemente con rocas de la Formación Méndez del Cretácico Superior.

**Edad.-** El Grupo Chicontepec pertenece al Paleoceno y al Eoceno. Al Paleoceno corresponde la Formación Chicontepec Inferior equivalente a la Fm. Velasco y al Eoceno pertenecen las Formaciones Aragón o Guayabal del Eoceno.

**Ambiente de Depósito.-** Según los estudios sedimentológicos más recientes, ha habido algunas ideas nuevas para explicar el origen de la Fm. Chicontepec, que antes se consideraba sencillamente como de origen orogénico, esto es, procedente del producto de la erosión de los pliegues de la Sierra Madre Oriental.

---

Aunque este último criterio, continúa, hay estudios que indican que los sedimentos del Paleoceno están formados por turbiditas, que consisten de repeticiones de las secuencias de lutitas, limonitas, areniscas y ocasionalmente conglomerados (depósitos flysch).

Estos sedimentos afloran en la porción noroeste – suroeste de la Cuenca de Chicontepec y se extienden desde el sur de Poza Rica hasta un punto al noroeste de Tampico en bandas irregulares.

### **2.1.6 FORMACIÓN TLANCHINOL (Tmb)**

**Definición.-** Definida por Robin (1975), como una secuencia de derrames basálticos, localizados en la rancharía de Tlanchinol, en el estado de Hidalgo.

**Litología y espesor.-** Es una secuencia de derrames de composición basáltica y andesítica, de color pardo verdoso con partes rojizas, estructura compacta y textura fenerítica-vesicular, observándose plagioclasas, su espesor no pasa los 400 metros.

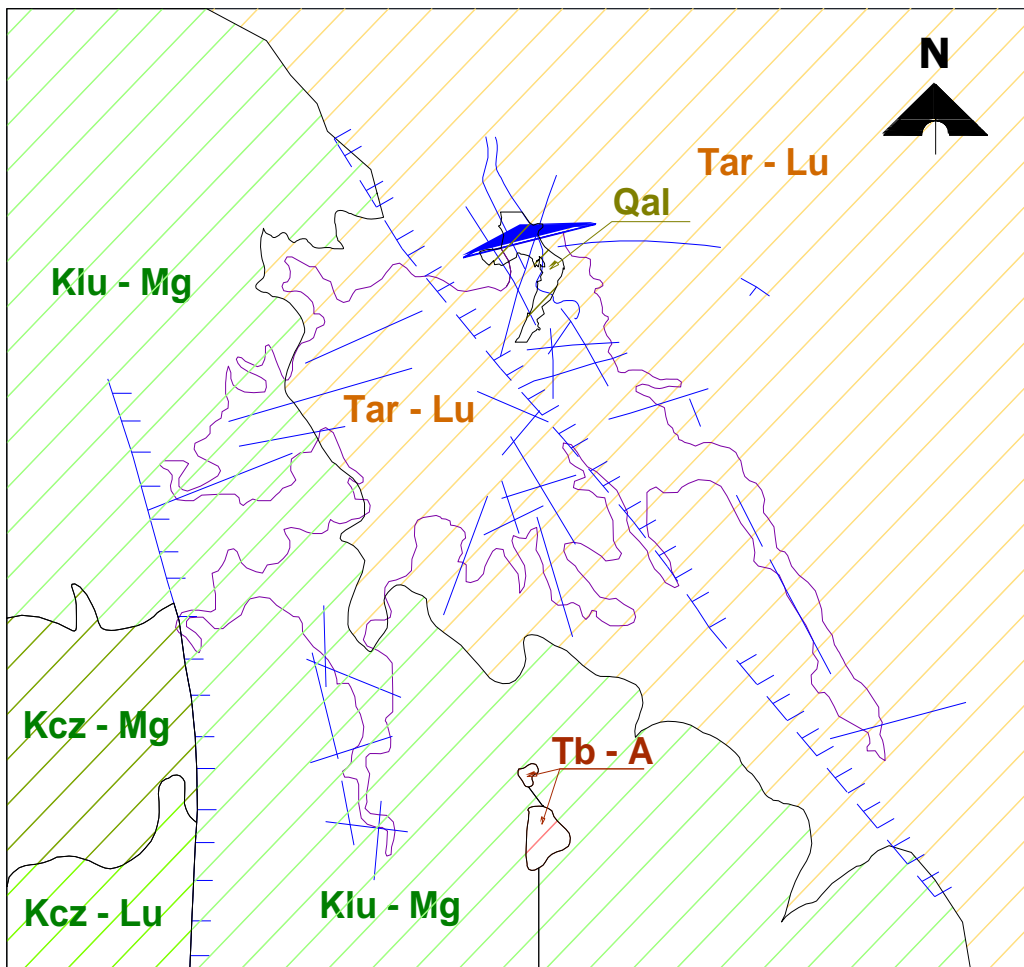
**Relaciones estratigráficas.-** Yacen discordantemente sobre las unidades sedimentarias tanto paleozoicas, mesozoicas y terciarias.

**Edad y correlación.-** Se le asigna una edad de  $7.10 \pm 0.3$  M.A. (Cantagrel y Robín, 1979), o sea del Plioceno y se correlaciona con la Formación San Cristóbal.

**Sedimentología.-** Está formada principalmente por derrames de lava y tiene poca cantidad asociada de material volcanoclástico

## **2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

La geología estructural es el estudio de la geometría de los cuerpos rocosos que conforman la Tierra, y en el sitio que se está estudiando se encuentra la deformación frágil en la cual se identificaron fallamientos normales, algunos con importantes componentes laterales, generados durante fases extensivas, pre – Laramílicas. La presencia de diques andesíticos también han sido considerados; Las estructuras pre – Laramílicas más notorias, están representadas por las fallas Cuatlimax, San Juanico, Xaltipa, Huacaltepec y Xala, con orientación principal N – S y N 50° W; mientras que otras, con diferente dirección son las fallas Aguatitla, Talol, La Mesa, Lindero, Huacaltepec I, Pimienta y Lontla, orientadas en dirección general NE – SW y NW – SE (Plano No. 1).



Plano No.1 Geología Estructural<sup>14</sup>

### 2.3 GEOLOGÍA DEL VASO

La zona que corresponde al vaso de la presa Tultitlán, tiene una forma dendrítica con ramas que parten hacia el Suroeste, Sur y Sureste a partir del eje de la cortina. Se encuentra conformada por rocas sedimentarias que van del Cretácico Superior al Terciario Inferior, a continuación se describe la geología de la zona del vaso (Plano No. 2).

La porción poniente del vaso está limitada por una falla de tipo normal que recibe el nombre de Falla Cuatlimax, tiene una orientación NW 7° SE, una pequeña rama del vaso corresponde al río Ateolca que se encuentra sobre el bloque levantado, en esta zona se encuentran calizas compactas bien estratificadas alternando con margas, las calizas son de color gris con tintes azules en fractura fresca y color crema anaranjado al intemperismo, las margas presentan diferentes contenidos de arcillas, el cual aumenta hacia la cima de la unidad.

<sup>14</sup> Plano 1. Geología Estructural



---

El resto de la porción poniente de la zona corresponde al bloque hundido, y está conformada por una serie de lutitas y margas, las lutitas son de color gris en fractura fresca y gris pardo al intemperismo, las margas son de color gris azulado en fractura fresca y gris claro al intemperismo, los estratos varían en espesor desde unos cuantos centímetros hasta un poco más del metro, corresponden a la Formación Méndez del Cretácico Superior.

La porción central y oriental del vaso está labrada en una secuencia rítmica de areniscas y Lutitas, que corresponden a la Formación Chicontepec del Terciario Temprano.

Las areniscas son de color amarillo a pardo en fractura fresca y color gris crema al intemperismo mientras que las lutitas son de color pardo en fractura fresca y crema al intemperismo. Los estratos de areniscas varían de espesor, desde 5 a 7 centímetros hasta 40 a 60 centímetros, el tamaño del grano de las areniscas varía de grueso a fino, en los estratos de mayor espesor se observa una degradación normal, es decir grano grueso en la base y grano fino en la cima del estrato, presentan estructuras primarias como calcos de margas, laminación cruzada, marcas sedimentarias.

Las lutitas interestratificadas también varían en espesor desde 5 a 20 centímetros, pero por lo general es menor al de las areniscas asociadas.

Dentro de la secuencia, se tienen niveles donde las areniscas y lutitas presentan espesores pequeños y en otros niveles se presentan espesores más gruesos. Las características litológicas de esta unidad, sugiere que la secuencia corresponde a depósitos de turbiditas más que a una secuencia tipo Flysch.

Desde el punto de vista estructural, la región presenta pliegues suaves muy abiertos, se tienen grandes fallas regionales de tipo normal y sistemas de fracturas. A nivel del vaso puede reconocerse una estructura anticlinal amplia y suave con inclinaciones de los flanco de 14° a 23° en las areniscas y lutitas de la formación Chicontepec. La porción central y oriental del vaso descansa sobre el flanco occidental de la estructura descrita.

En la región cercana al vaso se tienen dos grandes fallas, una se encuentra hacia el NW del vaso y recibe el nombre de Falla Ahuatitla, la otra se encuentra al SE del vaso y se le conoce como Falla Taloi, en este trabajo se infiere que ambas fallas corresponden a una sola, la cual continua a través de la zona central del vaso.

La inferencia se basa en criterios geomorfológicos como son continuidad de escarpes, lineamiento de arroyos y ríos, datos estructurales con orientaciones diferentes a la tendencia estructural regional, etc. La verificación de dicha continuidad no fue posible observar en campo debido a que la traza de la falla se encuentra cubierta por aluviones y depósitos de talud, por lo que se sugiere un trabajo más detallado con exploración directa mediante zanjas, pozos y sondeos o indirecta mediante estudios geofísicos.

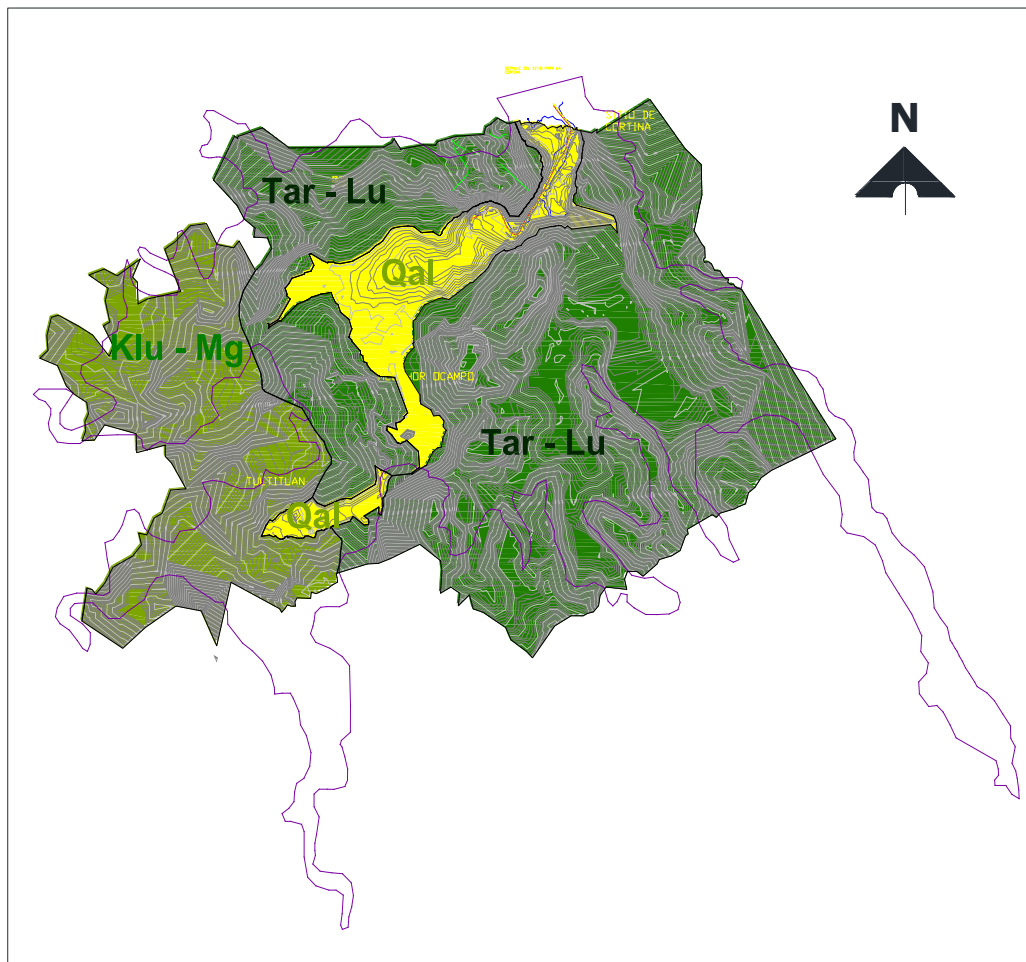
La zona del vaso se presenta con fracturas, la medición detallada de ellas permite definir dos familias de fracturas principales, las cuales definen un sistema de fracturamiento conjugado (Ver Plano No. 2)



La primer familia presenta un rumbo general de NW 35° SE con echados de 80° a 90° al NE, la segunda familia tiene un rumbo de NE 70° SW con echados de 75° a 90° al SE, las fracturas más importantes se relacionen de forma directa con el patrón de drenaje, presentándose cambios bruscos en las direcciones de las corrientes, no se pudo comprobar si existen desplazamientos de bloques a lo largo de estas estructuras por estar cubiertas por materiales de acarreo.

En otras partes del vaso en las paredes de escarpes, se observa el mismo patrón de fracturamiento; las fracturas se presentan abiertas, separadas desde 2 milímetros hasta 2 centímetros, excepcionalmente se tienen hasta 4 centímetros de separación, sin embargo se encuentran rellenas de minerales arcillosos y con menos frecuencia por calcita.

La alternancia de lutitas, con diferentes materiales como las areniscas, margas o calizas permiten deducir que no se tendrán grandes pérdidas de agua durante el almacenamiento de la presa, ya que los minerales arcillosos funcionan como materiales impermeables.



Plano No.2 Geología del Vaso<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Plano 2. Geología del Vaso

---

## 2.4 GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA

### 2.4.1 GEOLOGÍA DE LA MARGEN IZQUIERDA

Las rocas más antiguas que afloran en el área de estudio son areniscas y lutitas del Terciario la cuales se encuentran en ambas márgenes del río Tultitlán, en las partes altas de aguas arriba y aguas abajo donde se pretende construir la Presa.

En las partes altas de la margen izquierda, topográficamente se encuentran rocas sedimentarias, la pendiente es moderada a fuerte y se estima que el espesor de éstas sea bastante potente, en las partes bajas cercanas a cauce del río Tultitlán, se encuentra material de aluvión como terrazas de inundación y acarreo de río.

Las rocas sedimentarias areniscas y lutitas, presentan una tonalidad beige claro amarillento, en donde se pueden apreciar granos de cuarzo y algunos feldespatos, estas rocas se encuentran en contacto con el aluvión del arroyo al cual subyacen en las partes bajas de ambas márgenes.



Foto 4 y Foto 5 Fotografías del cauce del río Tultitlán, dónde se piensa colocar la cortina de la presa.

### 2.4.2 GEOLOGÍA DEL CAUCE

Las rocas sedimentarias de ambas márgenes se encuentran en contacto, mientras que en el cauce subyace material de aluvión.

El aluvión son las rocas más jóvenes que se ubican en el área de estudio, éste aluvión presenta fragmentos de algunos tipos de rocas como son las sedimentarias que están representadas periódicamente por areniscas y lutitas.

Las rocas que conforman el aluvión presentan diferentes grados de intemperismo, debido a que algunos de estos materiales están subredondeados a redondeados y otros son de subángulosos a angulosos.

El material de aluvión o depósitos de acarreo, se encuentra rellenando las partes bajas de las cañadas donde se concentran las corrientes de agua superficiales del área.

---

### 2.4.3 GEOLOGÍA DE LA MARGEN DERECHA

Los aluviones del cauce, se encuentran en contacto con la margen derecha de la presa, que consta en las partes altas de una roca sedimentaria, la cual tiene una pendiente más suave que la margen izquierda, las partes bajas, en el cauce, se presentan horizontes de aluvión de tipo arenoso con boleos (Plano No. 2).

La roca sedimentaria de areniscas – lutitas que se encuentra en ésta margen de la presa, megascópicamente se clasifica como una roca de color pardo claro amarillento en muestras de mano, con gran cantidad de gránulos de cuarzo y algunos feldespatos. Este material se encuentra con intemperismo superficial evidente y fracturado.

Esta roca se localiza en las partes medias y superiores de la boquilla a unos 30 m de altura con respecto al aluvión del cauce y abarca una extensión considerable sobre la margen derecha del río.



**Foto 6 y Foto 7. Vista del río Tultitlán desde la margen izquierda y vista desde la parte superior de la margen derecha donde se tiene localizado el trazo de la cortina.**



---

## 3 HIDROLOGÍA

### 3.1 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DE LA CUENCA

Como unidad básica de estudio se definen las características geomorfológicas más importantes de la cuenca superficial del cauce Tultitlán.

La cuenca del cauce se extiende al sur desde la cabecera municipal de Tlanchinol, hasta el poblado de San Felipe Orizatlán totalizando  $97'117,368.3250 \text{ m}^2$ , ( $97.117 \text{ km}^2$ ).

En su cauce principal se genera una corriente con un escurrimiento permanente con pocas corrientes tributarias, siendo la mayoría perennes e intermitentes, por lo que la cuenca se clasifica como exorreica, descargando justo a las afueras del poblado San Felipe de Orizatlán al Río San Pedro; por lo que se trata de una subcuenca de este último.

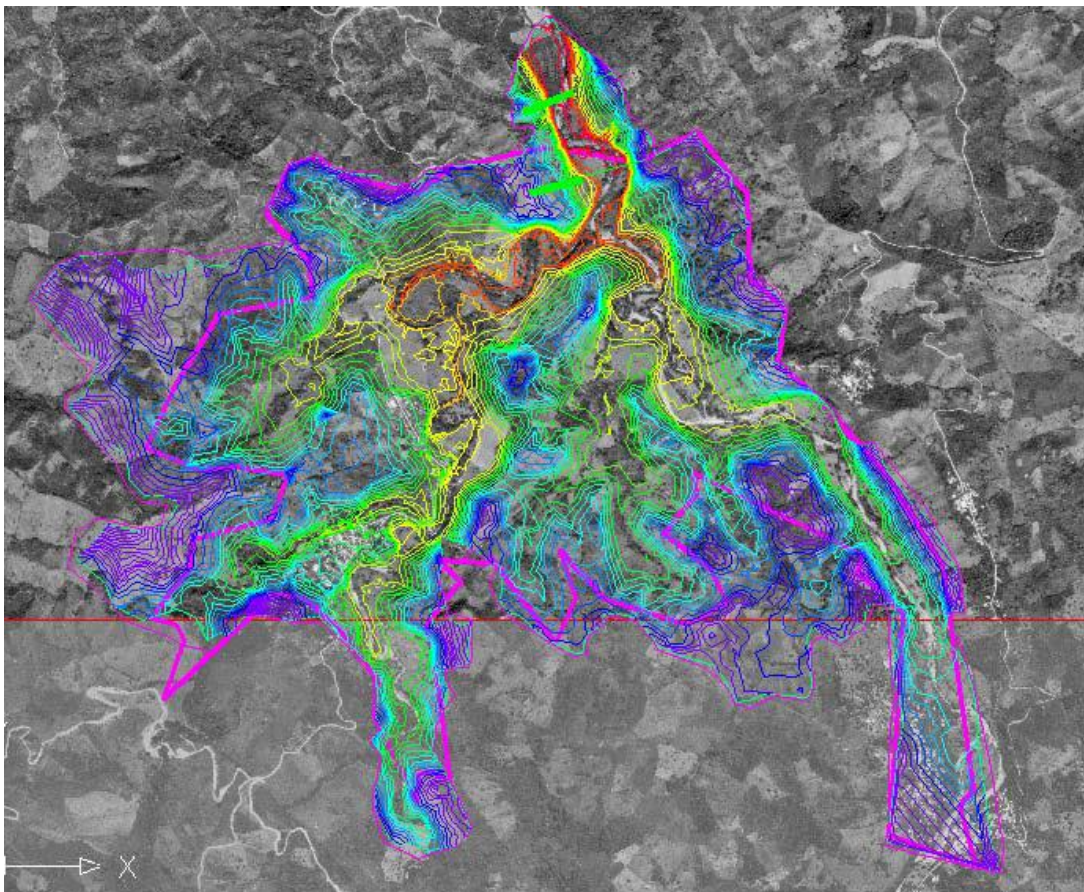


Figura 13 Vaso de almacenamiento de la presa Tultitlán<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> Fuente: Comisión Nacional del Agua

De acuerdo al análisis realizado por CONAGUA, se determinaron los siguientes datos de la cuenca para la zona de estudio y se resume en lo siguiente:

L =21,000 m	Longitud del cauce principal
S =0.01931	Pendiente del cauce
de =2.654 horas	Duración en exceso
tr =1.056 horas	Tiempo de retraso
tp =2.383 horas	Tiempo pico
tb =6.363 horas	Tiempo base
Ac =97.117 km <sup>2</sup>	Área de la cuenca
qp =8.476 m <sup>3</sup> /s/mm	Gasto pico

En la figura 14, se citan los dos posibles ejes de la cortina, el sitio considerado A es la ubicación preliminar seleccionada originalmente por la CONAGUA, mientras que la opción B, se ubica al norte del trazo original.

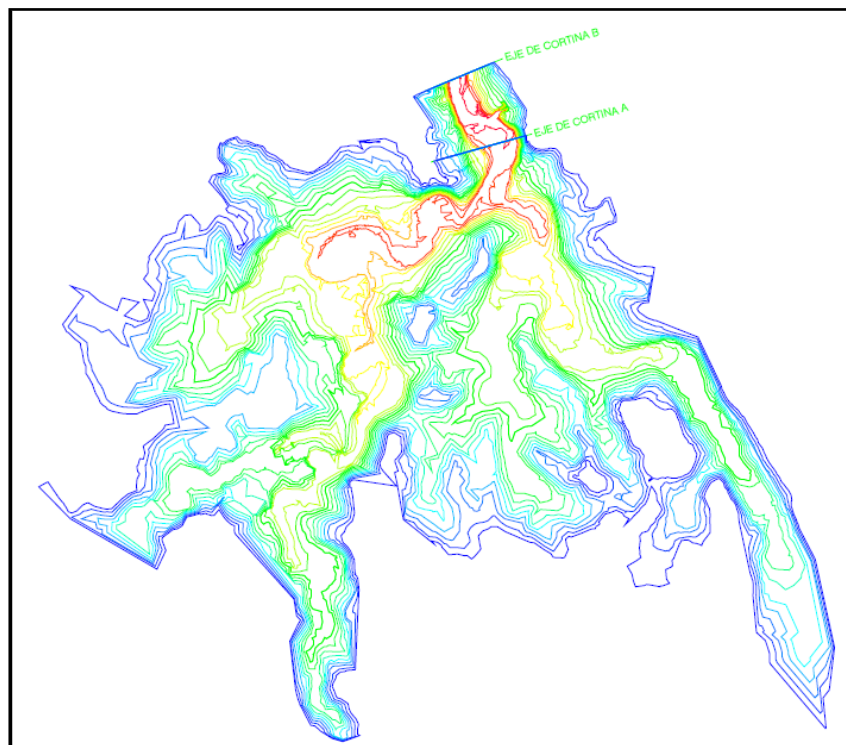


Figura 14 Opciones de ubicación de los ejes de cortina A y B.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Fuente: Comisión Nacional del Agua

### 3.2 ESTUDIO DE DEMANDAS DE AGUA.

A continuación se determina la demanda de consumo de agua potable al año, la cual se realizó de la siguiente manera:

#### Población de proyecto

Las comunidades de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán, en conjunto considerando el segundo Censo de Población y Vivienda del 2005; suman 164,523 habitantes, asentadas en 350 comunidades, siendo las mayores cabeceras municipales (Tabla 1).

Huejutla de Reyes	115,786	70.38%
Jaltocán	10,265	6.24%
San Felipe Orizatlán	38,472	23.38%
Total	164,523	100.00%

Tabla 1 Población de proyecto al 2005<sup>18</sup>

Las poblaciones de proyecto que distinguen el tipo de asentamiento de la región son agrupaciones en su mayoría entre 100 y 500 habitantes, impactando un 28.41% de la población total, el 2.92% de la población vive en asentamiento menores de 99 habitantes, mientras que el 68.66 % lo hace en grupos humanos mayores de 500 habitantes.

Se registran en el censo de 2005 un conjunto de 33,727 hogares en los tres municipios, lo que muestra una densidad por hogar de 4.87 personas.

En general la cobertura de electricidad es del 95.76% en el conjunto de la población de los tres municipios, mientras que en lo referente a drenaje, el censo del INEGI reporta para el conjunto de los tres municipios por lo que el 63.32% de la población tiene resuelta la forma de disponer de drenaje, 43.35% tiene conexión directa a la red municipal, mientras que el 17.51% lo deposita en una fosa séptica; implicando que el 2.24% lo descarga a cuerpos de agua cercanos y 33.53% no dispone de drenaje.

En tanto para la cobertura de suministro de agua potable, el 76.44% de la población tiene acceso, siendo al 57.06% de tan sólo a nivel de toma domiciliaria, el restante 19.37% reporta en el censo poseer una infraestructura dentro de sus domicilios; 17.11% se suministra mediante pozo, 1.86% de una llave pública, 0.88% se suministra de pipas.

Por tanto la población estimada en 2005 con acceso al suministro de agua potable asciende a 125,760 personas, en contraparte 38,763 personas carecen de este recurso.

Considerando las condiciones de valor de mínima dotación de 150 litro/hora/día (l/h/día) de suministro de agua potable, se consideran necesarios 17,413 m<sup>3</sup> de agua al día,

<sup>18</sup> Fuente: INEGI, Segundo Censo de Población y Vivienda del 2005.

considerando el volumen déficit de 7,625 m<sup>3</sup>/día, deberán explotarse diariamente 24,678 m<sup>3</sup> por día de agua para las necesidades municipales (Tabla 2).

Municipio	Población	Población servida	Dotación mínima	Volumen usado	Déficit	Volumen necesario
	habitantes	habitantes	l/h/día	m3/día	m3/día	m3/día
Huejutla de Reyes	115,786	77,694	150	11,654	5,714	17,368
Jaltocán	10,265	8,738	150	1,311	229	1,540
San Felipe Orizatlán	38,472	29,658	150	4,449	1,322	5,771
Tres municipios	164,523	116,090	150	17,413	7,265	24,678

**Tabla 2 Necesidades municipales de agua potable para la población considerada en el año 2005.**

Lo que representa un volumen anual de 9'007,634 m<sup>3</sup> por año de agua potable para la población considerada en 2005.

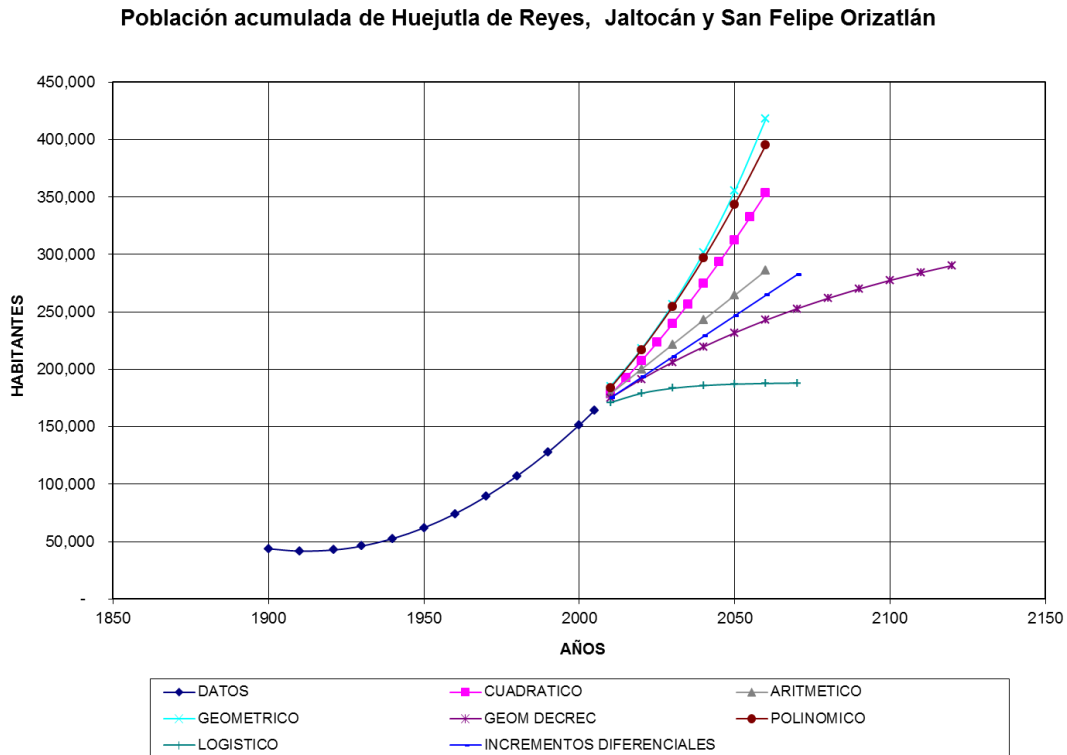
### 3.2.1 MODELOS PARA ESTIMACIÓN DE POBLACIÓN

Para estimar las tendencias de la población futura, se realizaron diferentes modelos matemáticos con los cuales se obtiene la estimación de la población para encontrar el valor poblacional adecuado al proyecto.

Los modelos matemáticos utilizados son:

- Modelo Geométrico,
- Modelo Logístico,
- Modelo Cuadrático,
- Modelo Geométrico Decreciente,
- Modelo Incrementos Diferenciales,
- Modelo Aritmético y
- Modelo Polinómico.

Bajo la aplicación de estos métodos se tiene la Figura No. 15:



**Figura 15 Grafica de Población acumulada de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán.**

Considerando la media entre los métodos, se selecciona el modelo Aritmético, donde se proporciona el siguiente rango de crecimiento poblacional (Tabla 3) para las siguientes décadas.

AÑO	POBLACIÓN
2005	164,450
2010	178,750
2020	200,200
2030	221,650
2040	243,100
2050	264,550
2060	286,000

**Tabla 3 Población seleccionada de Proyecto**

Como parte de las demandas de Agua se realizó un levantamiento de datos en campo, a través de la aplicación de cuestionarios en las poblaciones de los municipios de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán, para determinar hábitos de consumo y costos implícitos del agua. Donde se pretende describir las necesidades de abastecimiento de la población del proyecto.

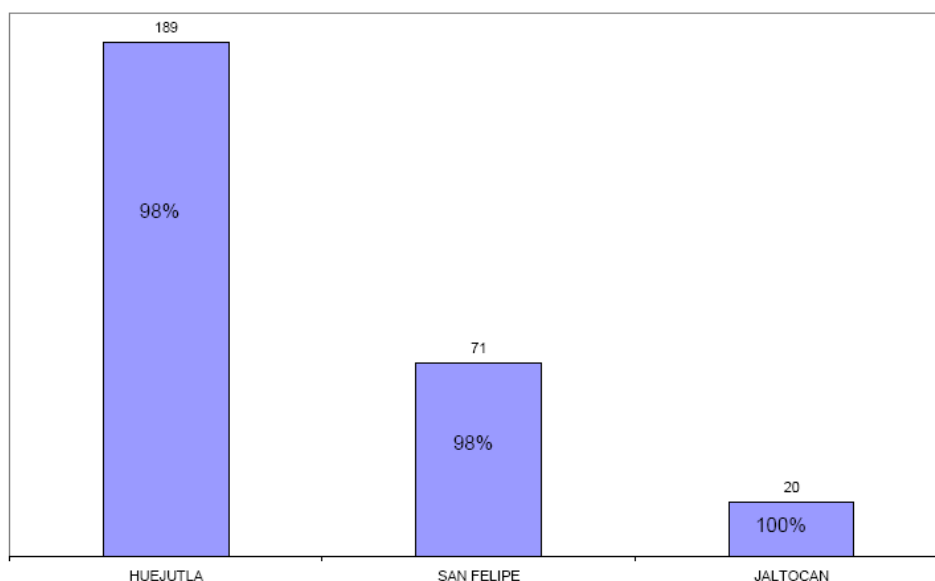
Para el análisis de los datos se considera una estratificación de acuerdo a los siguientes grupos con diferentes clasificaciones en el servicio:



- 1) Población sin servicio de agua potable;
- 2) Población con servicio de agua potable en forma de tandeo;
- 3) Con servicio de Agua potable continuo.

### Información de los usuarios con servicio de agua potable de la red

De acuerdo a los datos recabados con la población el 98% de la población de Huejutla declara tener agua potable de la red municipal, en tanto que en Jaltocán el 100% dice tener tal servicio, para el caso de San Felipe Orizatlán el 98% cuenta con servicio de red de agua potable mientras que su restante 2% dice tener pozo (Figura No. 16).



**Figura 16** Porcentaje de la población que declara tener servicio de agua potable de la red municipal

Ninguno de los municipios en estudio cuenta con medidores de agua, por lo que se le indicó a los encuestadores conminaran a los usuarios a estimar su consumo mensual, con base en los dispositivos de almacenamiento con los que cuentan, así como la frecuencia y la cantidad con los que lo surten. En acorde a este dato se puede tener un estimado del consumo de agua potable mensual por vivienda calculado por el usuario, el consumo promedio se indica en la Tabla 4.

Municipio	Consumo mensual promedio en (m <sup>3</sup> /mes)
Huejutla	2.21
San Felipe Orizatlán	2.32
Jaltocán	1.64

**Tabla 4** Consumo mensual promedio en las viviendas

A partir de la información del consumo de agua mensual se calculó la dotación por habitante en litro/habitante/día (l/hab./día) el cual se indica en la Tabla 5.

Municipio	Dotación (l/hab./día)
Huejutla	14.34
San Felipe Orizatlán	18.31
Jaltocán	10.36

**Tabla 5 Dotación por habitante calculada a partir de la información de los usuarios de su consumo mensual**

En lo referente a las cuotas de agua los municipios de Huejutla y San Felipe Orizatlán cobran una cuota fija por el servicio de agua, en este último existe un 36% de los encuestados que indica no tener un cobro por el servicio de agua. En tanto, que en el municipio de Jaltocán los usuarios hacen referencia de la no existencia de cobro en forma directa del servicio de agua potable por parte de las autoridades municipales.

Solo en el municipio de Huejutla el 16% de los usuarios complementan el suministro de agua con otro método, el promedio de días que tienen servicio de agua potable por la red municipal es de 2 días, razón por la cual se infiere se ven en la necesidad de adquirir por otro medio el faltante de su consumo mensual. Los principales métodos para complementar el servicio de agua se enlistan en la siguiente Tabla 6:

Métodos para suministrar agua	Proporción
Compra pipa almacena sólo en cisterna	29%
Compra pipa almacena en cisterna y tambos u otros recipientes	3%
Compra pipa almacena en tambos u otros recipientes	10%
Compra pipa almacena en tambos u otros recipientes y acarrea	6%
Sólo acarreo de agua	51%

**Tabla 6 Métodos utilizados por la población para complementar el suministro de agua potable**

El promedio de las cisternas para el almacenamiento de agua adquirida mediante pipas es de 1 a 2 m<sup>3</sup>, estas personas adquieren aproximadamente un metro cúbico mensual, todos con pipas particulares.

## Consumo

Considerando los resultados de la encuesta la dotación media resultante es de 20 l/hab./día, valor que arroja un gasto medio diario de 3400 m<sup>3</sup>/día a razón de 170,000 habitantes a 2008, consumo que no cumple el valor mínimo de 150 l/hab./día; por lo que se propone una dotación de proyecto.

La dotación de proyecto depende del clima de la región y del tipo de clase socio económico de la población, de la presencia de industria y otro tipo de servicio o demanda.

---

## **Demanda por consumo humano**

Considerando el clima medio de la región debido a la temperatura media de 23.8° C, se clasifica la región como cálido; de donde los valores de dotación resultan 400 l/hab./día para clase socio económico residencial, 230 l/hab./día para clase media, 185 l/hab./día para clase popular.

El estado actual de necesidad al año de 2008 que muestra un valor de consumo necesario actualmente, es de poco menos de 38,000 m<sup>3</sup> al día de agua, de los tres municipios.

Mientras que para la consideración de comparar con la actual situación se presenta un volumen de agua para los tres municipios en 17,413 m<sup>3</sup>/día, resultando una demanda próxima a los 24,678 m<sup>3</sup> al día y para las condiciones futuras se presenta la posible demanda de agua por lo que para un consumo doméstico, resulta en 63,644 m<sup>3</sup> de agua por día.

Considerando la relación de población contra la dotación el valor promedio de dotación resulta en 222 l/h/d, valor ubicado entre la dotación media a popular.

Considerando que al incrementar la oferta de agua en la zona se incrementará posiblemente la oferta de servicios y de actividad industrial, se considera estratégico para la región contar con un valor de suministro probadamente suficiente; por lo que, se valúa la demanda futura con un valor de dotación de 350 l/h/d para una población de 286,000 habitantes, lo que resulta en 100,100 m<sup>3</sup> /día de demanda de agua.

La demanda anual de agua para el desarrollo humano considerando servicios es de 36,536,500 m<sup>3</sup> de agua al año lo que equivale a 1.16 m<sup>3</sup> /s de gasto medio diario.

---

### **3.3 SIMULACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL VASO.**

Las presas se construyen para embalsar el agua en los períodos que sobra, para utilizarla cuando escasea, estos períodos pueden ser estacionales, anuales o más largos. Las presas de almacenamiento se clasifican de acuerdo con el objeto del almacenamiento, como para abastecimiento de agua, acuacultura, generación de energía hidroeléctrica, irrigación, etc.

Para el caso de este proyecto, en donde se va construir la Presa Tultitlán de acuerdo al objetivo general, es garantizar las crecientes demandas de agua para consumo doméstico de las comunidades, y utilizarla también para sistema de riego el cual es desviar la corriente natural hacia un vaso de almacenamiento fuera del cauce de la corriente para usos municipales e industriales o para la combinación de los mismos.

### **3.4 VASO DE ALMACENAMIENTO.**

Un vaso de almacenamiento sirve para regular los escurrimientos de un río, es decir, para almacenar el volumen de agua que escurre en exceso en las temporadas de lluvia para posteriormente usarlo en época de sequía cuando los escurrimientos son escasos.

Un vaso de almacenamiento puede tener uno o varios de los siguientes propósitos:

- a) Irrigación
- b) generación de energía eléctrica
- c) Control de avenidas
- d) Abastecimiento de agua potable
- e) Navegación
- f) Acuacultura
- g) Recreación
- h) Retención de sedimentos.

En la siguiente figura se muestran los principales componentes que lleva un vaso de almacenamiento, (Figura 17):

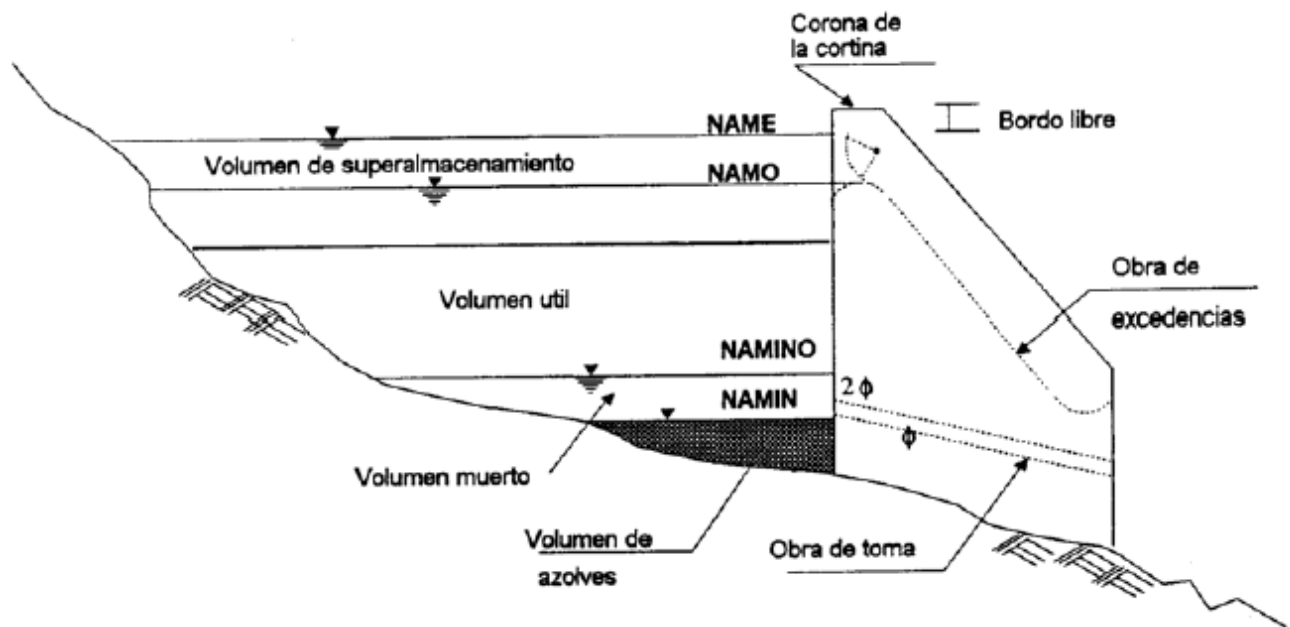


Figura 17 Principales niveles y volúmenes en el vaso de un almacenamiento<sup>19</sup>

Para el análisis de simulación del vaso de la presa Tultitlán, se requieren los siguientes datos y que se muestran en la Tabla 7:

- Evaporación neta
- Volumen de escurrimiento
- Demandas requeridas por la población
- Precipitación
- Número de días al mes
- Curva Elevaciones- Volúmenes
- Curva Elevaciones- Áreas
- Elevación al NAMO
- Elevación al NAMIN

<sup>19</sup> Fuente: Comisión Nacional del Agua



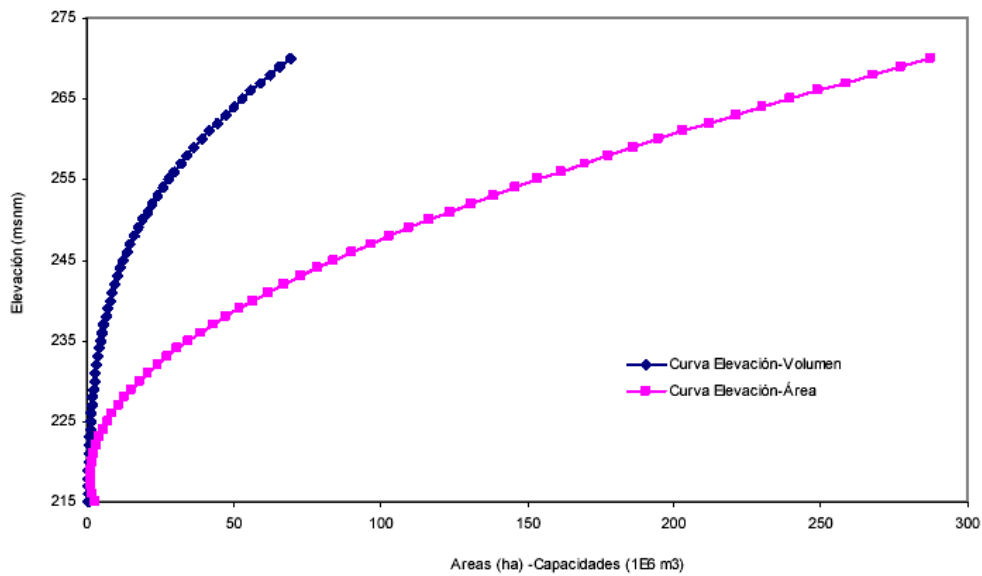
Mes	No.de días por mes	Evaporación neta (m)	Volumen de escurrimiento (1E6 m <sup>3</sup> )	Demandas (1E6 m <sup>3</sup> )	hpe (mm)
Enero	31	0.056	4.07	7.29	0.082
Febrero	28	0.066	2.60	7.00	0.083
Marzo	31	0.098	2.56	9.25	0.089
Abril	30	0.116	3.21	10.72	0.109
Mayo	31	0.129	4.66	13.44	0.166
Junio	30	0.122	7.94	13.24	0.541
Julio	31	0.110	5.31	12.99	0.471
Agosto	31	0.114	7.61	12.84	0.489
Septiembre	30	0.098	23.86	11.48	0.704
Octubre	31	0.081	21.73	10.15	0.399
Noviembre	30	0.062	8.30	8.20	0.162
Diciembre	31	0.052	7.69	7.41	0.104

Tabla 7 Resumen de datos para simular el vaso.

Elevación (msnm)	Areas (ha)	Capacidades (1E6 m <sup>3</sup> )
215	2.612	0.345
216	1.983	0.403
217	1.590	0.469
218	1.434	0.544
219	1.514	0.630
220	1.830	0.727
221	2.383	0.838
222	3.172	0.962
223	4.196	1.103
224	5.456	1.260
225	6.950	1.437
226	8.678	1.634
227	10.640	1.855
228	12.833	2.100
229	15.258	2.371
230	17.913	2.672
231	20.796	3.005
232	23.907	3.371
233	27.244	3.774
234	30.806	4.216
235	34.590	4.700
236	38.595	5.229
237	42.820	5.805
238	47.261	6.432
239	51.918	7.112
240	56.788	7.849
241	61.868	8.646
242	67.156	9.505
243	72.651	10.431

Elevación (msnm)	Areas (ha)	Capacidades (1E6 m <sup>3</sup> )
215	0.000	344840.924
216	0.000	402551.593
217	0.000	468612.766
218	0.000	544021.250
219	0.000	629862.541
220	0.000	727314.893
221	0.000	837653.138
222	0.000	962252.174
223	0.000	1102590.085
224	0.000	1260250.817
225	0.000	1436926.355
226	0.000	1634418.330
227	0.000	1854639.004
228	0.000	2099611.575
229	0.000	2371469.737
230	0.000	2672456.445
231	0.000	3004921.850
232	0.000	3371320.335
233	0.000	3774206.639
234	0.000	4216231.027
235	0.000	4700133.476
236	0.000	5228736.877
237	0.000	5804939.232
238	0.000	6431704.849
239	0.000	7112054.551
240	0.000	7849054.915
241	0.000	8645806.563

Tabla 8 Resumen de datos para obtener la curva elevaciones-áreas volúmenes.



**Figura 18 Curva Elevaciones-áreas-volumenes del vaso de almacenamiento, Tultitlán.**

Elevaciones requeridas para la simulación del vaso (Tablas 8):

Elevación al NAMO: 260.196 msnm

Volumen al NAMO: 39.519E6 m<sup>3</sup>

Elevación al NAMIN: 239.331 msnm

Volumen al NAME: 7.355E6 m<sup>3</sup>

La simulación del vaso se llevó a cabo con los datos que se obtuvieron en el punto anterior (Tabla 9):

Mes	Volumen de escurrimiento en la cuenca (1E6 m <sup>3</sup> )	Volumen de Evaporación neta (1E6 m <sup>3</sup> )	Demanda surtida (1E6 m <sup>3</sup> )	Deficit (1E6 m <sup>3</sup> )	Derrames (1E6 m <sup>3</sup> )	Volumen en el vaso V <sub>t+1</sub> (1E6 m <sup>3</sup> )
Enero	4.070	10.905	5.040	0.000	4.093	39.519
Febrero	2.600	12.692	4.970	0.000	0.918	39.519
Marzo	2.560	18.189	7.000	0.000	0.000	33.390
Abril	3.210	18.849	8.540	0.000	0.000	26.907
Mayo	4.660	19.106	11.190	0.000	0.000	25.872
Junio	7.940	17.028	11.060	0.000	41.729	39.519
Julio	5.310	20.557	10.740	0.000	61.941	39.519
Agosto	7.610	21.802	10.590	0.000	68.758	39.519
Septiembre	23.860	21.534	9.300	0.000	147.718	39.519
Octubre	21.730	17.709	7.900	0.000	83.332	39.519
Noviembre	8.300	12.415	6.020	0.000	22.385	39.519
Diciembre	7.690	10.434	5.160	0.000	12.904	39.519

**Tabla 9 Simulación de vaso, considerando un gasto de extracción para agua potable de 1.16 m<sup>3</sup>/s.**

En la simulación del vaso que se llevó a cabo por meses durante un año y con las condiciones actuales consideradas para la obtención de las demandas para agua potable con un gasto de extracción de 1.16 m<sup>3</sup>/seg, los meses de enero, febrero y junio a diciembre se presentan derrames, por lo que la extracción en la presa se puede incrementar, para ello será necesario, calcular nuevamente la simulación para dicho incremento (Tabla 9).

Mes	Volumen de escurrimiento en la cuenca (1E6 m <sup>3</sup> )	Volumen de Evaporación neta (1E6 m <sup>3</sup> )	Demanda surtida (1E6 m <sup>3</sup> )	Deficit (1E6 m <sup>3</sup> )	Derrames (1E6 m <sup>3</sup> )	Volumen en el vaso V <sub>t+1</sub> (1E6 m <sup>3</sup> )
Enero	4.0700	10.6861	7.2900	0.0000	1.7414	39.5193
Febrero	2.6000	12.8409	7.0000	0.0000	0.0000	38.4463
Marzo	2.5600	17.4171	9.2500	0.0000	0.0000	30.1389
Abril	3.2100	16.8698	10.7200	0.0000	0.0000	21.5964
Mayo	4.6600	15.2386	13.4400	0.0000	0.0000	17.1989
Junio	7.9400	11.5346	13.2400	0.0000	12.0039	39.5193
Julio	5.3100	20.1038	12.9900	0.0000	58.2057	39.5193
Agosto	7.6100	21.3459	12.8400	0.0000	65.0056	39.5193
Septiembre	23.8600	21.2074	11.4800	0.0000	143.5199	39.5193
Octubre	21.7300	17.4285	10.1500	0.0000	79.9815	39.5193
Noviembre	8.3000	12.1873	8.2000	0.0000	19.8355	39.5193
Diciembre	7.6900	10.2374	7.4100	0.0000	10.4584	39.5193

**Tabla 10 Simulación de vaso, considerando un gasto de extracción para agua potable de 2.0 m<sup>3</sup>/s.**

Se realizó nuevamente la simulación de vaso, durante un año y con las condiciones para la obtención de las demandas, para agua potable se incrementó de 1.16 a 2 m<sup>3</sup>/s, constante en cada mes; además está considerada la extracción para riego, presentando nuevamente en la corrida de derrames (Tabla 10).

### 3.5 TRÁNSITO DE AVENIDAS EN VASOS

Se llama avenida al escurrimiento generado por tormentas que provocan gastos mayores a los de diseño en un aprovechamiento hidráulico.

Algunas de las principales aplicaciones de Tránsito de Avenidas en vasos son:

- a) Conocer la evolución de los niveles en el vaso y de los gastos de salida por la obra de excedencias para saber si la política de operación de las compuertas del vertedor es adecuada y así, al presentarse una avenida, para que no se ponga en riesgo la presa ni la infraestructura existente aguas abajo.
- b) Dimensionar la obra de excedencias.
- c) Fijar el NAME y las dimensiones de las obras de desvío y ataguías.

---

## 3.6 OBRAS DE EXCEDENCIAS

Los vertedores de cimacio consisten de una cresta de control de pared gruesa, cuyo perfil tiene aproximadamente la forma de la superficie inferior de una lámina ventilada que vierte libremente sobre la cresta; esto permite alcanzar un mejor coeficiente de descarga y mantener la estabilidad estructural a través del paso del concreto o mampostería utilizado en el cuerpo de la obra.

Para conducir el agua hasta el vertedor suele necesitarse un canal de acceso corto, casi siempre horizontal, que capte al agua del vaso de almacenamiento y la conduzca hasta la cresta del cimacio con velocidad pequeña, de distribución transversal uniforme para eliminar zonas muertas, y en dirección perpendicular a la cresta en cada punto. La velocidad del agua es el canal de acceso y la profundidad de este respecto de la cresta vertedora tienen influencia importante en la descarga y en el diseño del perfil del cimacio.

### 3.6.1 CIMACIO DE CRESTA LIBRE

El caudal que vierte sobre un cimacio y la carga sobre la cresta son, en general, variables, según la magnitud de los excedentes que se desea desalojar del almacenamiento. Sin embargo, es evidente que el perfil del cimacio puede adaptarse de manera óptima a la lámina vertiente que corresponde a un solo caudal o carga y funciona con menos o mayor eficiencia en otras condiciones de operación.

Es motivo de análisis es establecer que caudal o condición de descarga debe elegirse como la "condición del diseño", del perfil del cimacio. Con frecuencia dicha condición se elige de manera que corresponda a la del gasto o carga máxima que se espera descargue el vertedor; en otros casos puede ser una intermedia, pero en la elección final debe tratar de lograrse el mejor funcionamiento de la obra para cualquier condición de operación.

### 3.6.2 CAPACIDAD DE DESCARGA

La capacidad de descarga de un cimacio, para la condición de diseño o para cualquier otra condición de operación, es función de la longitud efectiva de la cresta vertedora, de la carga real con que opere, de la geometría del perfil y de las dimensiones y profundidad del canal de acceso.

En el caso de vertido libre, con o sin pilas intermedias, la ecuación para el cálculo de la capacidad de descarga es la general de vertedores:

$$Q = C L_e H^{(3/2)}$$

Donde:

C	coeficiente de descarga, en $m^{1/2}/s$
H	carga total de operación, incluyendo carga de velocidad de llegada, en m
$L_e$	longitud efectiva de cresta, en m
Q	gasto de descarga, en $m^3/s$

### 3.6.3 COEFICIENTE DE DESCARGA

El coeficiente C de la ecuación depende principalmente de la carga H con que opera el vertedor en un momento dado, de la carga  $H_o$  elegida para diseñar el perfil del cimacio, de la profundidad, del canal de acceso, del talud de la cara aguas arriba y del grado de ahogamiento de la descarga.

La elevación relativa del piso y superficie libre, aguas abajo del cimacio tienen también efectos importantes sobre las condiciones en que se produce el vertido; van desde la permanencia del flujo supercrítico sin ningún efecto hasta la formación de salto hidráulico, ahogamiento de la descarga y grandes reducciones del coeficiente C (Tabla 11).

L = 40 m Longitud efectiva de cresta del vertedor  
 P = 45.196 m Paramento  
 y = 46.9575 m Tirante de agua  
 A = 1878.3 m<sup>2</sup> Area

$H_o =$ (m)	P / $H_o$	C (m <sup>1/2</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	h <sub>a</sub> (m)	$H_o = h_o + h_a$ (m)
7.0000	6.457	2.18	1614.967	0.860	0.038	1.7992
1.7992	25.120	2.18	210.440	0.112	0.001	1.7621
1.7621	25.648	2.18	203.975	0.109	0.001	1.7621
1.7621	25.649	2.18	203.968	0.109	0.001	1.7621

Tabla 11 Coeficiente de descarga

### 3.6.4 ESTIMACIÓN DEL BORDO LIBRE

Se llama bordo libre a la parte de la cortina comprendida entre el nivel máximo de las aguas y la corona de la presa, determinando de tal manera que impida desbordamientos debidos al oleaje.

El Tetch máximo determinado de forma perpendicular al eje del vaso en el sitio B, es en dirección 23° al Noroeste, con una longitud máxima de 1,785 m lo que provoca la máxima altura de ola (Figura 19. Tetch máximo).



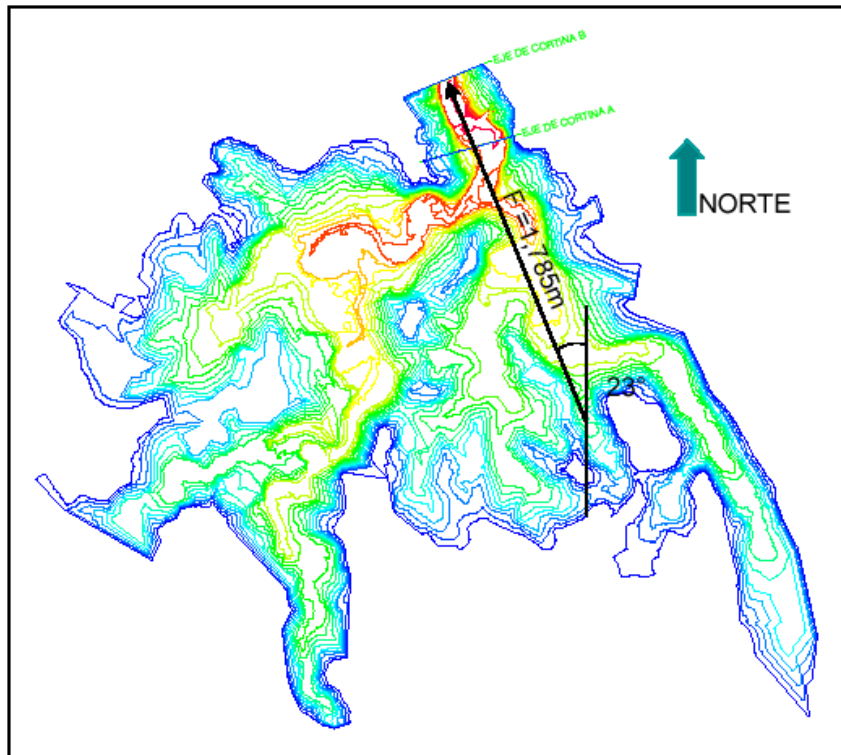


Figura 19 Tetch máximo para el cálculo de bordo libre para el vaso B<sup>20</sup>

GRADO	NOMBRE USUAL	EFFECTOS APRECIABLES EN TIERRA	VELOCIDAD (Km/h)
0	Calma	Humo vertical.	0 a 1
1	Ventolina	Se inclina el humo, las banderas y las veletas no se mueven.	1 a 5
2	Flojito -brisa muy débil	Se siente el viento en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, las banderas y las veletas.	6 a 11
3	Flojo -brisa débil-	Se agitan las hojas de los árboles. Las banderas ondean.	12 a 19
4	Bonancible -brisa moderada-	Se levanta polvo y papeles pequeños. Se mueven las ramas pequeñas.	20 a 28
5	Fresquito -brisa fresca-	Se mueven los árboles pequeños. Pequeñas olas en los estanques.	29 a 38
6	Fresco -brisa fuerte-	Se mueven las ramas grandes. Silban los hilos del telégrafo. Dificultad con los paraguas.	39 a 49
7	Frescachón -viento fuerte-	Todos los árboles en movimiento. Es difícil andar contra el viento.	50 a 61
8	Temporal -duro-	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.	62 a 74
9	Temporal fuerte -muy duro-	Arboles arrancados y daños en edificios.	75 a 88
10	Temporal duro -temporal-	Graves daños en edificios.	89 a 102
11	Temporal muy duro -borrasca-	Destrozos generalizados.	103 a 117
12	Temporal huracanado -huracán-	Enormes daños.	Más de 118

Tabla 12 ESCALA de viento BEAUFORT, usada en tierra.

<sup>20</sup> Fuente: Comisión Nacional del Agua

---

Considerando un oleaje incidente sobre una pared vertical o inclinada, la altura de ola se modifica y amplía, dando por resultado la denominada como Cresta de Clapotis u “ola quieta” es la ola reflejada sobre un muro vertical o inclinado, y es proporcional a la altura de la ola incidente, calculada como sigue (Tabla 12):

$$H_w = (1 + x)H_i$$

Dónde:

$H_w$  es la altura de cresta de Clapotis  
 $H_i$  es la altura de ola incidente

$$H_w = 2(0.71) = 1.42m$$

Por lo tanto el valor aproximado del bordo libre es de 1.5m

### 3.6.5 ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE AZOLVES

Para fines de irrigación el nivel de Aguas Mínimas o el nivel de cota de la obra de toma, se puede determinar mediante la expansión:

$$C_{AZ} = K_{AZ} N_A V_E$$

Dónde:

$C_{AZ}$  Capacidad de azolves, en  $m^3$

$K_{AZ}$  Coeficiente de Azolvamiento, adimensional, 0.0015, para presas pequeñas

$N_A$  Vida útil de la presa, en años 25 años, para presas pequeñas

$V_E$  Volumen escurrido medio anual, en  $m^3$

Resultado de la Hidrometría analizada del Río Tultitlán, se obtiene un gasto medio anual de  $3.15 m^3/s$ , lo que resulta en  $99'226,710 m^3$  de agua al año, considerando por el bajo arrastre de sedimentos que muestra el cauce, salvo en los meses de lluvia y bajo consideraciones de escurrimiento extraordinario, que sustituyendo resulta:

$$C_{AZ} = (0.0015)(25)(99226710) = 3,675,040m^3$$

En tanto para una vida útil de 50 años, resulta:

$$C_{AZ} = (0.0015)(50)(99226710) = 7,350,080m^3$$

Considerando que el gasto sólido representa un 3% del gasto líquido medio, se obtiene un volumen de  $2,940,032 m^3$  de azolves para una vida útil de 20 años, a consideración de  $147,001.60 m^3$  capacidad de azolves por año.

Los valores de elevación con referencia en la curva de elevaciones-capacidades, se presentan en la Tabla 13 para la ubicación del vaso A, y en la tabla 14 para la ubicación del vaso B, donde se describen respectivamente para la vida útil de referencia la elevación correspondiente en metros sobre el nivel del mar (msnm), el volumen en milímetros cúbicos ( $\text{mm}^3$ ), y la altura respecto de la elevación de desplante.

Criterio de capacidad de azolves	ELEVACIÓN	Volumen	Altura
	(msnm)	( $\text{Mm}^3$ )	(m)
Desplante	220	0.60	0.00
Vida útil 20 años 3% escurrimiento anual	232.319	2.94	12.32
Vida útil 25 años	234.290	3.67	14.29
Vida útil 50 años	240.924	7.35	20.92

**Tabla 13 Niveles de azolve del vaso A**

Criterio de capacidad de azolves	ELEVACIÓN	Volumen	Altura
	(msnm)	( $\text{Mm}^3$ )	(m)
Desplante	215	0.345	0.00
Vida útil 20 años 3% escurrimiento anual	230.810	2.939	15.81
Vida útil 25 años	232.761	3.675	17.76
Vida útil 50 años	239.331	7.350	24.33

**Tabla 14 Niveles de azolve del vaso B**

Debido a la altura de nivel de azolve en relación a la debida capacidad útil es recomendable el uso de un desfogue de estos asentamientos para incrementar la vida de servicio de la presa.

---

## **4 GEOTECNIA**

La ingeniería geológica aplicada a la Civil, en el caso de presas, permite estudiar el comportamiento estructural y las características de permeabilidad de las formaciones geológicas en el vaso, la boquilla y las laderas.

Las fallas, los plegamientos, los estratos, los derrames lávicos, el grado de alteración de las formaciones y su origen, interesan durante la etapa de estudios previos al diseño de las presas, así como en su comportamiento durante su vida útil.

### **4.1 LEVANTAMIENTO SUPERFICIAL EN LA ZONA DE LA BOQUILLA Y VASO**

Para el estudio superficial en la zona de la boquilla y el vaso se realizó un estudio del terreno en donde se valoró el comportamiento de la zona con el cual se identificó su rumbo, echado y en su caso características del relleno, determinando las familias de discontinuidades en el sitio mediante el procesamiento de la información de la geología estructural.

Se realizaron bajo este mismo concepto los pozos a cielo abierto o trincheras de exploración que fueron necesarios para la identificación de contactos y el adecuado levantamiento de la geología de la boquilla y proponiendo en forma preliminar los sitios considerados como más adecuados para la realización de barrenos exploratorios.

#### **4.1.1 MECÁNICA DE SUELOS**

Como parte también de los estudios detallados, la Mecánica de Suelos permite investigar las propiedades, de los materiales térreos (limosos, arcillosos o mezclados con materiales granulares), aptos para el núcleo impermeable, de transiciones y respaldos en el diseño de secciones de cortinas de las presas, así como de "materiales graduados", para agregados en el concreto, este estudio es el que se realizó a detalle de la faja del terreno en el cual se localizará la cortina y las obras complementarias del proyecto.

#### **4.1.2 GEOFÍSICA**

Finalmente la Geofísica, es la que nos ayuda a reconocer la potencialidad de los bancos de préstamo de arcilla, grava y arena, para determinar espesores de acarreo en el cauce de los ríos o para determinar espesores de limpias y elevaciones de desplante de estructuras, o simplemente para la construcción de la presa.

Con la diferencia entre la mínima elevación de desplante y la elevación de la corona, se tendrá la altura de la cortina en su sección máxima.

---

## **4.2 PRESA DE MATERIALES GRADUADOS**

La propuesta original y recomendada, era la de construir una presa de materiales graduados, desde el punto de vista geológico no resultó factible la construcción de este tipo de presa, y se cambió por una de concreto tipo gravedad, porque en el sitio donde se pretende la construcción de dicha presa no hay suficiente material en los banco para la construcción de una presa de materiales graduados.

### **4.2.1 PRESA DE CONCRETO TIPO GRAVEDAD**

Una presa de gravedad es aquella cuya estabilidad frente a las fuerzas externas actuantes sobre ella, se debe fundamentalmente a la fuerza de su peso propio. Las presas de gravedad de concreto se adaptan a los lugares en que se dispone de una cimentación de roca razonablemente sana, aunque las estructuras bajas se puedan establecer sobre cimentaciones aluviales si se construyen adecuadamente.

Una presa de gravedad vista desde la parte superior son rectas o de curvas suaves, son presas que resisten el empuje de las aguas por propio peso. En la cual su base es ancha y luego se va estrechando hacia la parte superior, la cara que da al embalse es prácticamente vertical. Es importante destacar que este tipo de presa es muy duradera y el mantenimiento es menor.

Se adaptan bien para usarse como cresta vertedora y debido a esta ventaja, a menudo se usan formando la parte vertedora de las presas de tierra y de enrocamiento o de una presa derivadora. Las presas de gravedad pueden tener planta curva o recta. La planta curva puede proporcionar algunas ventajas en lo que respecta al costo y a la seguridad. Además ocasionalmente, la curvatura hacia aguas arriba puede situar esa parte de la presa en una cimentación más elevada de roca. Para saber si la estructura es estable, se realizará un análisis que se basa en la teoría de vigas (Análisis de estabilidad).

## **4.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

Esta puede realizarse como si se tratara de una presa vertedora. Los tres efectos que atentan contra la estabilidad del cimacio son:

- a) Vuelco: Bajo la acción de las fuerzas externas el cimacio tiende a girar alrededor de su pie. Antes de que el cimacio llegara a volcarse como cuerpo rígido, tendrían que haber fallado sus materiales por tensión en el talón o por agrietamiento en el pie.
- b) Deslizamiento: La fuerza horizontal, tiende a desplazar en dirección horizontal del cimacio, las fuerzas resistentes son las producidas por fricción y por la resistencia al cortante del concreto o la cimentación. Antes de que el cimacio deslizara como cuerpo rígido, habrían fallado sus materiales (o la liga con cimentación, o ésta última) por esfuerzo cortante.
- c) Esfuerzos excesivos: La estabilidad de la estructura irá asociada siempre a la ruptura de sus materiales por esfuerzos excesivos, por lo que la tensión debe enfocarse a mantenerlos dentro de límites aceptables. En general, al menos en lo

---

que respecta a la compresión, es relativamente fácil cumplir con esa condición, pues los esfuerzos en el concreto de los cimacios, inducidos por fuerzas externas son normalmente muy bajos si el diseño se ha elaborado con el suficiente cuidado.

#### **4.3.1 COMBINACIONES DE CARGA:**

En el análisis de cargas deben considerarse las siguientes combinaciones:

- a) Condiciones ordinarias.
  - Presa llena al NAMO
  - Empuje hidrostático
  - Peso propio y accesorios
  - Sub-presión
- b) Condiciones extraordinarias.
  - Presa llena al NAME
  - Empuje hidrostático
  - Peso propio y de accesorios
  - Subpresión
- c) Condiciones externas.
  - Presa llena al NAMO
  - Empuje Hidrostático
  - Peso propio y accesorios
  - Subpresión
  - Sismo de diseño
- d) Agua abajo del nivel del piso del canal de llegada
  - Con sismo,
  - Sin sismo
- e) Otras condiciones de carga especiales a juicio del proyectista
  - Condiciones de seguridad.

Se deberán analizar los siguientes conceptos:

- a) Esfuerzos máximos de compresión (principales) que deben ser menores que los permisibles.



- 
- b) Esfuerzos mínimos (principales) pueden ser negativos, tensiones en algunos casos mayores que los permisibles.
  - c) Resistencia al deslizamiento que debe ser superior a las fuerzas deslizantes.

Esfuerzos permisibles: La resistencia a la compresión que desarrolla el concreto en forma definitiva, no es alcanzada a los 28 días, esta oscila entre los 90 días y los dos años. Esta resistencia viene a ser del orden de  $1.75 f'c$  donde  $f'c$  representa la resistencia a los 28 días, medida en pruebas tipo ACI (American Concrete Institute).

### **Deslizamiento.**

Agrietamiento. Cuando la subpresión es mayor que los esfuerzos efectivos en el extremo aguas arriba del cimacio, se formará una grieta horizontal que llegará hasta el punto en que los esfuerzos efectivos y la subpresión son iguales, a partir de este punto hacia aguas abajo se delimitará la sección donde se apoya el cimacio.

Medidas para reducir la subpresión.

Tratar de reducir las filtraciones a través de la cortina, entre ella y la cimentación así como a través de ésta, por medio de impermeabilización, la que produciría grandes pérdidas de carga (y la consiguiente reducción de presión) en el agua que llegara a filtrar.

Tratar de aliviar la presión del agua que se llegue a filtrar, por medio de drenaje. Para lograr la medida se recomienda lo siguiente:

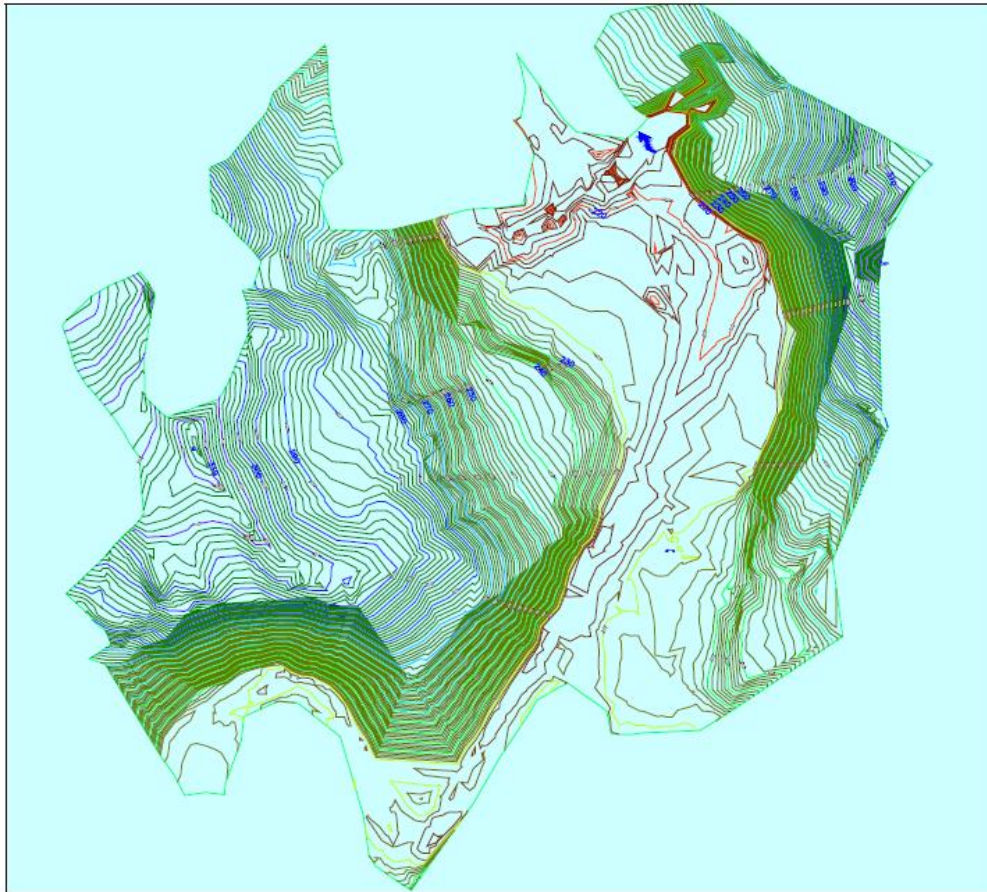
Cuidar la calidad uniforme del concreto para evitar huecos, grietas o disgregaciones que faciliten la intromisión del agua en el cuerpo de la cortina. En presas de mampostería, controlan la calidad de la piedra, de la mezcla de junteo y de la colocación. En caso necesario (así como para corregir presas ya construidas) puede inyectarse lechada de cemento en las zonas que resulten permeables.

Sin embargo, el concreto no es totalmente impermeable, y el agua puede filtrarse a través de él, aunque tarde un tiempo más largo. Recuérdese que una grieta o una caverna originan subpresión.

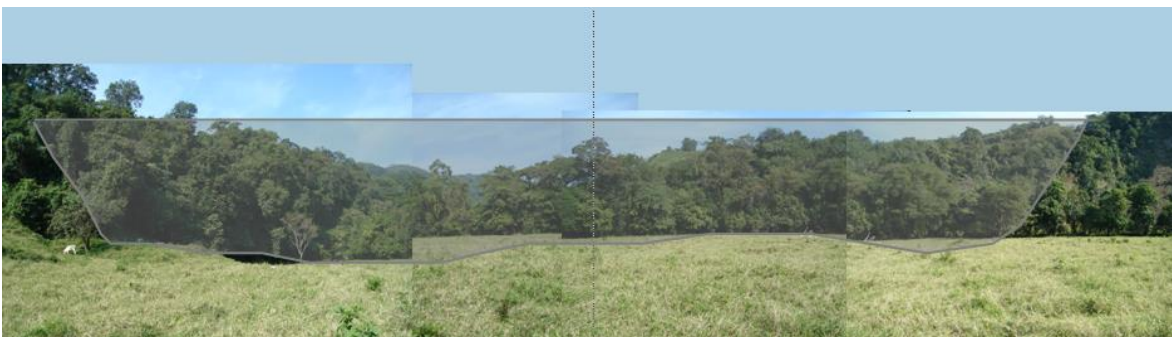
Debe cuidarse la calidad de la unión - presa - cimentación; para esto debe limpiarse perfectamente la superficie de desplante, tratando de que quede rugosa y controlando la primera capa de concreto colado. También se usan pantallas de impermeabilización por inyectado. Se habrá retirado el aluvión o los depósitos de talud (escombro). La roca alterada normalmente debe retirarse (dependiendo del grado de alteración y de sus características de resistencia e impermeabilidad).

La roca fracturada, que usualmente queda como superficie de desplante, es un medio que pueda permitir filtraciones de importancia en este caso debe inyectarse para impermeabilizarla.

Generalmente se usa una pantalla profunda de inyecciones, que se lleva a una profundidad de entre 0.5 y 0.7 H, siendo H la altura del nivel máximo aguas arriba, salvo que se hayan detectado posibles vías de agua a mayor profundidad; la pantalla se complementa con una carpeta de inyecciones de consolación (Figura No. 20).



**Figura 20 Topografía del embalse de la presa Tultitlan, Vaso B.<sup>21</sup>**



**Foto 8 Localización preliminar de la boquilla de la presa Tultitlan, Vaso B.**

<sup>21</sup> Fuente: Comisión Nacional del Agua

## Primera alternativa

La primera condición propuesta para el cálculo de la presa de gravedad fue de 70 m de altura, con dicha propuesta se obtuvieron los siguientes resultados (Figura No. 21) con las condiciones A y B.1 (Tablas 15, 16, 17 y 18).

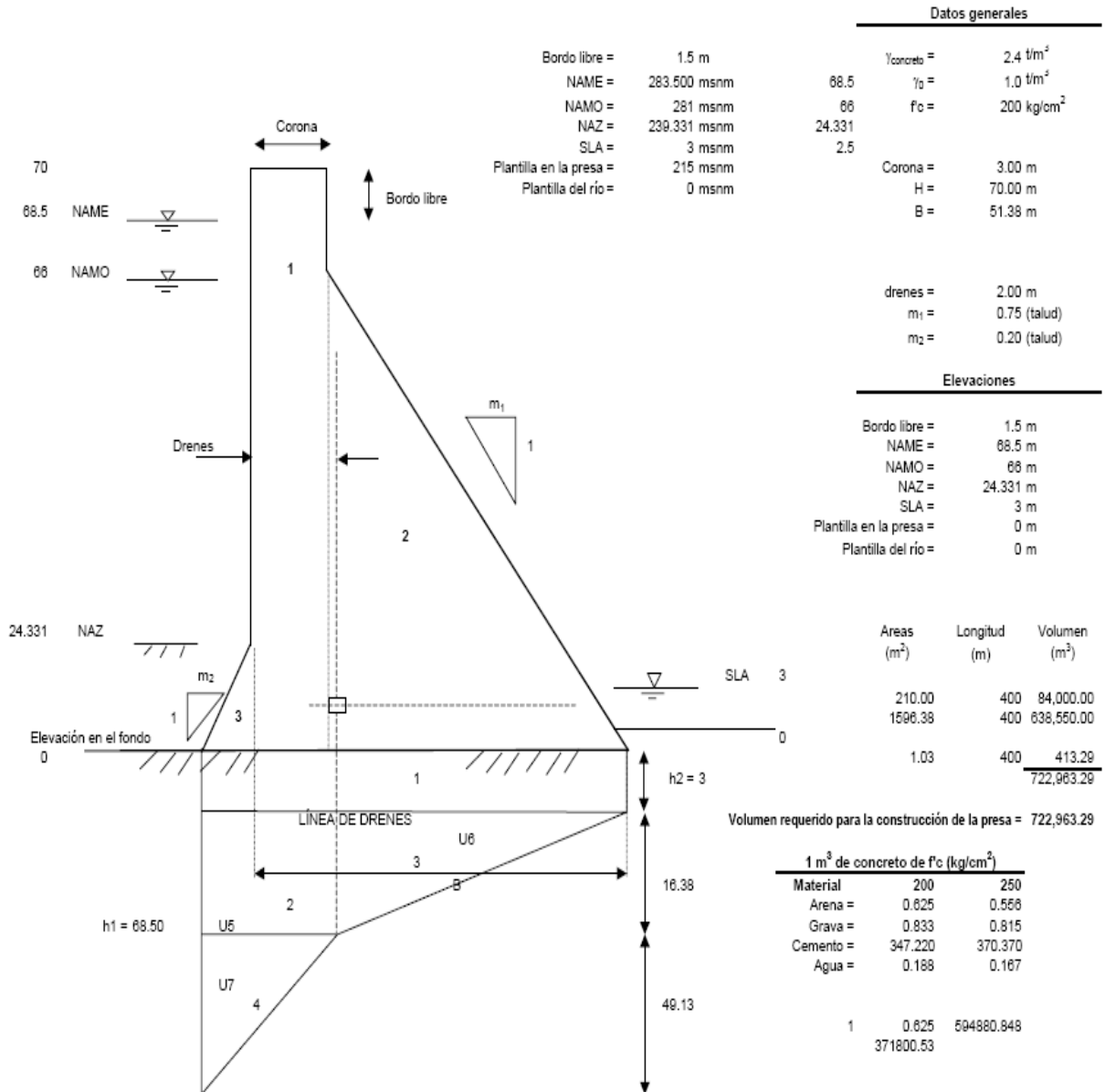


Figura 21 Primera alternativa para localización de la presa Tultitlán a una altura de 70 metros.

Condición A, cargas ordinarias (agua al NAMO)

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)	-	+
Peso propio	P1	504.00		-21.75		10964.22	
	P2	4063.50		-4.13		16779.82	
	P3	142.08		-24.88		3534.43	
Empuje hidrostático	Pa3	59.20		-26.50		1568.71	
	EH6		2178.00		22.00		47916.00
	Pa7	202.77		-25.69		5208.65	
	Pa8	59.20		-26.50		1568.71	
Subpresion	U5	-109.86		-24.69			2712.15
	U6	-395.00		-4.80			1894.45
	U7	-164.79		-25.83			4256.80
Azolves	Es1		75.31		8.11		610.83
	Ps2	59.20		-26.50		1568.71	
		4420.30	2253.31			41193.23	57390.23

Tabla 15 Condición A de cargas ordinarias al NAMO.

Condición B.1, cargas extraordinarias (agua al NAME sin SISMO)

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)	-	+
Peso propio	P1	504.00		-21.75		10964.22	
	P2	4063.50		-4.13		16779.82	
	P3	142.08		-24.88		3534.43	
Empuje hidrostático	EH1		2346.13		22.83		53569.85
	Pa2	214.94		-25.69		5521.15	
	Pa3	59.20		-26.50		1568.71	
	Pa4	3.38		27.37		92.38	
	EH5		4.50		1.00	4.50	
Subpresion	U1	-168.72		0.00			0.00
	U2	-112.43		-24.69			2775.71
	U3	-404.26		-4.80			1938.85
	U4	-168.65		-25.83			4356.57
Azolves	Es1		75.31		8.11		610.83
	Ps2	59.20		-26.50		1568.71	
		4192.22	2425.94			40033.91	63251.82

Tabla 16 Condición B.1, cargas extraordinarias (agua al NAME sin sismo).

Condición B.2, cargas extraordinarias (agua al NAMO con SISMO)

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Observaciones	Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)		-	+
Peso propio	P1	504.00		-21.75			10964.22	
	P2	4063.50		-4.13			16779.82	
	P3	142.08		-24.88			3534.43	
Empuje Hidrostático	Pa3	59.20		-26.50		Al NAME y al NAMO	1568.71	
	EH6		2178.00		22.00	Al NAMO		47916.00
	Pa7	202.77		-25.69		Al NAMO	5208.65	
	Pa8	59.20		-26.50		Al NAMO	1568.71	
Subpresion	U5	-109.86		-24.69		al NAMO		2712.15
	U6	-395.00		-4.80		al NAMO		1894.45
	U7	-164.79		-25.83		al NAMO		4256.80
Azolves	Es1		75.31		8.11			610.83
	Ps2	59.20		-26.50			1568.71	
Sismo	T1		100.80		23.33	+ - signo el Brazo		2352.00
	T2		812.70		22.00	+ - signo el Brazo		17879.40
	T3		28.42		8.11	+ - signo el Brazo		230.46
	Ta		458.25		26.40	+ - signo el Brazo		12097.83
		4420.30	3653.48				41193.23	89949.92

Tabla 17 Condición B.2, cargas extraordinarias (agua al NAMO con sismo).

Condición D. Vaso vacío con sismo Pseudo-estático.

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)	-	+
Peso propio	P1	504.00		-21.75		10964.22	
	P2	4063.50		-4.13		16779.82	
	P3	142.08		-24.88		3534.43	
Azolves	Es1		75.31		8.11		610.83
	Ps2	59.20		-26.50		1568.71	
Sismo	T1		100.80		23.33	2352.00	
	T2		812.70		22.00	17879.40	
	T3		28.42		8.11	230.46	
	Ta		458.25		26.40	12097.83	
		4768.78	1475.48			65406.87	610.83

Tabla 18 Condición D. vaso vacío con sismo Pseudo – estático.

## Segunda alternativa.

En esta segunda alternativa se tomó la decisión de construir una presa cuya altura sea menor a la que se consideró originalmente, ésta tendrá altura máxima de 48.5 m, con el fin de poder aprovechar los escurrimientos de la cuenca. En esta se hace un análisis del comportamiento de la estructura para cada una de las condiciones de trabajo (Figura No. 22) y con las condiciones siguientes (tablas 19, 20, 21, 22, 23 y 24).

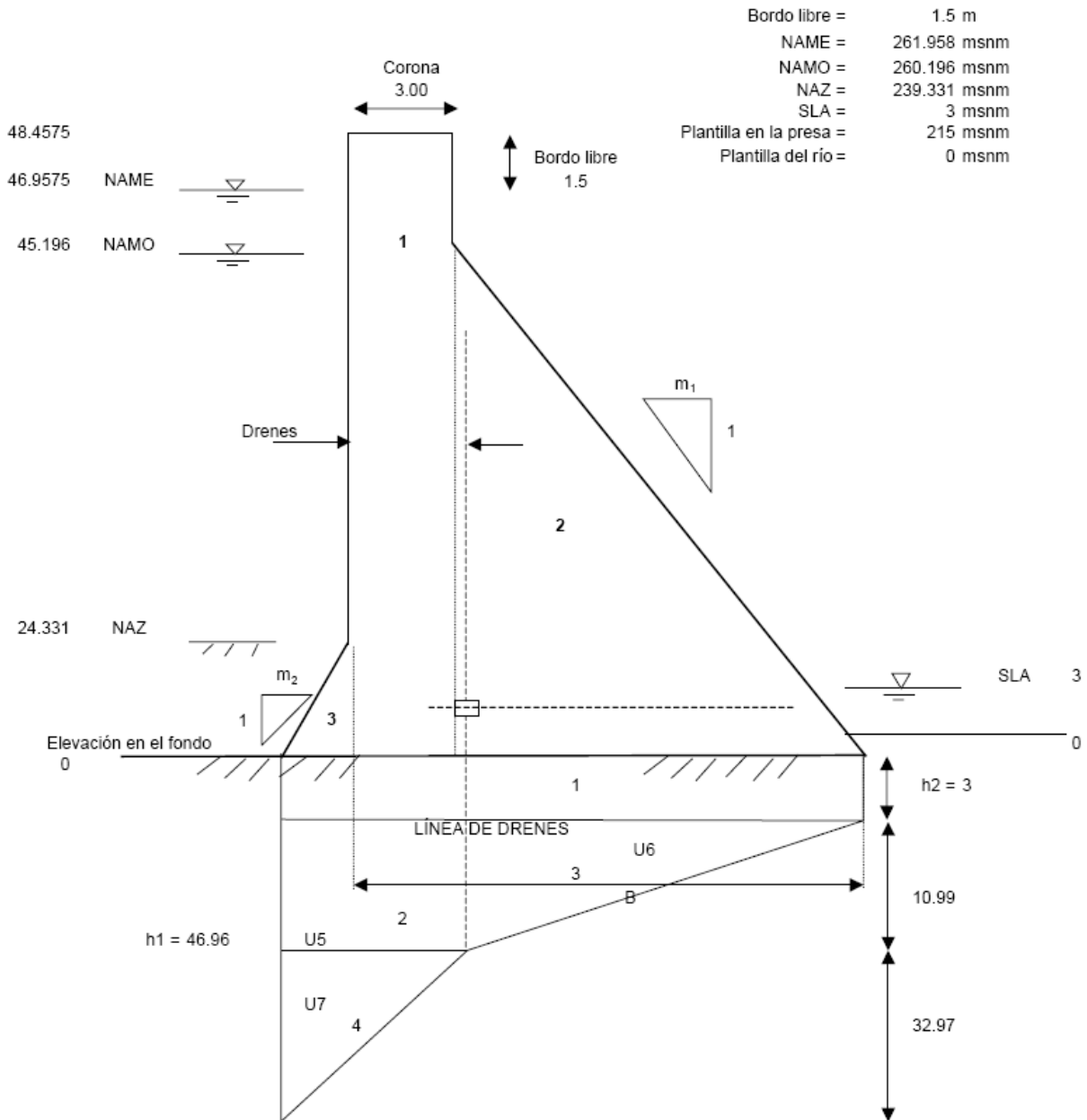


Figura 22 Segunda alternativa para localización de la presa Tultitlán a una altura de 48.4575 m.



Volumen de material que se requiere para la construcción de la presa:

Areas (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
145.37	400	58,149.00
728.07	400	291,226.08
1.03	400	413.29
		<u>349,788.37</u>

Volumen requerido para la construcción de la presa = 349,788.37  
**1 m<sup>3</sup> de concreto de f'c (kg/cm<sup>2</sup>)**

Material	200	250
Arena =	0.625	0.556
Grava =	0.833	0.815
Cemento =	347.220	370.370
Agua =	0.188	0.167

Tabla 19 Volumen de material que se requiere para la presa.

Fuerzas actuantes en la presa.

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Observaciones
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)	
Peso propio	P1	348.9		-13.68		
	P2	1873.5		-1.44		
	P3	142.1		-16.80		
Empuje hidrostático	EH1		1102.5		15.65	AI NAME
	Pa2	110.1		-17.61		AI NAME
	Pa3	59.2		-18.42		AI NAME y al NAMO
	Pa4	3.4		19.29		Aguas abajo y al NAME
	EH5		4.5		1.00	Aguas abajo y al NAME
	EH6		1021.3		15.07	AI NAMO
	Pa7	101.5		-17.61		AI NAMO
	Pa8	59.2		-18.42		AI NAMO
Subpresión	U1	-120.3		0.00		AI NAME y aguas abajo
	U2	-75.5		-16.61		AI NAME y aguas abajo
	U3	-182.5		-2.10		AI NAME y aguas abajo
	U4	-113.2		-17.75		AI NAME y aguas abajo
Subpresión	U5	-109.9		-16.61		al NAMO
	U6	-265.7		-2.10		al NAMO
	U7	-164.8		-17.75		al NAMO
Azolves	Es1		75.3		8.11	
	Ps2	59.2		-18.42		
Sismo	T1		69.8		16.15	+ - signo el Brazo
	T2		374.7		15.07	+ - signo el Brazo
	T3		28.4		8.11	+ - signo el Brazo
	Ta		214.9		18.08	+ - signo el Brazo

Tabla 20 Cálculo de las fuerzas actuantes en la presa.

Cargas ordinarias al NAMO.

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)	-	+
Peso propio	P1	348.89		-13.68		4771.46	
	P2	1873.45		-1.44		2691.38	
	P3	142.08		-16.80		2386.65	
Empuje hidrostático	Pa3	59.20		-18.42		1090.47	
	EH6		1021.34		15.07		15386.82
	Pa7	101.53		-17.61		1787.91	
	Pa8	59.20		-18.42		1090.47	
Subpresion	U5	-109.86		-16.61			1824.66
	U6	-265.75		-2.10			558.93
	U7	-164.79		-17.75			2925.57
Azolves	Es1		75.31		8.11		610.83
	Ps2	59.20		-18.42		1090.47	
		2103.16	1096.65			14908.79	21306.80

Tabla 21 Cálculo de las cargas ordinarias actuantes al NAMO.

Cargas extraordinarias al NAME sin sismo.

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)	-	+
Peso propio	P1	348.89		-13.68		4771.46	
	P2	1873.45		-1.44		2691.38	
	P3	142.08		-16.80		2386.65	
Empuje hidrostático	EH1		1102.50		15.65		17256.93
	Pa2	110.11		-17.61		1938.85	
	Pa3	59.20		-18.42		1090.47	
	Pa4	3.38		19.29		65.11	
	EH5		4.50		1.00	4.50	
Subpresion	U1	-120.25		0.00			0.00
	U2	-75.46		-16.61			1253.24
	U3	-182.52		-2.10			383.89
	U4	-113.18		-17.75			2009.38
Azolves	Es1		75.31		8.11		610.83
	Ps2	59.20		-18.42		1090.47	
		2104.89	1182.32			14038.88	21514.28

Tabla 22 Cargas extraordinarias al NAME sin sismo.

Cargas extraordinarias al NAMO con sismo.

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Observaciones	Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)		-	+
Peso propio	P1	348.89		-13.68			4771.46	
	P2	1873.45		-1.44			2691.38	
	P3	142.08		-16.80			2386.65	
Empuje Hidrostático	Pa3	59.20		-18.42		Al NAME y al NAMO	1090.47	
	EH6		1021.34		15.07	Al NAMO		15386.82
	Pa7	101.53		-17.61		Al NAMO	1787.91	
	Pa8	59.20		-18.42		Al NAMO	1090.47	
Subpresion	U5	-109.86		-16.61		al NAMO		1824.66
	U6	-265.75		-2.10		al NAMO		558.93
	U7	-164.79		-17.75		al NAMO		2925.57
Azolves	Es1		75.31		8.11			610.83
	Ps2	59.20		-18.42			1090.47	
Sismo	T1		69.78		16.15	+ - signo el Brazo		1127.10
	T2		374.69		15.07	+ - signo el Brazo		5644.84
	T3		28.42		8.11	+ - signo el Brazo		230.46
	Ta		214.89		18.08	+ - signo el Brazo		3884.86
		2103.16	1784.43				14908.79	32194.06

Tabla 23 Cargas extraordinarias al NAMO con sismo.

Vaso vacío con sismo.

Grupo	Fuerza	Magnitud (ton)		Brazo		Momento (ton - m)	
		Vertical	Horizontal	y (m)	z (m)	-	+
Peso propio	P1	348.89		-13.68		4771.46	
	P2	1873.45		-1.44		2691.38	
	P3	142.08		-16.80		2386.65	
Azolves	Es1		75.31		8.11		610.83
	Ps2	59.20		-18.42		1090.47	
Sismo	T1		69.78		16.15	1127.10	
	T2		374.69		15.07	5644.84	
	T3		28.42		8.11	230.46	
	Ta		214.89		18.08	3884.86	
		2423.62	763.09			21827.22	610.83

Tabla 24 Vaso vacío con sismo.

---

## Dimensión final de la presa de gravedad

De acuerdo al análisis de estabilidad de la presa, y siguiendo las recomendaciones con los criterios establecidos en la teoría del análisis de las presas, se obtiene que la estructura es estable con las dimensiones que se presentan a continuación (Figura 23 y Tabla 25 y 26):

$\gamma_{\text{concreto}}$ =	2.4 t/m <sup>3</sup>
$\gamma_0$ =	1.0 t/m <sup>3</sup>
f'c =	200 kg/cm <sup>2</sup>
Bordo libre =	1.5 m
NAME =	261.958 msnm
NAMO =	260.196 msnm
NAZ =	239.331 msnm
SLA =	3 msnm
Plantilla en la presa =	215 msnm
Plantilla del río =	0 msnm
Tirante en el río =	3 m
Corona =	3 m
drenes =	2.00 m
m <sub>1</sub> =	0.75 (talud)
m <sub>2</sub> =	0.20 (talud)

Tabla 25 Datos de la dimensión final de la presa de gravedad.

Volumen requerido para la construcción de la presa = 349,788.37 m<sup>3</sup> (Tabla 25).

1 m <sup>3</sup> de concreto de f'c (kg/cm <sup>2</sup> )		
Material	200	250
Arena =	0.625	0.556
Grava =	0.833	0.815
Cemento =	347.220	370.370
Agua =	0.188	0.167

Tabla 26 Volumen de material requerido para la construcción de la presa.

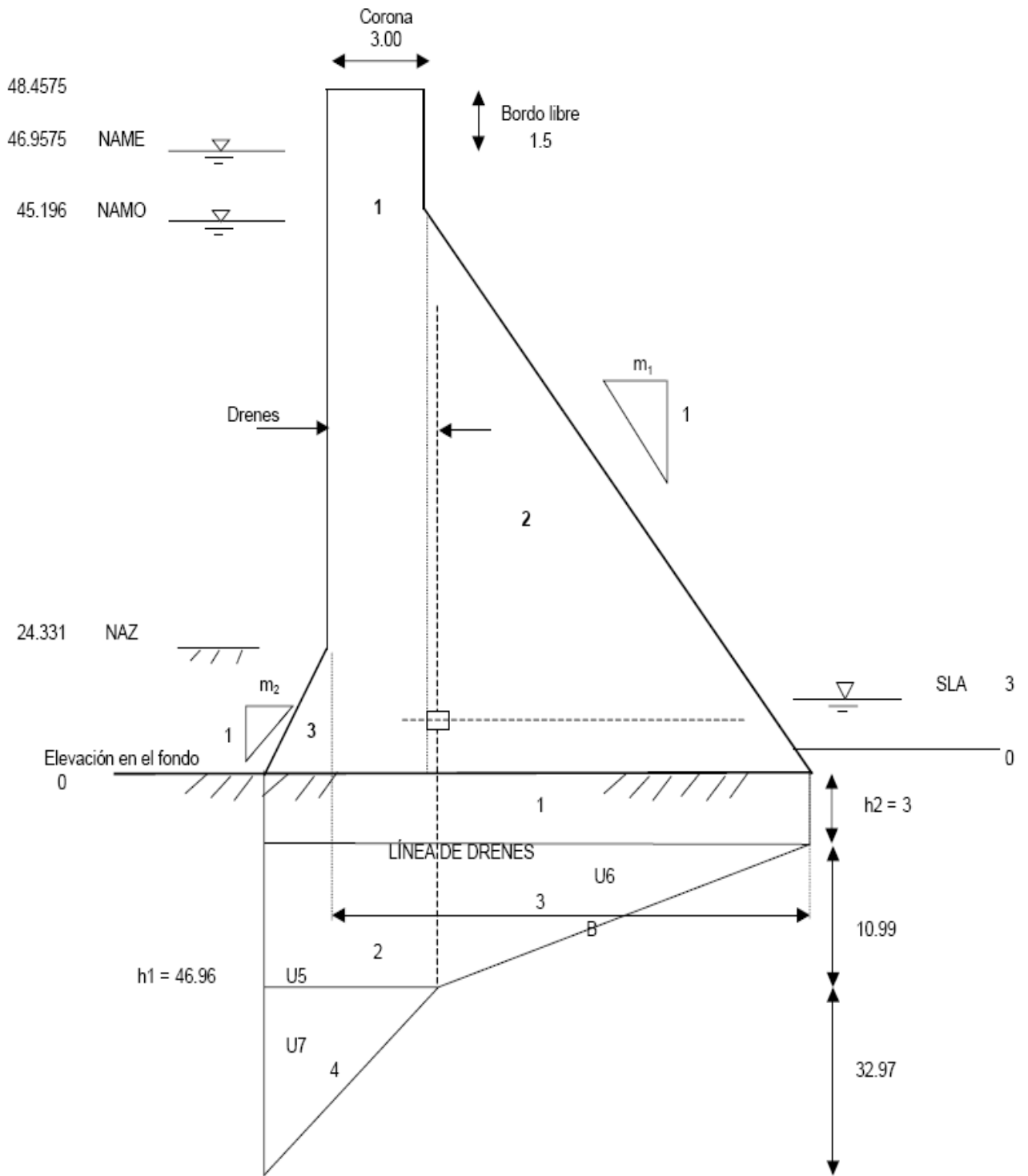
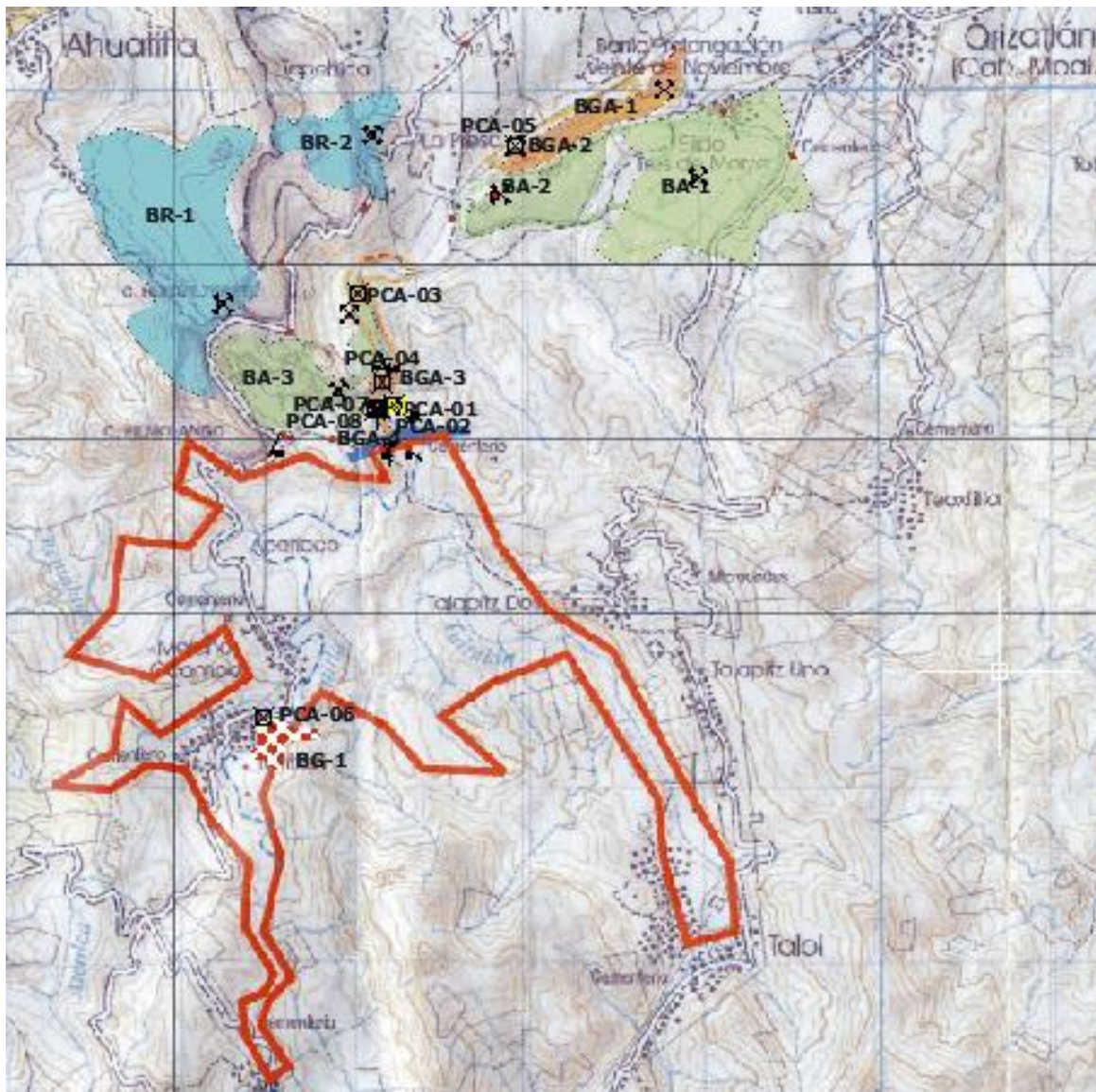


Figura 23 Datos de la presa Tultitlán.

#### 4.4 POZOS A CIELO ABIERTO

Se realizaron seis pozos a cielo abierto en total, de 0.90 X 1.50 m a una profundidad aproximada de 3.00 m para obtener muestras alteradas e inalteradas en el Río Tultitlán y en los bancos de materiales a aproximadamente 500.00 metros de distancia entre cada uno de los pozos en los que se pudieron obtener muestras con el propósito de llevarlas al laboratorio, para su respectivo análisis (Plano No.3 Bancos de Material que muestra la localización de los Pozos a cielo abierto y calas).



Plano No.3 Localización de Pozos a cielo abierto y calas.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Plano 3. Bancos de Material



---

A las muestras se les realizaron las pruebas siguientes:

- Peso Volumétrico Seco Suelto
- Peso Volumétrico Seco Compacto
- Análisis de Granulometría
- Prueba de Desgaste

### **Pozo a cielo abierto 1 (PCA-01).**

Descripción:

El pozo se localiza en la margen derecha en dirección NE-SW congruente con la dirección del eje propuesto y aproximadamente a unos 5.00 metros de la orilla del río y con coordenadas UTM= 537,249 y Y=2, 338,188 así como una altura sobre el nivel medio del mar de 215 m, medida con altímetro y marcado en el mapa como punto número 20. Se puede observar en el perfil del suelo un horizonte de 0.00 a 0.38 m de suelo orgánico arcillo limoso con raíces de color pardo oscuro que sostiene la carpeta vegetal; de los 0.38 a 1.50 m de profundidad se presenta una capa de boleos con diámetro de hasta 0.40 m con predominio de boleos de 13 a 20 cm en una matriz limosa de color rojizo a pardo, Los boleos de hasta 0.60 m de diámetro en una matriz constituida por gravas, arenas y arcillas.



**Foto 9 y Foto 10. Localización del pozo PCA-01**

### **Pozo a cielo abierto 2 (PCA-02).**

Descripción:

El pozo se localiza en la margen derecha en la dirección NE-SW congruente con la dirección del eje propuesto y aproximadamente a unos 5.00 metros de la orilla del río, tiene coordenadas UTM X= 537,262 y Y=2, 338,184, así como una altura sobre el nivel medio del mar de 216.00 m, medida con altímetro y marcado en el mapa como punto número 21. Se puede observar en el perfil del suelo un horizonte de 0.00 a 0.28 m suelo arcilloso de color negro con raíces; 0.28 a 0.90 m existe un horizonte de arcilla de color pardo muy plástica; de 0.90 a 2.00 m se presenta un horizonte de boleos con diámetros de hasta 0.60 m con una matriz de arcilla con limos y de los 2.00 a 3.00 m de profundidad; del pozo se observan boleos con gravas y arenas de tamaños mayores al horizonte superior.



Foto 11, Foto 12 y Foto 13. Localización del pozo PCA-02

### **Pozo a cielo abierto 3 (PCA-02).**

Descripción:

El pozo se localiza en la margen derecha del río Tultitlán con coordenadas UTM  $X=537,045$  y  $Y=2,338,835$ , así como una altura sobre el nivel medio del mar de 221.00 m medida con altímetro y marcado en el mapa como el punto número 31. Se puede observar en el perfil del suelo un horizonte de 0.00 a 0.40 m, existe un horizonte de gravas con arenas y escasos boleos de 0.30 m aproximadamente; de 0.90 a 2.00 m se presenta un horizonte de boleos con diámetros de hasta 0.40 m con una matriz de arena y grava.





Foto 14, Foto 15 y Foto 16. Localización del pozo PCA-03

#### **Pozo a cielo abierto 4 (PCA-04).**

Descripción:

El pozo se localiza en la margen izquierda del río Tultitlán, con coordenadas UTM  $X=537,179$  y  $Y=2,338,321$ , así como una altura sobre el nivel medio del mar de 221 m medida con altímetro y marcado en el mapa como punto número 32. Se ubica dentro de un huerto de naranjo, que se ubica en el poblado de Melchor Ocampo y a unos 20.00 m del cauce del río. El perfil del suelo presente en el pozo es de 0.00 a 0.60 m un horizonte arenoso con limos de color pardo oscuro que sostiene la carpeta vegetal; de los 0.60 a 1.00 m se presentan boleos con una matriz de arena y limo de coloraciones marrones claras y oscuras; de 1.00 a 2.00 m aumentan los contenidos de los boleos así como los tamaños que oscilan entre los 30 y 40 cm de diámetro.



Foto 17 y Foto 18. Localización del pozo PCA-04

#### **Pozo a cielo abierto 5 (PCA-05).**

Descripción:

El pozo se localiza en la margen derecha del río que cruza el poblado de Tultitlán y con coordenadas UTM X= 537,948 y Y=2, 339,861, así como un altura sobre el nivel medio del mar de 213.00 m medida con altímetro y marcado en el mapa como punto número 35.

El perfil del suelo que se presenta en el pozo es de 0.00 a 0.10 m, tiene una carpeta vegetal de suelo arenoso limoso de color pardo oscuro y con raíces; de 0.10 a 1.80 m se tiene un horizonte de limo con arena de color pardo oscuro; de 1.80 a 2.00 m se aprecia claramente boleos de tamaños variables que oscilan entre los 8 y 40 cm de diámetro y se estima que el nivel del agua esté próximo, ya que el material de la base se encuentra mojado.





Foto 19, Foto 20 y Foto 21. Localización del pozo PCA-05

### **Pozo a cielo abierto 6 (PCA-06).**

Descripción:

Este pozo se localiza en las coordenadas UTM X=536,495, Y= 2, 336,394 y Z=282 m.s.n.m. Se ubica a un lado del poblado de Tultitlán, de hecho el río bordea al poblado mencionado y como se aprecia en las fotografías es un banco de grava natural que tiene aproximadamente 300.00 m de longitud y un ancho de 10.00 m con un espesores de más de 2.00 m, aunque este banco se encuentra aguas arriba del eje programado.



Foto 22, Foto 23, Foto 24 y Foto 25. Localización del pozo PCA-06, sobre los arroyos del Río Tultitlán.

#### 4.5 CALAS

Las calas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, la cala es el único medio de exploración que puede entregar información confiable, y es un medio muy efectivo para exploración y muestreo de suelos de fundación y materiales de construcción a un costo relativamente bajo.

Es necesario registrar la ubicación y elevación de cada pozo, los que son numerados según la ubicación. La profundidad está determinada por las exigencias de la investigación pero es dada, generalmente, por el nivel freático.

La sección mínima recomendada es de 0.80 m por 1.00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material excavado deberá depositarse en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes.

Se deberá dejar al menos una de las paredes moldeada y menos contaminada posible, de modo que representen fielmente el perfil estratigráfico del pozo. En cada cala se deberá



realizar una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida. A cada cala se le deberá realizar un registro adecuado que pasará a formar parte del informe respectivo

Se deberá registrar claramente el espesor de cada estrato y efectuar una descripción del mismo mediante identificación visual basado en la pauta que se indica.

Los suelos es posible agruparlos en tres grupos, sin embargo, en la naturaleza se encuentran compuestos, pero es posible discernir el componente predominante y asimilar la muestra a ese grupo. La principal distinción se hace sobre la base del tamaño. Las partículas individuales visibles forman la fracción gruesa y las partículas pequeñas individualizadas componen la fracción fina. Los componentes orgánicos del suelo consisten en materia vegetal descompuesta o en proceso de descomposición, lo que le impone al suelo una estructura fibrosa. Pueden ser identificados por sus colores oscuros y el olor distintivo.

Este método se debe considerar el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo.

Para las calas de estudio de este proyecto se tomo una muestra y se realizaron los ensayos del terreno a las profundidades que se señalan a continuación (Tabla 27):

Calas en Campo		
Pozo	Material	Profundidad
CA - G Ar - 1	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.21 m
CA - G Ar - 2	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.42 m
CA - G Ar - 3	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.87 m
CA - G Ar - 4	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.88 m
CA - G Ar - 5	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.97 m
CA - G Ar - 6	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.21 m
CA - G Ar - 7	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.91 m
CA - G Ar - 8	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.11 m
CA - G Ar - 9	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.97 m
CA - G Ar - 10	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.29 m
CA - A - 1	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.34 m
CA - A - 2	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.80 m
CA - A - 3	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.20 m
CA - A - 4	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.40 m
CA - A - 5	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.40 m
CA - A - 6	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.87 m
CA - A - 7	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	1.20 m
CA - A - 8	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.81 m
CA - A - 9	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.92 m
CA - A - 10	Capa superficial formada por Arenas y Gravas	0.78 m

**Tabla 27 Localización de las calas realizadas en la zona de estudio.**

---

A cada cala se le deberá realizar un registro adecuado que pasa a formar parte del análisis respectivo. La descripción visual de los diferentes estratos deberá contener, como mínimo:

- Nombre del proyecto
- Sector/tramo
- N° de pozo
- Ubicación respecto a un eje de referencia
- Cota
- Fecha de la inspección
- Inspector
- Descripción del suelo, etc.

Las muestras se someterán a los análisis de clasificación:

- Granulometría.
- Límites de consistencia: Límite Líquido y Límite Plástico.
- Constantes físicas: Densidad de partículas sólidas y Densidad neta.

#### **4.6 BARRENACIÓN**

La barrenación se realiza en los sitios donde se ubican las principales estructuras, para los núcleos se efectúa una descripción de la litología, fracturamiento, porcentaje de recuperación de núcleos y el Índice de Calidad de la Roca (RQD). Durante las perforaciones se llevó a cabo, pruebas de permeabilidad que permitan determinar el grado de permeabilidad del macizo rocoso (Figura No. 24).

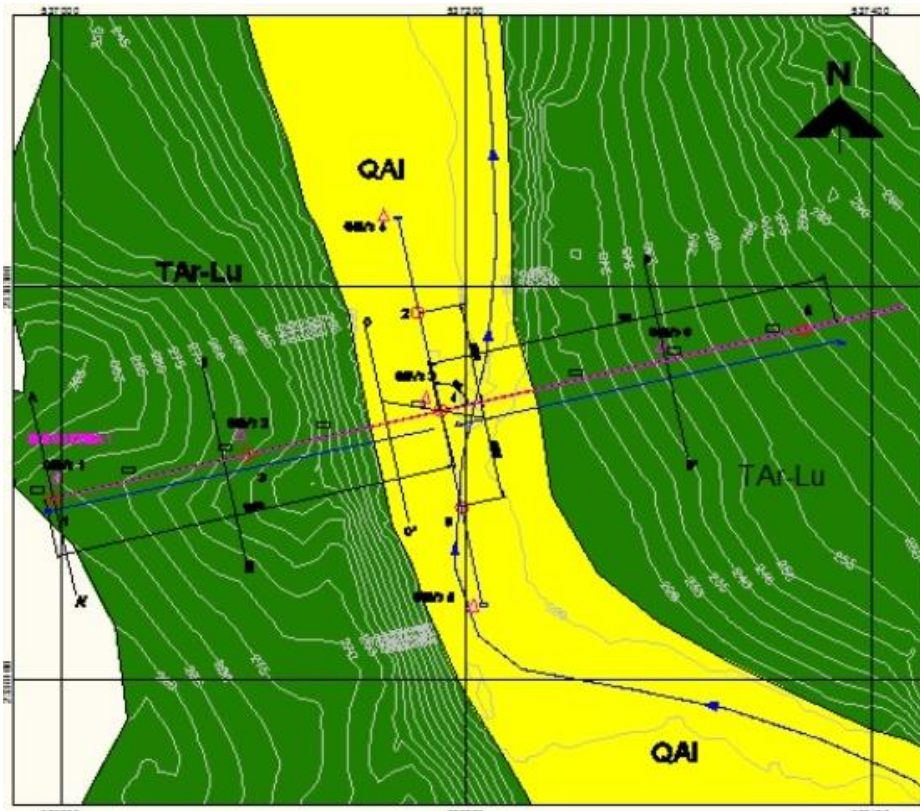


Figura 24 Propuesta de localización de trabajos geotécnicos de exploración sobre el eje de la cortina.<sup>23</sup>

Con toda esta información en los sitios específicos se llevará a cabo una integración e interpretación, elaborando secciones geológicas integradas de cada estructura.

Otra exploración del subsuelo pueden ser las perforaciones directas con recuperación de núcleos de roca y pruebas de permeabilidad de campo, las cuales se efectuarán con la finalidad de conocer a detalle las características geológico-geotécnicas de las rocas en el subsuelo.

#### **a) Trabajos de campo**

Como primer paso se realizó el traslado del equipo, herramientas y personal de perforación hasta los sitios elegidos, procediendo a preparar la plataforma sobre el terreno.

El procedimiento de barrenación consiste en ir avanzando y recuperando núcleos de roca, por medio de un muestreador doble giratorio en diámetro NQ, empleando el sistema Wire-line que permite introducir un pescador por el interior de la tubería y extraer el núcleo. Los tramos de perforación son variables, entre 0.10 y 3.00 metros, ésta distancia está en función del fracturamiento del macizo rocoso.

<sup>23</sup> Fuente: Comisión Nacional del Agua

---

Las muestras de roca obtenidas son colocadas en cajas de plástico y se colocan taquetes para diferenciar los tramos perforados, anotando la profundidad de inicio y final, para su posterior interpretación.

El personal de la barrenación lleva un registro de los tramos perforados, las recuperaciones obtenidas, así como de los incidentes durante la perforación como fugas de agua, vibraciones, etcétera.

Los núcleos descritos por el Ingeniero Geólogo, son una descripción litológica y del fracturamiento, así mismo mide los porcentajes de recuperación y del índice de calidad de la roca (RQD) en cada tramo perforado; también se toma una fotografía de cada uno de los núcleos de cada sondeo.

Durante la ejecución de la barrenación se realizan pruebas de permeabilidad de tipo Lugeon. Para considerar la roca que llevará la Boquilla se hicieron estudios a detalle en la zona de la boquilla, apoyándose con estudios de geofísica (métodos eléctrico y sísmico) y perforación (Barrenación en diámetro "NQ") a una profundidad mínima en el cauce de 50 m por lo que se podrá definir la factibilidad de la construcción de la cortina.

Como parte de las recomendaciones de los estudios de geotecnia, se recomendaron hacer seis (6) barrenos con diámetro NQ, a cada cien metros de distancia entre cada barreno, con una profundidad de 50 metros cada uno; Colocando cuatro (4) sobre el eje de la cortina, y dos (2) sobre el cauce del río, estos últimos a 50 metros de distancia del eje de la cortina hacia aguas arriba y hacia aguas abajo.

La cual esta barrenación se va a realizar con una máquina de perforación que tiene una broca de medida NQ (2 ¼) de diámetro para obtener los núcleos los cuales se van a analizar con pruebas de Permeabilidad tipo Lugeon o Lefranc a cada 5 metros en cada uno de los barrenos. Muestras para petrografía y determinación del RQD para determinar la calidad de la roca.

## 4.7 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para las muestras obtenidas de los pozos a cielo abierto (PCA's) de tres metros de profundidad, sobre el eje de la cortina a 50 metros de distancia entre pozo y pozo se realizaron las siguientes pruebas de laboratorio:

- Determinación del porcentaje de finos (por lavado).
- Contenido de agua.
- Límites de consistencia (líquido y plástico).
- Densidad de sólidos.
- Compresión Triaxial no consolidada-no drenada UU.
- Muestras integrales.
- Análisis Granulométrico.
- Compacidad relativa S.R.H. con martinete.
- Muestras cúbicas inalteradas.
- Peso volumétrico natural.

A continuación se muestran las tablas obtenidas por el análisis de laboratorio de acuerdo a cada uno de los pozos (Tablas 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 y 35):

PCA's en Terracería y Obras de Protección		
Pozo	Material	Profundidad
PCA - A - 1	Arcilla con horizontes de Limos	2.45 m
PCA - A - 2	Arcilla con horizontes de Limos	2.52 m
PCA - A - 3	Arcilla con horizontes de Limos	2.50 m
PCA - A - 4	Arcilla con horizontes de Limos	2.30 m
PCA - A - 5	Arcilla con horizontes de Limos	2.43 m

**Tabla 28 Descripción de la profundidad y tipos de materiales descritos de los Pozos a Cielo Abierto (PCA's) para las terracerías y obras de protección.**

PCA's para Formación de Bordos		
Pozo	Material	Profundidad
BO - G Ar - 1	Arenas de color oscuro con fragmentos de basaltos que forman horizontes de gravas y arenas	1.21 m
BO - G Ar - 2	Arenas de color oscuro con fragmentos de basaltos que forman horizontes de gravas y arenas	1.42 m
BO - G Ar - 3	Arenas de color oscuro con fragmentos de basaltos que forman horizontes de gravas y arenas	0.87 m
BO - G Ar - 4	Arenas de color oscuro con fragmentos de basaltos que forman horizontes de gravas y arenas	0.88 m
BO - G Ar - 5	Arenas de color oscuro con fragmentos de basaltos que forman horizontes de gravas y arenas	0.97 m

BO - G Ar - 6	Arenas de color oscuro con fragmentos de basaltos que forman horizontes de gravas y arenas	1.21 m
BO - G Ar - 7	Arenas de color oscuro con fragmentos de basaltos que forman horizontes de gravas y arenas	0.91 m

**Tabla 29 Descripción de los Pozos a Cielo Abiertos para localización de material para la construcción de los bordos.**

Determinación de Finos por Lavado				
Pozo	Muestra	Profundidad	% Finos	% Arenas
BO - G Ar - 1	Bolsa	1.21 m	95.96	4.04
BO - G Ar - 2	Bolsa	1.42 m	97.66	2.34
BO - G Ar - 3	Bolsa	0.87 m	97.76	2.24
BO - G Ar - 4	Bolsa	0.88 m	97.71	2.29
BO - G Ar - 5	Bolsa	0.97 m	76.72	23.28
BO - G Ar - 6	Bolsa	1.21 m	92.27	7.73
BO - G Ar - 7	Bolsa	0.91 m	97.89	2.11

**Tabla 30 Determinación de los Finos por Lavado**

Contenido de Humedad y Clasificación			
Pozo	Muestra	Profundidad	% Humedad
BO - G Ar - 1	Bolsa	1.21 m	32.74
BO - G Ar - 2	Bolsa	1.42 m	33.33
BO - G Ar - 3	Bolsa	0.87 m	8.43
BO - G Ar - 4	Bolsa	0.88 m	26.6
BO - G Ar - 5	Bolsa	0.97 m	25.98
BO - G Ar - 6	Bolsa	1.21 m	27.75
BO - G Ar - 7	Bolsa	0.91 m	32.7

**Tabla 31 Determinación del Contenido de Humedad y Clasificación.**

Límites de Consistencia				
Pozo	Muestra	LL Límite Líquido	LP Límite Plástico	IP Índice de Plasticidad
BO - G Ar - 1	Bolsa	97.50	26.50	71.00
BO - G Ar - 2	Bolsa	96.30	15.80	80.50
BO - G Ar - 3	Bolsa	100.30	32.60	67.70
BO - G Ar - 4	Bolsa	92.60	27.10	65.50
BO - G Ar - 5	Bolsa	105.10	21.50	83.60
BO - G Ar - 6	Bolsa	98.20	29.00	69.20
BO - G Ar - 7	Bolsa	92.90	18.80	74.10

**Tabla 32 Determinación del contenido de Límites de Consistencia.**



Proctor			
Pozo	Muestra	$\gamma_s$ óptima kg/cm <sup>3</sup>	$\omega$ Óptima %
BO - G Ar - 1	Bolsa	11,296.00	36.20
BO - G Ar - 2	Bolsa	1,321.00	42.30
BO - G Ar - 3	Bolsa	1,315.00	42.30
BO - G Ar - 4	Bolsa	1,325.00	42.50
BO - G Ar - 5	Bolsa	1,312.00	40.40
BO - G Ar - 6	Bolsa	1,318.00	40.30
BO - G Ar - 7	Bolsa	1,305.00	41.30

**Tabla 33 Resultado de las pruebas Proctor**

Densidad de Sólidos			
Pozo	Muestra	Profundidad	Ss
BO - G Ar - 1	Bolsa	1.21 m	2.707
BO - G Ar - 2	Bolsa	1.42 m	2.665
BO - G Ar - 3	Bolsa	0.87 m	2.677
BO - G Ar - 4	Bolsa	0.88 m	2.745
BO - G Ar - 5	Bolsa	0.97 m	2.901
BO - G Ar - 6	Bolsa	1.21 m	2.565
BO - G Ar - 7	Bolsa	0.91 m	2.719

**Tabla 34 Determinación de la Densidad de Sólidos**

Análisis Granulométrico			
Pozo	Muestra	Profundidad	Ss
PCA - 1 - Gr - Ar	62.43	27.42	10.15
PCA - 2 - Gr - Ar	54.50	27.48	18.02
PCA - 3 - Gr - Ar	61.78	20.66	17.56
PCA - 4 - Gr - Ar	65.29	23.43	11.28
PCA - 5 - Gr - Ar	53.30	36.80	9.90
PCA - 6 - Gr - Ar	98.30	1.39	0.31
PCA - 7 - Gr - Ar	31.90	32.48	35.62
PCA - 8 - Gr - Ar	83.10	11.78	5.12
PCA - 9 - Gr - Ar	25.30	32.94	41.76

**Tabla 35 Resultados de los Análisis Granulométricos.**

---

## 5 BANCOS DE MATERIALES

### 5.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el estudio de los bancos de materiales, se realizó una visita al poblado de Orizatlán en el estado de Hidalgo, donde se encuentra el área en estudio para los bancos de:

- a) Arcilla
- b) Arena, grava y
- c) Roca

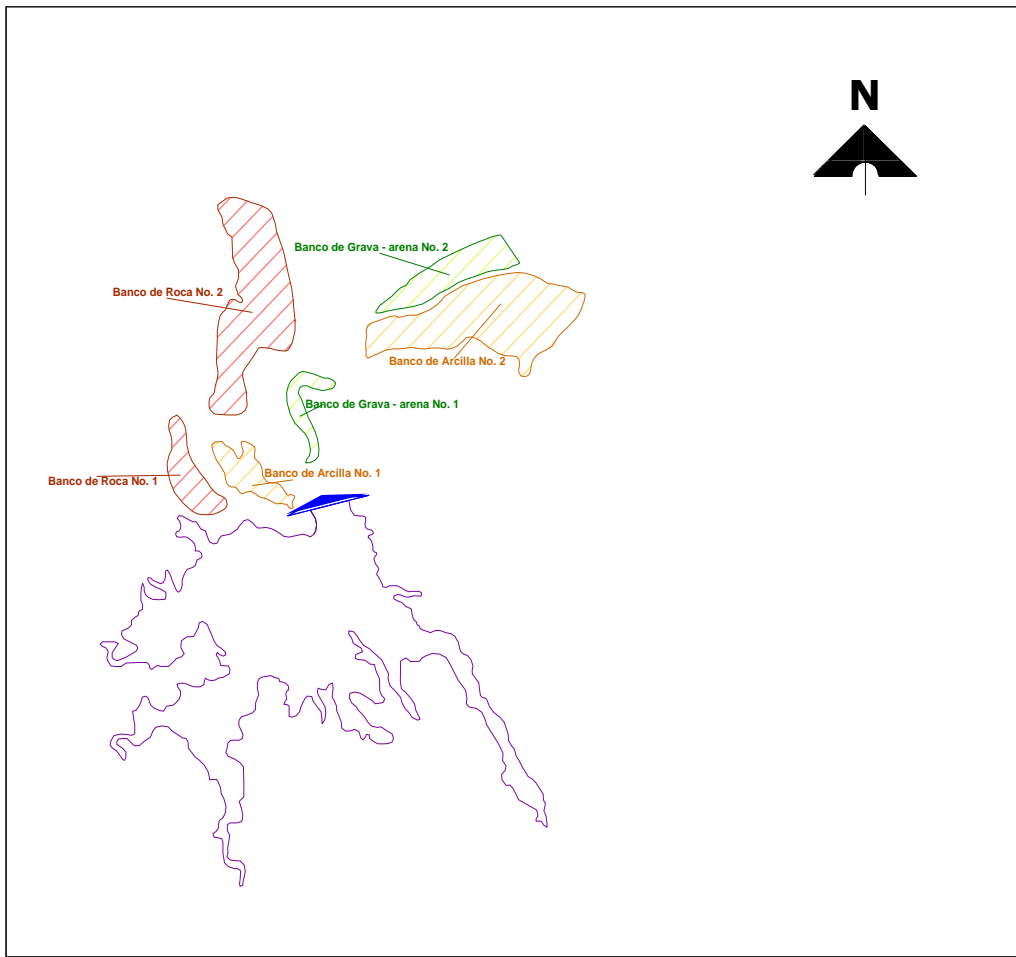
El objetivo de éste trabajo es ubicar los posibles bancos de materiales que se van a utilizar para la construcción de la cortina con un corazón de arcilla para una presa con fines de riego y desarrollo agrícola en la región, (fotografías 26 y 27).



**Foto 26 y Foto 27. Vista de los bancos de gravas, arenas y arcillas.**

La metodología utilizada para el estudio de bancos de materiales fue definir posibles sitios con el plano topográfico, después verificar con la cartografía geológica y marcar los lugares más apropiados para el reconocimiento en campo.

Posteriormente adquirir las fotografías aéreas y ortomapas de la zona para interpretarlos con estereoscopia y sistemas de información geográfica y plasmar la información de campo con georreferencia espacial y de esta forma obtener un plano de ubicación de los sitios con mayor potencial volumétrico de los distintos materiales encontrados y cartografiados. (Plano No. 5 Bancos de Préstamo)



**Plano No.5 Bancos de Préstamo<sup>24</sup>**

Se realizaron Pozos a Cielo Abierto (PCA's) donde se colectaron las muestras impuras de los diferentes materiales que se muestrearon en cada PCA. Las muestras se entregaron en bolsas de 30 Kg aproximadamente al laboratorio quien realizó la caracterización de los materiales.

La descripción de los Pozos a Cielo Abierto, se hizo una excavación de 1.50 x 1.00 x 2.00 metros con pico y pala dejando ver los materiales del suelo, se realizó el muestreo desprendiendo material fresco de las paredes de arriba hacia abajo tratando de no contaminar la muestra y midiendo con flexómetro los extremos de las muestras.

Posteriormente se procedió a cerrar las excavaciones para dejar el terreno en las mismas condiciones en las que se encontró.

<sup>24</sup> Plano No. 5 Bancos de Préstamo

---

## 5.2 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE BANCOS DE MATERIAL

El presente estudio tuvo la finalidad de conocer de manera preliminar la ubicación y el potencial de los bancos de préstamo para contar con los materiales necesarios, tanto en calidad como en cantidad, para construir la presa Tultitlán en las márgenes del río Tultitlán (Foto No. 28).

La zona de estudio se encuentra a lo largo del río Tultitlán y se encuentra entre las coordenadas geográficas 21° 08' 36.3" de latitud Norte y el meridiano 98° 38' 25.3" de longitud al Oeste del meridiano de Greenwich, el sitio se localiza en la parte norte del Estado de Hidalgo (Plano No. 1)

Se realizaron diferentes etapas, en la primera etapa se procedió a recopilar la información geológica de la zona bajo estudio, seguido del análisis de la misma, con la finalidad de tener un marco de referencia, para resolver el problema de conocer las características físico - mecánicas de los materiales, que sustentarán las obras de protección para la construcción de la presa Tultitlán.



**Foto 28. Vista del equipo de la estación total utilizada en el levantamiento topográfico de los bancos de materiales.**

En una segunda etapa, se realizaron caminamientos a lo largo del cauce del río con la finalidad de evaluar de manera preliminar las características físicas de los materiales a lo largo del trazo de la presa, así como valorar la posibilidad de usar el material de acarreo depositado en cauce como banco de préstamo y proponerlos desde el punto de vista geotécnico para su construcción.

En esta misma etapa se realizó un recorrido por los alrededores del poblado de Tultitlán, Hgo., para determinar los posibles bancos de materiales y conocer de manera preliminar sus características físico – mecánicas, (Fotos No. 29 y 30).

Se procedió a realizar los reconocimientos geológicos de cada uno de los bancos levantando su perímetro con GPS marca Garmin, con una precisión de  $\pm 4$  metros, usando el "datum" WGS84 equivalente al ITRF92 usado por INEGI en su cartografía, así mismo se seleccionaron los sitios que se exploraron con obra directa (pozos a cielo abierto).



**Foto 29 y Foto 30. Colocación de la estación total en los bancos de materiales.**

La tabla 36, está relacionado con los recorridos realizados en el poblado de Orizatlán en el estado de Hidalgo donde se encuentra ubicada en área de estudio y cuyas coordenadas son (Foto No. 31):

UTM W-535000 – N-2333000 y W-546000 – N-2342000



**Foto 31. Vista al SE 35° NW aguas arriba del río Tultitlán en el estado de Hidalgo.**



## PRESA TULTITLÁN EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

### LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LOS BANCOS DE MATERIAL

UTM

PUNTO	DESCRIPCIÓN	X	Y	Z
GPS-O1	Foto panorámica de la provincia fisiográfica de la Mesa Central del Norte	533511	2262254	1499
GPS-O2	Puente Venados	534434	2263235	1368
GPS-O3	Entronque Río San Agustín Metzquititlán o Río de Milpillas	537381	2270139	1395
GPS-O4	Tehuizila Zacualtipán	537084	2283293	1960
GPS-O5	Pliegues carreteros tipo Chevron <sup>25</sup> de un tamaño increíble	531021	2288975	1863
GPS-O6	Poblado de Molango	528796	2298656	1675
GPS-O7	Desviación al poblado de Orizatlán	543118	2327956	875
GPS-O8	Zócalo de Orizatlán	542307	2329933	458
GPS-O9	Hotel Ejecutivo	540866	2341173	224
GPS-O10	Desviación a Tultitlán	537660	2340311	258
GPS-O11	Afloramiento de margas intercaladas con Lutitas con espesores variables de hasta un metro las margas presentan nódulos de arcilla de 1 cm. Y la caliza muestra laminaciones de 10 a 15 mm el color es gris verdoso y de las Lutitas es marrón y sumamente deleznable. El echado es de NW18°/43°NE. La altitud del afloramiento es de 325 msnm.	537079	2339348	315
GPS-O12	Afloramiento que presenta estratificación casi horizontal con rumbo de NW78°/con echado de 8.5°SW	536605	2339035	346
GPS-O13	Entronque con el camino que va al Rancho Gabino	536635	2337994	317
GPS-O14	Rancho Gabino	536901	2337989	309
GPS-O15	Afloramiento de areniscas intercaladas con Lutitas con espesores de 30 a 40 cm y se encuentran invertidos a la secuencia normal, lo que implica una deformación muy grande que produce estructuras plegadas con plano axial casi horizontal. El color de las areniscas es pardo oscuro y en la base de la estratificación se presentan calcos espatulados y marcas de corriente muy bien expresadas de las que se tomó fotografía. Las Lutitas están sumamente intemperizadas. La falla que se pudo observar tiene una dirección SW10°/76°NW en donde se aprecia el	537207	2337927	264

<sup>25</sup> Significado de Chevron: Es un tipo de pliegue que tiene la forma de barras de sargento



	desplazamiento neto de unos 8.5 cm, la falla es de tipo desplazamiento dextral.			
GPS-O16	Afloramientos erráticos con poca continuidad visible de rumbo SE36°/30°SW intercalados con Lutitas este punto se encuentra aproximadamente a 25 m del punto GPS-015	537220	2337908	261
GPS-O17	Afloramiento en donde se puede ver fallas normales de rumbo SE61°/20SW y las fracturas asociadas se encuentran rellenas de material arcilloso con espaciamientos de 5 cm.	537331	2337924	233
GPS-O18	Sistemas de fracturas muy claros y manifiestos en las rocas del afloramiento con un rumbo de NW38°/42°NE y las fracturas con NE12°/69°NW. Las rocas presentes son las mismas que en el punto solamente que la posición de las mismas es casi normal, por lo que se asume que la estructura deformada es un anticlinal recostado y que además presenta una deformación intensa.	537350	2338086	230
GPS-O19	Pozo a Cielo Abierto uno (PCA-01)	537249	2338188	236
GPS-O20	Estaca marcando un punto en la dirección del eje de la cortina	537230	2338179	234
GPS-O21	Pozo a Cielo Abierto uno (PCA-02)	537262	2338188	220
GPS-O22	Afloramiento donde se presentan los planos del fracturamiento en forma escalonada (foto) y rellenos de material arcilloso con rumbo NE26°/74°SE, también se puede ver la línea de charnela de un pliegue reconvente, la dirección del buzamiento del eje es NW34°.	536528	2337893	278
GPS-O23	Poblado de Orizatlán	538847	2340282	157
GPS-O24	Final del camino que conduce al ejido 3 de Marzo	539130	2339922	193
GPS-O25	Entronque con anuncios del camino que lleva a la margen izquierda del río Tultitlán.	539517	2339664	212
GPS-O26	Entronque Huejutla	540167	2340448	184
GPS-O27	Poblado Melchor Ocampo donde vive el Sr. Plácido Hernández Hernández (guía)	536442	2336989	263
GPS-O28	Panorámica de la zona tomada en dirección SE35° desde la brecha	536917	2338013	354
GPS-O29	Acceso a un camino que conduce al río Tultitlán aguas abajo del eje (puerta verde)	536648	2338614	376
GPS-O30	Margen derecha del río Tultitlán donde se puede apreciar la posibilidad de un banco de arena y grava las fotografías tomadas son en dirección NE80°, el rumbo de la capa es NW16°/8°NE de areniscas intercaladas con margas o calizas arcillosas de color gris oscuro en las fracturas, se presenta una estratificación delgada de 8 a 10 cm y presenta en la base una superficie erosional con laminaciones y marcas de corriente asimétricas, en la parte de estratificación más delgada se presenta en forma cruzada la dirección de la corriente tomada insitu es de SE-NW 75°.	536996	2338713	229
GPS-O31	Pozo a Cielo Abierto uno (PCA-03)	537045	2338835	229

GPS-O32	Pozo a Cielo Abierto uno (PCA-04)	537179	2338321	221
GPS-O33	El afloramiento presenta un rumbo de NE2°/29°SE y el Fracturamiento tiene una dirección NW20°/66°SE. Otro patrón aquí presente tiene un rumbo de SW50°/90°	537226	2338373	223
GPS-O34	Punto de ubicación cartográfico para indicar puntos y discontinuidades	537581	2339278	233
GPS-O35	Pozo a Cielo Abierto uno (PCA-05)	537948	2339681	213
GPS-O36	Banco de grava aguas arriba en el poblado de Tultitlán	536495	2336394	282
GPS-O37	Poblado de Tultitlán centro	536436	2336339	281

**Tabla 36 Localización con GPS de los sitios visitados en la zona de estudio.**

---

### 5.3 BANCOS DE ROCA

#### Pozos a cielo abierto material tipo III.

➤ **Banco de Roca (BR – 1).**

Este banco se encuentra a 1.00 km al Noroeste aguas arriba de la boquilla programada en línea recta. Su centro de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM 536000, 2339350.

Su perímetro tiene una forma de un rectángulo irregular con su eje mayor orientado NW – SE y una longitud de 1,615 metros aproximadamente, su eje menor tiene una orientación NW – SE y un ancho promedio de 604 metros.

Se estimó un área de 974,037.79 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 1.00 metros, para un volumen estimado de 974,037.79 m<sup>3</sup>

➤ **Banco de Roca (BR – 2).**

Se encuentra a 1.50 km al Noroeste aguas arriba de la boquilla programada en línea recta. Su centro de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM 537125, 2339755.

Su perímetro tiene una forma de un rectángulo irregular con su eje mayor orientado NE – SW y una longitud de 685 metros aproximadamente, su eje menor tiene una orientación NW – SE y un ancho promedio de 372 metros.

Se estimó un área de 254,803.78 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 1.00 metros, para un volumen estimado de 254,803.78 m<sup>3</sup>

## 5.4 BANCO DE GRAVAS

### ➤ Banco de Grava (BG-1).

Se encuentra a 2.00 Kilómetros al suroeste aguas arriba de la boquilla programada en línea recta. Su centro de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM X= 536,495 y Y=2, 336,394. Su perímetro tiene una forma de un cuadrado irregular con su eje mayor orientado NW-SE y longitud de 972 metros aproximadamente, su eje menor tiene una orientación NW-SE y un ancho promedio de 16 metros.

Se estimó un área de 15,523.52 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 2.00 metros, para un volumen estimado de 31,047.04 m<sup>3</sup>. Aquí se realizó el pozo a cielo abierto PCA-6 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 37):

Profundidad (metros)	Material
0.00 a 2.00	Boleos con diámetros de hasta 40 cm de arena y grava.

Tabla 37 Descripción del banco de grava BG-1.

## 5.5 BANCOS DE ARENAS

### Pozos a cielo abierto materia Tipo II.

### ➤ Banco de Grava- Arena (BGA-1).

Se localiza a 1.5 Kilómetros al NW de lo que será la boquilla. El centro de gravedad del banco está dado por las coordenadas UTM X=537,948 y Y= 2, 339,681. Tiene una forma alargada, su eje mayor posee una longitud aproximada de 1,220 metros y una orientación NE-SW, su anchura es variable de 75 metros, con una superficie estimada de 91,450.50 m<sup>2</sup> y un espesor de 2.50 metros, para obtener un volumen de 228,563.75 m<sup>3</sup>. En esta zona se realizó un pozo a cielo abierto PCA-5 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 38):

Profundidad (metros)	Material
0.00 a 0.10	Suelo Vegetal
0.10 a 1.80	Limo con arenas de color pardo oscuro.
1.80 a 2.45	Boleos de río con tamaños de 8 cm hasta los 40 cm de diámetro.

Tabla 38 Descripción del banco de arena BGA-1

➤ **Banco de Grava-Arena (BGA-2).**

Se encuentra a 1.5 kilómetros al norte de la boquilla propuesta. Se centró de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM X= 537,748, Y= 2, 339,681. El banco tiene una forma alargada orientada NE-SW con una longitud de su eje mayor de 1,213 metros, mientras que su anchura promedio es de 64 metros, cubicándose 194,106.53 m<sup>3</sup>.

Aquí se realizó el pozo a cielo abierto PCA-5 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 39):

<b>Profundidad (metros)</b>	<b>Material</b>
0.00 a 0.10	Suelo Vegetal
0.10 a 1.75	Limo con arenas de color pardo oscuro
1.75 a 2.52	Boleos de río con tamaños de 8 cm hasta los 40 cm de diámetro.

**Tabla 39 Descripción del banco de arena BGA-2.**

➤ **Banco de Grava- Arena (BGA-3).**

Se encuentra a 0.2 KM al norte de la boquilla propuesta. Su centro de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM X=537,230 y Y=2, 338,179. Su perímetro tiene una forma alargada con eje mayor orientado NE- SW y longitud de 197 metros, su eje menor tiene una orientación NW-SE y una longitud de 66 metros. Se estimó un área de 13,248.98 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 2.50 metros, para un volumen estimado de 33,122.45.

En esta zona se realizó el pozo a cielo abierto PCA-1 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 40):

<b>Profundidad (metros)</b>	<b>Material</b>
0.00 a 0.38	Suelo Vegetal
0.38 a 1.50	Gravas y Boleos de hasta 40 cm con predominio de 13 a 20 cm en una matriz de limo de color rojizo a pardo.
1.50 a 3.00	Boleos de hasta 60 cm de diámetro en una matriz constituida por gravas, arenas y arcillas.

**Tabla 40 Descripción del banco de arena BGA-3.**

➤ **Banco de Grava- Arena (BGA-4).**

Se encuentra a 0.15 kilómetros al noroeste de la boquilla propuesta. Su centro de Gravedad se encuentra en las coordenadas UTM X= 537,262 y Y= 2, 338,188.

Su perímetro tiene una forma alargado con eje mayor orientado NE-SW y longitud de 360 metros, su eje menor tiene una orientación NW-SE y una longitud de 60 metros. Se estimó un área de 21,541.14 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 2.50 metros, para un volumen estimado de 53,852.85 m<sup>3</sup>.

En este punto se realizó el pozo a cielo abierto PCA-2 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 41):

<b>Profundidad (metros)</b>	<b>Material</b>
0.00 a 0.28	Suelo Vegetal
0.28 a 0.90	Arcilla de color pardo muy plástica
0.90 a 2.00	Boleos de hasta 60 cm de diámetro en una matriz de arcilla y limos.
2.00 a 3.00	Boleos con gravas y arenas de tamaños mayores al horizonte superior

**Tabla 41 Descripción del banco de arena BGA-4.**

## **5.6 BANCOS DE ARCILLAS**

### **Pozos a cielo abierto material tipo 1.**

➤ **Banco de arcilla (BA-1).**

Se encuentra a 2.00 Km el noreste de la boquilla propuesta. Su centro de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM X=539,00 y Y= 2, 339,500. Su perímetro tiene forma de rectángulo amorfo con su eje mayor orientado NE-SW y longitud de 703 metros.

Se estimó un área de 808,569.92 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 1.00 metro, para un volumen estimado de 808,569.92 m<sup>3</sup>, aquí se realizó el pozo a cielo abierto PCA-2 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 42):

<b>Profundidad (metros)</b>	<b>Material</b>
0.00 a 0.60	Arenas con limos de color pardo.
0.60 a 1.00	Boleos con una matriz de arena y limos de coloraciones marrones claras y oscuras.
1.00 a 2.00	Aumentan los contenidos de los boleos con tamaños entre los 30 y 40 cm de diámetro.

**Tabla 42 Descripción del banco de arcilla BA-1**



➤ **Banco de arcilla (BA-2).**

Se encuentra a 1.20 Km al Noreste de la boquilla propuesta. Su centro de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM X=537,179 y Y= 2, 338,321.

Su perímetro tiene una forma alargada con su eje mayor orientado NE-SW y longitud de 875 metros aproximadamente, su eje menor tiene una orientación NW-SE y una longitud de 263 metros.

Se estimó un área de 230, 274.58 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 1.00 metro, para un volumen estimado de 230,274.58m<sup>3</sup>, cerca de aquí se realizó el pozo a cielo abierto PCA-4 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 43):

<b>Profundidad (metros)</b>	<b>Material</b>
0.00 a 0.60	Horizonte arenoso con limos de color pardo.
0.60 a 1.00	Boleos con matriz de arena y limos de coloraciones marrones claras y oscuras.
1.00 a 2.00	Aumentan los contenidos de boleos con tamaños entre los 30 y los 40 cm de diámetro.

**Tabla 43 Descripción del banco de arcilla BA-2.**

➤ **Banco de Arcilla (BA-3).**

Se encuentra a 0.30 Km al Noroeste de la boquilla propuesta. Su centro de gravedad se encuentra en las coordenadas UTM X=537,500 y Y =2, 338,250. Su perímetro tiene una forma de un cuadrado alargado con su eje mayor orientado NW-SE y longitud de 860 metros aproximadamente, su eje menor tiene una orientación NE-SW y una longitud de 418 metros.

Se estimó un área de 359,814.22 m<sup>2</sup> con un espesor promedio de 1.00 metros, para un volumen estimado de 359,814.22 m<sup>3</sup>.

En este punto se realizó el pozo a cielo abierto PCA-3 y el corte estratigráfico promedio del banco es el siguiente (Tabla 44):

<b>Profundidad (metros)</b>	<b>Material</b>
0.00 a 0.40	Suelo limo arenoso de color pardo oscuro con arcilla.
0.40 a 0.90	Gravas con arenas y escasos boleos de hasta 30 cm aproximadamente.
0.90 a 2.00	Boleos con diámetros de hasta 40 cm con una matriz de arena y gravas.

**Tabla 44 Descripción del banco de arcilla BA-3.**

**CÁLCULO DE VOLÚMENES PARA EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA  
(Tabla 45).**

	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
BGA-1	91,425.50	2.5	228,563.75
BGA-2	77,642.61	2.5	194,106.53
BGA-3	13,248.98	2.5	33,122.45
BGA-4	21,541.14	2.5	53,852.85
BA-1	808,569.92	1	808,569.92
BA-2	230,274.58	1	230,274.58
BA-3	359,814.22	1	359,814.22
BR-1	974,037.79	1	974,037.79
BR-2	254,803.78	1	254,803.78
BG-1	15,523.52	0.6	9,314.11
Total	2,846,882.04		3,146,459.98

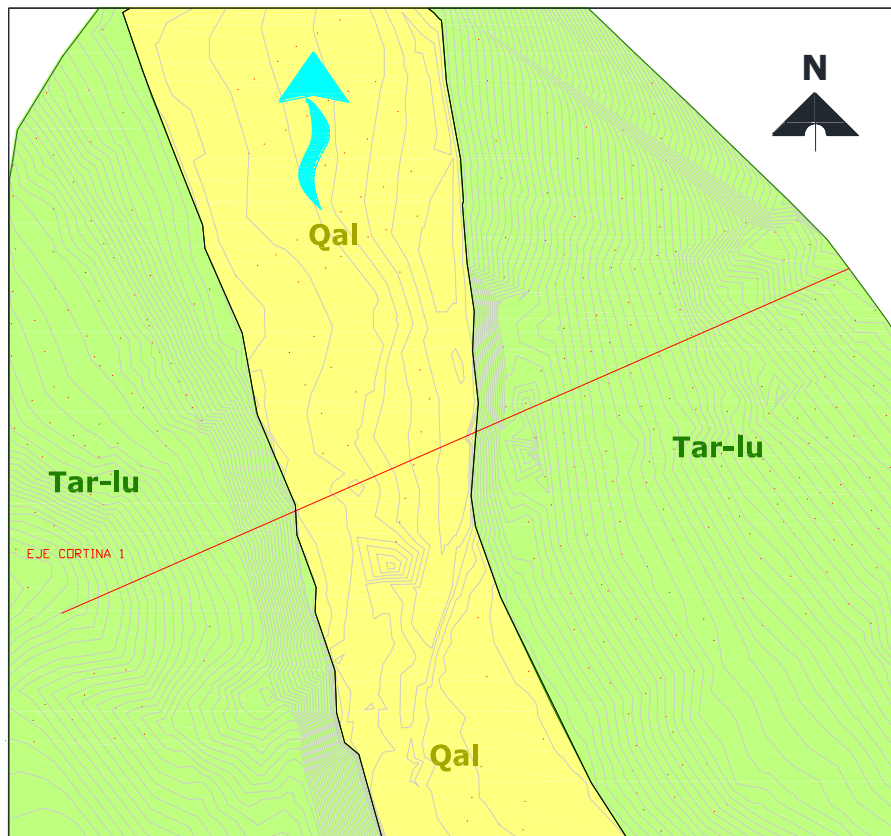
Tabla 45 Cálculo de volúmenes para la construcción de la presa Tultitlán.

## 6 LOCALIZACIÓN DE LA BOQUILLA

### 6.1 LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO SUPERFICIAL DE LA BOQUILLA

Se realizó un levantamiento geológico a detalle del terreno que contendrá la cortina y obras complementarias del proyecto en la boquilla del río Tultitlán, apoyado en el plano topográfico del sitio obtenido en campo y con la geología regional de INEGI.

Se realizó el vaciado de datos en dicho plano incluyendo la información correspondiente a las unidades de roca que afloran, conforme a la columna litológica de la zona de estudio, los contactos de las unidades geológicas que afloran en el sitio, ubicación de estructuras, accidentes estructurales (discontinuidades, estratificación, fallas y fracturas) que presenta el macizo rocoso, así mismo se realizó una descripción completa de las rocas y de la geología estructural observada, destacando la forma en que puede afectar ésta al proyecto, valorando en forma preliminar su comportamiento mecánico e hidráulico (Plano No. 4).



**Plano No.4 Geología de la Boquilla<sup>26</sup>**

En la zona de la boquilla y el vaso afloran primordialmente rocas sedimentarias como Lutitas y areniscas y en menor proporción rocas de tipo aluvial las cuales se describirán a continuación (Foto No.32):



**Foto 32. Vista de las rocas sedimentarias en el sitio de la presa.**

<sup>26</sup> Plano No. 4 Geología de la Boquilla

---

### 6.1.1 ARENISCAS Y LUTITAS (Tar – lu)

Este tipo de unidad litológica está constituido por interestratificaciones de areniscas y lutitas, con predominancia en la zona de las primeras. Mineralógicamente las areniscas se constituyen por cristales de cuarzo, feldspatos y micas, en una textura de grano medio a fino.

Su estructura es compacta en estratos de algunos centímetros de espesor; el sistema principal de fracturas es en dirección noroeste – sureste y el sistema secundario tiene una dirección preferencial suroeste – noreste (Foto 33).

Morfológicamente constituyen sierras medianamente altas y complejas con cimas puntiagudas y laderas de pendiente de abrupta a suave.



Foto 33. Vista de las rocas sedimentarias en el sitio donde se va a localizar la boquilla de la presa.

### 6.1.2 ALUVIÓN (Qal)

Se manifiestan en la zona como unos depósitos clásticos sin consolidar, constituidos principalmente por fragmentos subred-ondeados de rocas sedimentarias y en menor proporción por fragmentos de rocas ígneas; el tamaño de los clastos es en general desde arenas hasta cantos rodados.

### 6.1.3 TERRAZAS DE INUNDACIÓN (Qre)

Se presentan estas terrazas aluviales en las partes bajas de las sierras, entre éstas y el cauce del río, Están constituidas por sedimentos finos de naturaleza arcillo arenosa, presentando una morfología de terrazas adyacentes al cauce (Tabla 46).

Clasificación	Superficie (m <sup>2</sup> )	% (Respecto a la superficie Total)	Estructura	Morfología
Calizas – Margas	12,000.00	4.66	Presenta una estructura en forma de un anticlinal con una estratificación media a gruesa. Se encuentran en contacto con las areniscas – lutitas y lutitas – margas, por fallas inversas.	Estas se encuentran topográficamente en las partes altas y de algunas lomas de la zona. Estas rocas se encuentran en la margen izquierda del embalse.
Calizas – Lutitas	6,000	2.33	Se presentan como una parte de estructuras de anticlinales y en algunas partes como sinclinales. Las calizas se presentan en una estratificación mediana a gruesa. Su contacto es por medio de fallas inversas.	Estas rocas se presentan en las partes altas de la zona, que están localizadas en la margen izquierda del embalse.
Lutitas – Margas	105,275	40.89	Estas rocas se presentan en estratificación delgada a media, están formando parte de un sinclinal y se encuentran en contacto con otras rocas calizas – lutitas y areniscas – lutitas, por medio de fallas inversas.	Estas rocas se localizan en la margen izquierda y centro de donde va a quedar el embalse.
Areniscas – Lutitas	133,500	51.86	Las areniscas – lutitas, que se tienen en la región, se presentan en una estratificación mediana a gruesa, estas rocas forman parte de anticlinales y sinclinales. Estas rocas son las más jóvenes de todas las sedimentarias que se tienen en el área. Sus contactos son concordantes con las areniscas – lutitas.	En este tipo de rocas es donde se piensa levantar la cortina de la presa Tultitlán.
Basaltos - Andesitas	660	0.26	Estos cuerpos de rocas ígneas, se presentan en las partes altas de la zona y están cortando a las rocas más antiguas de la zona. Estas rocas están formadas por basaltos y andesitas.	Estas rocas se presentan de forma aislada en la parte sur de la margen izquierda y son cuerpos pequeños
Aluvión			Estos materiales se localizan sobre los arroyos que se localizan en la zona. Estos materiales se encuentran de diferentes tamaños y no presentan una estratificación definida, debido a la variedad de sus materiales que la componen.	Estos materiales se localizan en las partes bajas topográficamente y se encuentran sobre los cauces de los arroyos.

**Tabla 46 Distribución de los tipos de roca que afloran en la zona de estudio.**

---

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La presente tesis se realizó a base de información de un estudio básico de la presa por CONAGUA, en el que este trabajo expone el Estudio Básico de Geotecnia de la Presa Tultitlán localizada en el poblado del mismo nombre Tultitlán, Estado de Hidalgo, este estudio se basó en determinar las características del vaso y de la boquilla de la presa.

Las características obtenidas de la boquilla desde el punto de vista topográfico son asimétrica, presentando mayor pendiente en la margen izquierda, su forma es de una "U" abierta, labrada en materiales sedimentarios de tipo areniscas – lutitas en ambas márgenes, los cuales subyacen a los materiales aluviales del cauce. Las rocas sedimentarias que conforman la boquilla, se encuentran con un grado de fracturamiento moderado, superficial.

Se consideró que la roca que conforma ésta boquilla se estudie más a profundidad con exploraciones directas e indirectas y pruebas de permeabilidad a priori, con lo cual se considera que es apta para recibir la construcción de una presa como la de Tultitlán, que va a tener unos 50 metros de elevación desde el fondo del cauce.

Los estudios geológicos que se van a realizar con más detalle en la zona de la boquilla, se van a basar en estudios de geofísica (métodos eléctrico y sísmico) y perforación (barrenación en diámetro "NQ") a una profundidad mínima en el cauce de 50 m, con la cual se podrá definir la factibilidad de la construcción de la cortina.

En la localidad se tienen los volúmenes suficientes de materiales para la construcción de una presa de materiales graduados, con un corazón esbelto (0.5:1) e impermeable de arcilla, grava, arena y enrocamiento. En caso de que se opte por una cortina de concreto, también puede decirse que existen los materiales pétreos necesarios para este fin.

En el caso de que se deseen construir plantas de potabilización de agua, sistemas de bombeo y de conducción, se deberán realizar estudios geotécnicos previos que permitan fundamentar correctamente los diseños.

Para esta presa se realizaron estudios de geotecnia, y geología de detalle, donde quedará ubicada la cortina, en la boquilla. En los cuales se realizaron ocho Pozos a Cielo Abierto a tres metros de profundidad y con las siguientes pruebas se determinaron las características y propiedades del suelo.

La hidrología fue un punto de apoyo para esta tesis, ya que de ésta toman bastantes cálculos para el análisis de la presa y el vaso de captación misma, como también el tipo de estructura que va a soportar toda la capacidad del agua y al mismo tiempo llevar un orden en las propuestas de diseño y construcción.

Por la cual para la determinación del gasto máximo de la población se hizo un estudio de poblaciones cercanas a Tultitlán, en este estudio se encontró que, el 76.44% de la población tiene acceso al suministro de agua potable, el 57.06% es con toma domiciliaria,



---

el restante 19.37% cuenta con infraestructura dentro de sus domicilios; el 17.11% se suministra mediante pozo, 1.86% de una llave publica, 0.88% se suministra de pipas.

Considerando el estudio, el valor mínimo de dotación es de 150 l/h/día para el suministro de agua potable, se consideran necesarios 17,413 m<sup>3</sup> de agua al día, por lo que deberán explotarse diariamente 24,678 m<sup>3</sup> por día de agua para las necesidades municipales. Lo que representa un volumen anual de 9'007,634 m<sup>3</sup> por año de agua Potable para la población considerada en 2005.

Los resultados obtenidos por la encuesta, se obtuvo una dotación media de 20 l/hab/día, con ello el gasto medio diario es de 3400 m<sup>3</sup>/día para 170000 habitantes proyectados a 2008.

Por todos estos estudios realizados en todas sus condiciones hidrológicas se concluye que la dotación de agua requerida para riego es de 1.16 m<sup>3</sup>/s, y el agua potable es de 1.919 m<sup>3</sup>/s (para lo cual se consideró una dotación de 230 l/hab/día), para los tres municipios considerados en este estudio.

También se realizó una simulación en la cual se observó que debido al clima de la zona, la evaporación es tan alta e importante como la demanda, lo que impide un desarrollo más alto de la cortina, y con esto se tiene que compensar el volumen perdido, pues entre más extensa sea la superficie de evaporación mayor es ésta.

Es importante señalar que la simulación se realiza incrementando el gasto de demanda 2 m<sup>3</sup>/s por mes analizado, superior al de diseño; lo que implica que para un gasto menor se puede suponer que no habrá déficit.

La altura acorde con los resultados de la simulación está directamente relacionada con el área del vaso, lo que implica también incrementar el valor de evaporación, y no hay una ganancia importante al incrementar la capacidad.

---

## RECOMENDACIONES

- Para determinar qué tipo de presa se debe construir, lo primero es hacer un estudio geológico - geotécnico, para determinar si es una presa de materiales graduados, de enrocamiento, de tierra, o de concreto tipo gravedad. Para este proyecto se construirá una de materiales graduados con una altura 50 metros de elevación.
- Se deben de tomar en cuenta varios estudios como, un estudio geológico, un estudio hidrológico para saber el tamaño de la cuenca donde se pretende construir la presa, otro estudio es la geotecnia del lugar, para lograr un buen diseño y construcción de una cortina, y de gran estabilidad y durabilidad, que le permita al estructurista realizar un buen proyecto.
- La obra en construcción debe tener un estudio de las condiciones estructurales de mecánica de suelos, para lograr una eficiencia en las fuerzas que actúan como los empujes en los rellenos de tierra, resistencia bajo las zapatas de las estructuras, etc.

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Datos hidrométricos del Río Tultitlán “**COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**” (**CONAGUA**), Subdirección general técnica, Gerencia de aguas superficiales e ingeniería de ríos Estación: San Felipe Orizatlan, Corriente: Río Tultitlan, Región: 26 Panuco, Cuenca: Río San Pedro, Estado: Hidalgo.

### **2. De Consejos de Recursos Minerales se consultó:**

- Plano Geológico de la Carta Pachuca F14 – 11 escala 1:250,000
- Plano Geológico hoja Huejutla F14 – D41 escala 1:50,000 y
- Plano Geológico Tamazunchale F14 – D40 escala 1:50,000

### **3. De INEGI se consultó:**

- Plano Topográfico hoja Huejutla F14 – D41 escala 1:50,000
- Tamazunchale F14 – D40 escala 1:50,000
- Carta Geológica Pachuca F14 – 11 escala 1:250,000.

4. [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com) , Imagen de Carreteras de Pachuca, estado de Hidalgo.

5. **Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 2006, 2010.** Mapa de Carreteras Edo. Hidalgo

### **6. Consejo de Recursos y Minerales (CRM), 1992.**

- Mapa de Climas
- Mapa de vegetación
- Mapa Fisiográfico
- Mapa de Ríos
- Mapa Geológico, Edo. Hidalgo

7. [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) , Carta de Subcuenca Hidrográfica **RH26Dz-** Río San Pedro, Cuenca Río Moctezuma.

8. Krynine, y Judd, “**Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros**”, Ed. Omega, España, 1972.

- 
9. Ruiz Vázquez, M. y González Huesca, S, “**Geología Aplicada a la Ingeniería Civil**”, Grupo Noriega Editores, Limusa, México, 1999.
  
  10. APARICIO M., F., Javier, “**Fundamentos de Hidrología de Superficie**”, México, Limusa Noriega Editores, 1989.
  
  11. CHOW, Ven Te. 1 al 9, “**Hidrología Aplicada**”, Bogotá, Ed. McGraw-Hill Interamericana, 1994.
  
  12. Guevara Pérez Ediberto/ Cataya Di Lena Humberto, 1991, “**Hidrología para Ingenieros**” Ed. Mc Graw Hill, Segunda Edición, México.
  
  13. Consejo de Recursos Minerales, “**Monografía Geológico – Minero**” del Estado de Hidalgo. Secretaría de Energía e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas e Industria Básica.1992.

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localización del área de estudio.....	7
Figura 2 Mapa de carreteras de Pachuca, a San Felipe Orizatlán, Hidalgo.....	8
Figura 3 Mapa de localización del área de estudio de la Presa Tultitlán. ....	9
Figura 4 Mapa de localización de posibles sitios para la construcción de presas de almacenamiento en comunidades de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán, Hidalgo. ....	10
Figura 5 Mapa de carreteras del estado de Hidalgo. ....	11
Figura 6 Mapa de climas del estado de Hidalgo.....	13
Figura 7 Mapa de vegetación del estado de Hidalgo. ....	14
Figura 8 Mapa Fisiográfico del estado de Hidalgo. ....	15
Figura 9 Mapa de Provincias Geológicas de México, sobrepuestas al Mapa Geológico.....	16
Figura 10 Mapa de ríos del estado de Hidalgo. ....	19
Figura 11 Red Hidrológica de la Subcuenca Hidrográfica RH26Dz – del Río Moctezuma y que pertenece al Río San Pedro.....	20
Figura 12 Mapa geológico de la parte nororiental del estado de Hidalgo.....	21
Figura 13 Vaso de almacenamiento de la presa Tultitlán. ....	34
Figura 14 Opciones de ubicación de los ejes de cortina A y B. ....	35
Figura 15 Grafica de Población acumulada de Huejutla de Reyes, Jaltocán y San Felipe Orizatlán. ....	38
Figura 16 Porcentaje de la población que declara tener servicio de agua potable de la red municipal. ....	39
Figura 17 Principales niveles y volúmenes en el vaso de un almacenamiento.....	43
Figura 18 Curva Elevaciones-áreas-volúmenes del vaso de almacenamiento, Tultitlán. ....	45
Figura 19 Tetch máximo para el cálculo de bordo libre para el vaso B.....	49
Figura 20 Topografía del embalse de la presa Tultitlan, Vaso B. ....	56
Figura 21 Primera alternativa para localización de la presa Tultitlán a una altura de 70 metros. ....	57
Figura 22 Segunda alternativa para localización de la presa Tultitlán a una altura de 48.4575 m.....	60

---

Figura 23 Datos de la presa Tultitlán.....	65
Figura 24 Propuesta de localización de trabajos geotécnicos de exploración sobre el eje de la cortina. .....	75



---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Población de proyecto al 2005 .....	36
Tabla 2 Necesidades municipales de agua potable para la población considerada en el año 2005. ....	37
Tabla 3 Población seleccionada de Proyecto .....	38
Tabla 4 Consumo mensual promedio en las viviendas .....	39
Tabla 5 Dotación por habitante calculada a partir de la información de los usuarios de su consumo mensual.....	40
Tabla 6 Métodos utilizados por la población para complementar el suministro de agua potable .....	40
Tabla 7 Resumen de datos para simular el vaso.....	44
Tabla 8 Resumen de datos para obtener la curva elevaciones-áreas volúmenes.....	44
Tabla 9 Simulación de vaso, considerando un gasto de extracción para agua potable de 1.16 m <sup>3</sup> /s.....	45
Tabla 10 Simulación de vaso, considerando un gasto de extracción para agua potable de 2.0 m <sup>3</sup> /s.....	46
Tabla 11 Coeficiente de descarga .....	48
Tabla 12 ESCALA de viento BEAUFORT, usada en tierra.....	49
Tabla 13 Niveles de azolve del vaso A.....	51
Tabla 14 Niveles de azolve del vaso B.....	51
Tabla 15 Condición A de cargas ordinarias al NAMO.....	58
Tabla 16 Condición B.1, cargas extraordinarias (agua al NAME sin sismo). ....	58
Tabla 17 Condición B.2, cargas extraordinarias (agua al NAMO con sismo). ....	59
Tabla 18 Condición D. vaso vacío con sismo Pseudo – estático. ....	59
Tabla 19 Volumen de material que se requiere para la presa.....	61
Tabla 20 Cálculo de las fuerzas actuantes en la presa. ....	61
Tabla 21 Cálculo de las cargas ordinarias actuantes al NAMO. ....	62
Tabla 22 Cargas extraordinarias al NAME sin sismo. ....	62
Tabla 23 Cargas extraordinarias al NAMO con sismo. ....	63
Tabla 24 Vaso vacío con sismo.....	63

---

Tabla 25	Datos de la dimensión final de la presa de gravedad. ....	64
Tabla 26	Volumen de material requerido para la construcción de la presa.....	64
Tabla 27	Localización de las calas realizadas en la zona de estudio.....	73
Tabla 28	Descripción de la profundidad y tipos de materiales descritos de los Pozos a Cielo Abierto (PCA's) para las terracerías y obras de protección. ....	77
Tabla 29	Descripción de los Pozos a Cielo Abiertos para localización de material para la construcción de los bordos.....	78
Tabla 30	Determinación de los Finos por Lavado .....	78
Tabla 31	Determinación del Contenido de Humedad y Clasificación.....	78
Tabla 32	Determinación del contenido de Límites de Consistencia.....	78
Tabla 33	Resultado de las pruebas Proctor .....	79
Tabla 34	Determinación de la Densidad de Sólidos.....	79
Tabla 35	Resultados de los Análisis Granulométricos. ....	79
Tabla 36	Localización con GPS de los sitios visitados en la zona de estudio.....	86
Tabla 37	Descripción del banco de grava BG-1.....	88
Tabla 38	Descripción del banco de arena BGA-1 .....	88
Tabla 39	Descripción del banco de arena BGA-2. ....	89
Tabla 40	Descripción del banco de arena BGA-3.....	89
Tabla 41	Descripción del banco de arena BGA-4.....	90
Tabla 42	Descripción del banco de arcilla BA-1 .....	90
Tabla 43	Descripción del banco de arcilla BA-2. ....	91
Tabla 44	Descripción del banco de arcilla BA-3. ....	91
Tabla 45	Cálculo de volúmenes para la construcción de la presa Tultitlán.....	92
Tabla 46	Distribución de los tipos de roca que afloran en la zona de estudio. ....	95

---

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 y Foto 2 Vista del camino para llegar al sitio de la presa en Huejutla. ....	12
Foto 3 Cauce del Río Tultitlán donde va a quedar la presa.....	20
Foto 4 y Foto 5 Fotografías del cauce del río Tultitlán, dónde se piensa colocar la cortina de la presa. .....	32
Foto 6 y Foto 7. Vista del río Tultitlán desde la margen izquierda y vista desde la parte superior de la margen derecha donde se tiene localizado el trazo de la cortina. ....	33
Foto 8 Localización preliminar de la boquilla de la presa Tultitlan, Vaso B. ....	56
Foto 9 y Foto 10. Localización del pozo PCA-01 .....	67
Foto 11, Foto 12 y Foto 13. Localización del pozo PCA-02.....	68
Foto 14, Foto 15 y Foto 16. Localización del pozo PCA-03.....	69
Foto 17 y Foto 18. Localización del pozo PCA-04.....	70
Foto 19, Foto 20 y Foto 21. Localización del pozo PCA-05.....	71
Foto 22, Foto 23, Foto 24 y Foto 25. Localización del pozo PCA-06, sobre los arroyos del Río Tultitlán. .....	72
Foto 26 y Foto 27. Vista de los bancos de gravas, arenas y arcillas. ....	80
Foto 28. Vista del equipo de la estación total utilizada en el levantamiento topográfico de los bancos de materiales.....	82
Foto 29 y Foto 30. Colocación de la estación total en los bancos de materiales.....	83
Foto 31. Vista al SE 35° NW aguas arriba del río Tultitlán en el estado de Hidalgo.....	83
Foto 32. Vista de las rocas sedimentarias en el sitio de la presa. ....	93
Foto 33. Vista de las rocas sedimentarias en el sitio donde se va a localizar la boquilla de la presa. ....	94

---

## **ANEXOS**

### **PLANOS Y CARTA**

1. Plano 1. Geología Estructural.....	29, 82
2. Plano 2. Geología del Vaso.....	30, 31
3. Plano 3. Bancos de Material.....	66
4. Plano 4. Geológico Superficial de la Boquilla.....	93
5. Plano 5. Bancos de Préstamo.....	81
6. Subcuenca RH26Dz- R. San Pedro, Cuenca R. Moctezuma.....	20