

Simulación hidrodinámica y evaluación de calidad del agua del río Jupilingo para su derivación con fines de riego y consumo humano en la aldea Santa Bárbara, Chiquimula.

Hydrodynamic pretense and evaluation of Jupilingo`s river quality of water for its derivation with watering and human consumption purposed in the village of Santa Barbara, Chiquimula.

RESUMEN

La asociación de las condiciones climáticas, culturales y sociales, además de factores topográficos, económicos y el deterioro de los recursos naturales renovables provocaron la alarma de estado de hambruna en los últimos meses en la región Chortí, situación que no ha mejorado significativamente, a pesar de la ayuda que han brindado diferentes sectores, debido a la complejidad de la situación. La aldea Santa Bárbara y las comunidades adyacentes, a pesar de situarse a poca distancia de la cabecera departamental de Chiquimula, han sido afectadas fuertemente por dicha calamidad. Para el departamento de Chiquimula el área cultivable por persona corresponde a 0.09 hectáreas, situación que provoca el uso adecuado y maximización de los recursos naturales con el apoyo estudios científico-tecnológicos que sirvan de base para resolver problemas de fondo, en el caso particular, de investigaciones preliminares para proyectos vinculados con la problemática agroalimentaria de la zona, específicamente de fuentes superficiales de agua para riego y consumo humano.

Durante el período comprendido entre mayo de 2001 y octubre de 2002 se ejecutaron varios análisis de calidad de agua y estudios topográficos sobre el río Jupilingo (Jocotán), en jurisdicción de la aldea Santa Bárbara, Chiquimula, los cuales permitieron, con el apoyo de registros hidrológicos y a través de un minucioso razonamiento estadístico e hidráulico, establecer una caracterización del agua del afluente, contemplando los parámetros de calidad y cantidad del fluido y su efecto directo sobre la morfología del cauce principal del sistema superficial, simulando el comportamiento de aforos extremos para el sitio de interés utilizando períodos de retorno de 50, 100 y 1000 años para caudales máximos, obteniendo 610.24 m³/seg, 689.71 m³/seg y 952.21 m³/seg respectivamente; y de 5, 10 y 15 años de recurrencia para caudales mínimos, revelando de 2.49 m³/seg, 1.51 m³/seg y 0.96 m³/seg para cada valor probabilístico de ocurrencia.

Para realizar la simulación hidrodinámica se utilizó un modelo hidráulico en base a levantamientos topográficos formalmente relacionados con 2 bancos de marca ubicados a 9 kilómetros del sitio de interés, avalados por el Instituto Geográfico Nacional, creando un total de 3 poligonales con 70 mojones.

Asimismo se evaluaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos más importantes del agua para su utilización con fines de riego y consumo humano para determinar el tipo de diseño de estructuras y manejo necesarios para poder cumplir con los límites establecidos por las normas correspondientes, garantizando así la durabilidad del sistema de distribución a diseñar y la salud de los consumidores.

El estudio permitió conocer el efecto del alto grado de deforestación de la cuenca y de contaminación sobre las condiciones del agua del río Jupilingo, obteniendo valores de hasta 2000 UNT (unidades nefelométricas de turbidez) en época lluviosa y de 90000 NMP/100ml (número más probable por cada 100 ml) de muestra de agua para coliformes fecales entre otros datos de interés.

Todo lo anterior con el propósito fundamental de crear bases sólidas que puedan ser utilizadas por especialistas para el diseño de una bocatoma que permita extraer hasta 355 litros por segundo del río para riego de más de 250 Ha y consumo humano de los habitantes de la Aldea Santa Bárbara, servicios necesarios en la región, y al mismo tiempo poder establecer los requerimientos para el funcionamiento eficiente de ambos componentes (riego y consumo humano) y consecuentemente su diagnóstico financiero.

A través de los resultados obtenidos se comprobó que para utilizar el agua del río Jupilingo para los propósitos mencionados, es necesario un tratamiento previo que incluya sedimentación, floculación y purificación y para el diseño de la estructura de bocatoma se debe contemplar las dimensiones adecuadas para permitir el paso de los caudales extremos mencionados.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de la investigación agroalimentaria del país, específicamente en la región oriental, hace obligatorio el uso eficaz de los recursos naturales. Las prácticas agrícolas utilizadas en la aldea Santa Bárbara y en los alrededores son evidentemente rudimentarias, las cuales carecen de una planificación estratégica.

Para canalizar el recurso hídrico superficial del río Jupilingo (río Jocotán) con fines de riego, es necesario contar con un análisis exhaustivo de las condiciones del flujo que permita diseñar una bocatoma adecuada, que consienta la extracción de un caudal, no mayor del 15% del flujo superficial del río en época de estiaje evaluando los efectos ambientales en el área de influencia del cauce.

Debido a las condiciones sociales y demanda del servicio local de agua potable, se ha incorporado este componente al estudio.

La presente tesis forma parte del proyecto armónico “estudios, planos y diseños finales del sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Chiquimula” a cargo de la firma The Louis Berger Group Inc., ente cooperante del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) y proyecto de tesis. El objetivo general contempló un diagnóstico de las principales fuentes de agua superficial de las cuencas adyacentes al valle de Chiquimula para el desarrollo local vinculado con el recurso hídrico superficial. Para efecto de desarrollar el proyecto de forma integral y aprovechar al máximo la inversión y el trabajo realizado por un grupo multidisciplinario, se recurrió a constituir la diversidad de la utilización del recurso hídrico en las ramas de la ingeniería para el desarrollo local a través de varias investigaciones alternas. Por ello y para contribuir al desarrollo agroalimentario del sector de Santa Bárbara y aldea Tapazán, dentro de las exploraciones alternativas contempladas se estudió la posibilidad de captar una fracción del caudal del río Jupilingo con fines de riego para cultivos en las vegas contiguas al cauce y consumo humano.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las condiciones climáticas, culturales, topográficas y económicas en la región Chortí provocaron la alarma de estado de hambruna en los últimos meses, motivo por el cual fue necesario contribuir a la competitividad del sistema productivo agroalimentario del sector, mediante el desarrollo de capacidades científico-tecnológicas, y la vinculación entre estas capacidades y los requerimientos técnicos del sector productivo agroalimentario del área.

Para efectos de cualquier proyecto agrícola que utilice los recursos hídricos del río Jupilingo (Jocotán) en la zona comprendida dentro del perímetro bajo o de confluencia con el río San José para dar origen al río Grande de Zacapa, es necesario contar con una simulación hidrodinámica de su escorrentía principal que permita predecir la magnitud del caudal que probablemente pueda escurrir superficialmente en el río dentro del período de tiempo para el cual se diseñará la obra y desarrollar con los valores obtenidos un modelo hidráulico para representar el escurrimiento del caudal y obtener los tirantes extremos (máximos y mínimos) en los lugares de interés para el desarrollo del estudio, ya que en la actualidad, se diseñan y construyen pocas o ninguna estructura hidráulica importante, sin estudios preliminares de modelos, más o menos extensos.

El presente estudio se realizó para diseñar una bocatoma capaz de derivar del río Jupilingo un caudal adecuado y utilizarlo en riego de cultivos y agua potable a través de una red de distribución.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para promover el desarrollo de las comunidades adyacentes al río Jupilingo es de vital importancia conocer el comportamiento hidrológico superficial del sistema. Al realizar un estudio hidrológico de aguas superficiales se facilita la planificación de usos múltiples del agua (riego, consumo humano, generación eléctrica, etc.), así como el manejo sostenible de la cuenca. Los modelos hidráulicos juegan un papel importante en dicha planificación, ya que permiten conocer de una manera sencilla la respuesta del sistema a cambios o condiciones impuestas por el ambiente o el hombre.

Para elaborar el diseño de estructuras de conducción de agua, así como para el bombeo del mismo, se necesitan conocer las características que presenta el río de una forma detallada. El estudio realizado podrá formar parte integral del Plan de Manejo de la cuenca del Río Jupilingo y permite establecer los parámetros de diseño de una bocatoma, así como conocer los impactos ambientales directos que causaría una estructura transversal o lateral sobre el cauce del río y las vegas adyacentes dentro del área de influencia.

Asimismo, se consideró la calidad del fluido en base a una serie de muestreos y análisis de laboratorio, que permitieron recomendar un tratamiento del agua previo a su utilización, ya sea para riego o consumo humano a través del proyecto en mención.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico brinda la posibilidad de determinar la magnitud de eventos de muy pequeña probabilidad de ocurrencia mediante la extrapolación de leyes de probabilidad deducidas de una muestra de la serie de sucesos. Los estudios referentes al tema han dado origen a una serie de leyes que se utilizan frecuentemente como: Gumbel, Frechet, Pearson III, Galton-Gibrat, etc., para representar la curva de frecuencias de una serie de datos (13).

4.1.2 LEY DE GUMBEL

Considerando una serie M de observaciones de valores estadísticamente independientes de una misma variable aleatoria, subdividida en N períodos anuales que contengan cada uno m_i (extremos) observaciones. Los estudios realizados por Gumbel, basados en la teoría de valores extremos de Fisher y Tippet, establecen que: "La distribución estadística de la serie m formada por los mayores valores x_i obtenidos de las N muestras, tiende asintóticamente hacia una ley de probabilidades independiente de la que rige la variable aleatoria de serie completa M " (13).

Esta ley límite corresponde a una función de distribución de la forma:

$$F(x) = P_x \leq x_1 = e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

Donde: $y = \alpha(x_1 - x_f)$ (variable reducida)

Siendo x_f el valor modal (más frecuente), y tanto α como x_f se obtienen en función de los parámetros estadísticos de la serie de observaciones.

La densidad de probabilidad es:

$$F(x) = \alpha e^{-\alpha(x-x_f)} e^{-e^{-\alpha(x-x_f)}} \quad (2)$$

Los coeficientes de la ley de Gumbel se obtienen de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \sigma_N / S$$

$$x_f = x - y_N / \alpha$$

Siendo S el mejor estimador del desvío standard de la población, x el valor medio de la muestra y σ_N e y_N coeficientes que dependen de la longitud de la serie de datos.

4.1.3. NÚMERO DE FROUD

Debido a la influencia de condiciones naturales o impuestas, un caudal puede presentar diferentes tirantes sobre un cauce en función de factores como la pendiente, forma del cauce, rugosidad, caudal, etc., y consecuentemente variaciones de energía para el mismo valor de caudal. Por ello Froud clasificó un escurrimiento como subcrítico o supercrítico contemplando la velocidad, la gravedad y el tirante.

La ecuación del número de Froud es:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

En donde: F= Número de Froude (adimensional); V= Velocidad media; G= Aceleración de la gravedad
Y= Tirante

4.1.4. BASE TEÓRICA DE CÁLCULOS DE FLUJO UNIDIMENSIONAL UTILIZADA POR EL HEC-RAS

HEC-RAS es un paquete integrado de programas para análisis hidráulico de ríos elaborado por el cuerpo de ingenieros de la armada de E. E. U. U. a través del Centro de Ingeniería Hidrológica, en el cual el usuario interactúa con el sistema de una interfase gráfica (IGU). El sistema es capaz de realizar cálculos de perfiles de superficies de agua con flujos constantes, y puede incluir corrientes variadas, transporte de sedimentos y varios cómputos de diseño hidráulico para el futuro, además es capaz de modelar el flujo de agua en régimen crítico, subcrítico y combinando ambos regímenes, También puede simular obstrucciones en el río producidas por estructuras. En la terminología del HEC-RAS, un Proyecto está compuesto de una base de datos asociados con un sistema de un río en particular. .

A continuación se muestra una breve descripción del mecanismo utilizado por el programa para el presente estudio (Ver metodología 6.3.5).

Los perfiles de una superficie de agua son calculados de una sección transversal a la siguiente a través de la ecuación de energía con un procedimiento denominado método standard.

La ecuación de la energía se escribe de la siguiente manera:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

Donde: Y_1, Y_2 = profundidad del agua en la sección transversal
 Z_1, Z_2 = elevación de la invertida del cauce principal
 V_1, V_2 = promedio de velocidades (descarga total / área total del flujo)
 α_1, α_2 = coeficientes de velocidad
 g = aceleración gravitacional
 h_e = energía de pérdida de altura

Un diagrama que muestra los términos de energía se detalla en la figura 4.1.

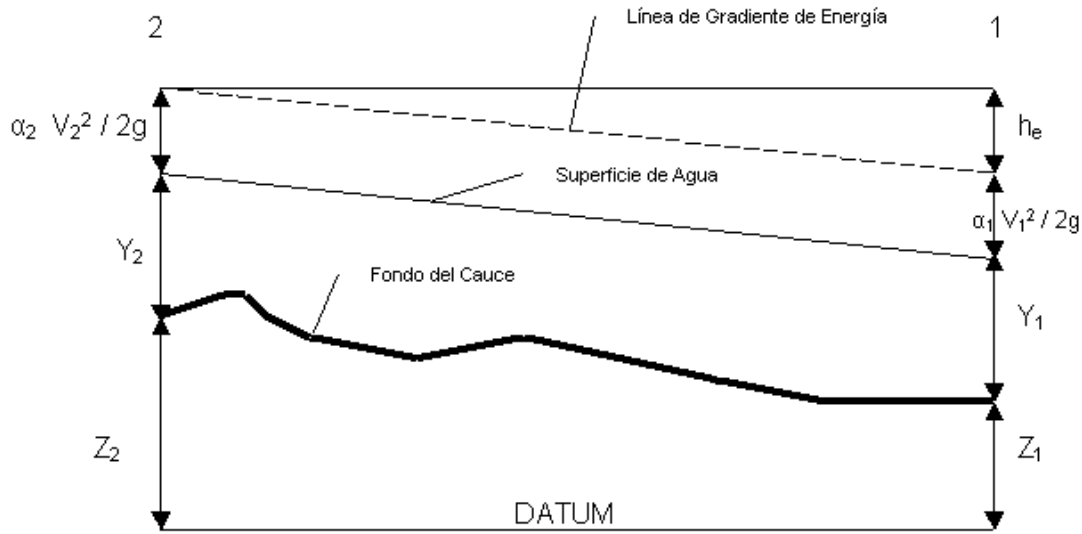


Figura 4.1 Representación de la ecuación de energía.

La energía de pérdida de altura (h_e) entre dos secciones transversales abarca las pérdidas por fricción y las pérdidas por contracción o expansión. La ecuación de la h_e es la siguiente:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2^2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1^2 V_1^2}{2g} \right| \quad (4)$$

Donde: L = ponderación de la descarga de la longitud del tramo
 $\bar{S}_f$ = fricción representativa de la pendiente entre dos secciones
 C = coeficiente de pérdidas por expansión o contracción

La ponderación de la descarga de la longitud del tramo, L , es calculada de la siguiente manera:

$$L = \frac{L_{ei} Q_{ei} + L_{cp} Q_{cp} + L_{ed} Q_{ed}}{Q_{ei} + Q_{cp} + Q_{ed}} \quad (5)$$

Donde: L_{ei}, L_{cp}, L_{ed} = longitud de la sección transversal del caudal sobre el estribo izquierdo, el cauce principal y el estribo derecho, respectivamente.

Q_{ei}, Q_{cp}, Q_{ed} = promedio aritmético de los caudales entre dos secciones para el estribo izquierdo, el cauce principal y el estribo derecho, respectivamente.

La determinación del traslado total y los coeficientes de velocidad para una sección transversal requiere que el escurrimiento sea dividido en unidades para las cuales la velocidad está uniformemente distribuida. El acercamiento utilizado en HEC-RAS subdivide el escurrimiento en estribos (áreas) empleando la base de datos de la sección transversal de n -valores de puntos de quiebre (ubicación donde los n -valores cambian). El traslado es calculado dentro de cada subdivisión de la siguiente forma de la ecuación de Manning (basada en unidades inglesas):

$$Q = K S_f^{1/2}$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

Donde: K= traslado de la subdivisión; n= coeficiente de rugosidad para la subdivisión; A= área de escurrimiento para la subdivisión; R= radio hidráulico de subdivisión (área/perímetro mojado)

El programa suma los incrementos de traslado en áreas para obtener el traspaso del estribo izquierdo y el estribo derecho. El traslado del cauce principal normalmente es calculado como un elemento de traslado simple. El total del traslado de la sección transversal se obtiene las tres subdivisiones (izquierda, cauce, y derecha) (10).

4.1.5. SIG (SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA)

Para la descripción de los esquemas espaciales se utilizan los SIG, que no son más que, “el conjunto de métodos y herramientas que actúan en forma coordinada y lógica para recolectar, almacenar, validar, actualizar, manipular, integrar, extraer, analizar y visualizar información espacial de los elementos considerados del entorno, con el fin de satisfacer los requerimientos y necesidades de los usuarios.” Las utilidades de los SIGs son: producción de mapas en forma más ágil, actualización de los mismos, menor costo, producción de mapas espaciales sin expertos, integrar información, análisis espaciales, permite apoyar la toma de decisiones a diferente nivel y el conocimiento y manejo de los recursos naturales.

Proporciona herramientas para representar el mundo real en función de los datos y localizaciones.

Generalmente se compone del usuario, software, hardware y datos (1).

4.1.6. AUTOCAD (DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADOR)

Software utilizado para diseño de estructuras arquitectónicas, de ingeniería y múltiples usos. En el caso particular servirá para procesar la información proveniente de los levantamientos topográficos de las secciones del cauce del río para poder introducirlas al modelo hidráulico del HECRAS (4).

4.1.7. TOPOGRAFÍA

La base cartográfica de Guatemala emplea el sistema coordenado UTM (Universal Transformadas de Mercator), sin embargo esta información cartográfica es bastante antigua para los propósitos del estudio en la zona, pues data del año 1,986, y no aparece información básica actualizada como ciudades, carreteras etc. Y aún, si consideramos la escala a que éstos se encuentran (1:50,000) se pierden muchos detalles necesarios para el estudio actual, y sobre todo que en áreas cercanas a la ciudad no se cuenta con Bancos de Marca establecidos por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) con información en los tres ejes coordenados (planimetría y altimetría). Situaciones que obligaron a buscar información con las Oficinas de Catastro Nacional, y se encontró que se tienen colocados algunos puntos establecidos en algunos lugares cercanos a la ciudad de Chiquimula, tal es el caso de la información topográfica de los puntos de las oficinas centrales, el parque Ismael Cerna y la Pista de aterrizaje; este último confirmado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Se tomó la decisión de adoptar el sistema coordinado GTM (Guatemala Transversa de Mercator), que actualmente es utilizado por el Catastro Nacional, decisión tomada a partir de que dicho ente estará operando en ese sistema coordinado, y que cuentan con la información Geodésica de primer orden establecidos con geoposicionamientos en los lugares ya mencionados.

Como en todo estudio formal de ingeniería, los trabajos topográficos tienen una gran importancia, es decir son trabajos básicos e imprescindibles de poder realizarlos, estos son la base para diseñar todas las estructuras del proyecto en estudio, para ello se hizo necesario el establecer una serie de poligonales en dirección del área de estudio, estas poligonales consisten en mojones de concreto debidamente identificados y referenciados a manera de poder realizar cualquier chequeo o replanteo que se considere.

4.1.8 NORMA 29001 DE COGUANOR

Contiene las especificaciones de los parámetros que definen la calidad de agua para consumo humano en la República Guatemala.

4.1.9. CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

La contrastación de los niveles guía correspondientes a parámetros de calidad de agua para riego se asienta en la evaluación de las concentraciones acumuladas en tejidos vegetales de las especies cultivadas preferentemente, o en su defecto, el muestreo del agua del sitio de suministro y la posterior comparación de tales concentraciones con normas o criterios disponibles para los parámetros de calidad en tejidos vegetales de consumo humano. El procedimiento de contrastación comprende las fases que se detallan seguidamente.

A) Comparación de los tenores acumulados previsibles

Los tenores acumulados previsibles para un parámetro de calidad en las condiciones de exposición antes mencionadas son comparados con normas o criterios fijados para aquél en tejidos vegetales o muestras de agua de consumo humano. Si los tenores acumulados previsibles para un parámetro de calidad superan en algún caso la norma o criterio tomado como valor de referencia, el nivel guía de aplicación efectiva para riego correspondiente al parámetro de calidad es calculado utilizando la información fitotóxica disponible pero incrementando el factor de incertidumbre (FI) hasta lograr compatibilidad con el valor de referencia antedicho (3).

B) Criterios de calidad de agua para riego

Los criterios prevalentes para calidad de agua para riego y su asociación con el peligro potencial para los cultivos son:

- a) Toxicidad:** algunos solutos tienen efecto tóxico directo sobre los cultivos.
- b) Salinidad:** los efectos de las sales en el crecimiento de los cultivos son en su mayoría osmóticos y están relacionados a la concentración total de sales. El parámetro más importante para determinar la calidad de agua desde el punto de vista de la salinidad es la concentración total de sales (CTS). Este parámetro es usado para estimar el potencial osmótico de la solución mediante la

siguiente ecuación:

$$\text{potencial osmótico (kPa)} = -5.6 \times 10.2 \times \text{CTS (Mg./l)}$$

La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la CTS basada en el principio de que la cantidad de una corriente transmitida por una solución salina en condiciones estándares se incrementa al aumentar la concentración de sales en solución.

$$\text{Potencial osmótico (kPa)} = -36 \times \text{CE (dS m}^{-1}\text{)}$$

c) Sodicidad: está relacionado a la excesiva cantidad de sodio intercambiable en el suelo lo cual produce un deterioro de la permeabilidad y de la estructura del suelo.

La cantidad de sodio en el suelo se expresa a través del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), el cual se calcula como el cociente entre el sodio de intercambio dividido por la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La relación de adsorción de sodio (RAS) es una medida efectiva del peligro potencial de sodio del agua que está en equilibrio con el suelo y es:

$$\text{RASp} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{1/2}$$

Aguas que contienen apreciables cantidades de sulfatos, bicarbonatos o carbonatos tienden a formar pares iónicos y el RAS calculado a través de las concentraciones de Na^+ , Ca^{++} , y Mg^{++} en solución puede diferir de RAS real. La siguiente ecuación permite estimar el RAS verdadero de los valores calculados con la ecuación anterior:

$$\text{RAS} = 0.08 + 1.115 \times (\text{RASp}) \quad \text{PSI} \sim k \text{ RAS (agua de riego)} [1 + (\text{pH} - \text{pHc})]$$

donde k es un factor de lavado, y $\text{pHc} = (\text{pK}_2 - \text{pK}_1) + \text{pCa} + \text{pAlc}$ (2).

4.2. MARCO REFERENCIAL

4.2.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JUPILINGO

A) UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La comunidad de Santa Bárbara está localizada en las siguientes coordenadas: 609548 este 1645587.51 norte (GTM) ó 89° 28' 6" longitud Oeste, y 14° 49' 5" latitud norte, con altitudes variables desde los 270 hasta los 350 msnm (figuras 4.2-4.4).

B) UBICACIÓN POLÍTICA

El Municipio de Chiquimula, tiene una extensión de 370 km², dentro de la cual se encuentra el Área de Estudio del Proyecto, cuyos límites son: al **Norte**: con el Departamento de Zacapa; al **Este** con los municipios de Jocotán, San Juan Ermita y San Jacinto; al **Sur** con los Municipios de San José La Arada, San Jacinto y Depto. de Jalapa y al **Oeste** con los Municipios de Huité y Cabañas pertenecientes al Departamento de Zacapa.

La aldea de Santa Bárbara pertenece administrativamente al municipio de Chiquimula, del departamento de Chiquimula. Al norte colinda con la aldea El Orégano y el caserío Tapazán, al sur con la aldea Tablón del Ocotol, al este con el cerro La Bandera y El Rincón de Santa Bárbara al oeste con el cerro de Horcones.



Figura 4.2 Localización del proyecto con relación a Guatemala.

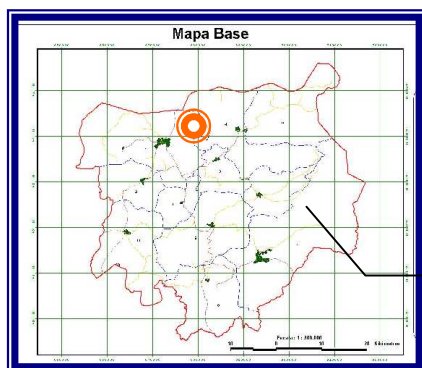


Figura 4.3 Localización del proyecto con relación al departamento.

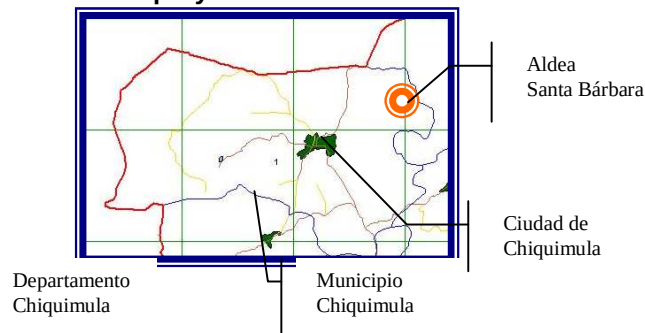


Figura 4.4 Localización del proyecto Con relación al municipio de Chiquimula .

C) VÍAS DE ACCESO

La aldea Santa Bárbara se sitúa a una distancia de 169 kilómetros o dos horas y media, de la Ciudad Capital de Guatemala, utilizando la vía Carretera Centro Americana, CA-9 y CA-10. A la altura del Km 164 de ésta última, se encuentra el acceso a la comunidad, siendo los últimos 5 kilómetros de tercería, siguiendo la antigua línea férrea.

D) FISIOGRAFÍA

La Cuenca Baja del Río Jupilingo está comprendida dentro de la provincia fisiográfica "*Tierras altas cristalinas*", dominado por *intrusivos de Chiquimula*. En ella se destaca una provincia climática y dos grandes paisajes. Que se describen a continuación:

- a) Provincia climática A'b'Do: Cálido con invierno benigno, seco. Comprende la parte baja de la Cuenca y los grandes paisajes: Pie de Monte y Planicie coluvio-aluvial de Chiquimula.
- i) **Pie de Monte:** El relieve de esta unidad es inclinado, con pendientes entre 40 y 60%. El material originario es granito. El perfil del suelo presenta los horizontes Ap, AB, Bg, y Cw. Se la ha ubicado en las Clases VII, VIII y IX de capacidad de uso de la tierra, correspondiente a Producción Forestal Extensiva, siendo las limitantes la zona de vida, los meses secos, la pedregosidad y la profundidad efectiva del suelo. Esta descripción se enfoca a las elevaciones de cuenca media y alta del sector en general. En la parte baja de la cuenca se localiza la planicie coluvio-aluvial de Chiquimula, con suelos moderadamente profundos con textura franco-arenosa y franco-arcillo-arenosa; la erosión es moderada.
- ii) **Planicie Coluvio – Aluvial de Chiquimula:** Esta unidad presenta un relieve moderadamente plano, con pendientes entre el 4 y 30%. El mapa geológico indica que el material originario corresponde a aluviones Terciarios. Se le ha ubicado en la Clase III y VI, correspondientes a Cultivos Anuales y Pastoreo Extensivo, respectivamente. La Clase III se localiza en la planicie norte de la aldea Santa Bárbara, a orillas del Río Jupilingo constituyendo fisiográficamente las terrazas coluvio-aluviales (vegas). Constituyen tierras que reúnen condiciones agro ecológicas que permiten la producción de cultivos anuales ecológicamente adaptados al lugar, sin deterioro de la capacidad productiva de la tierra. Algunas limitaciones encontradas son la precipitación pluvial, pedregosidad del suelo, y la pendiente que puede afectar el manejo, productividad y rendimiento de los cultivos (6) (Ver mapa fisiográfico-geomorfológico en anexos).

E) HIDROGRAFÍA

La Cuenca del Río Jupilingo (también llamado Jocotán) forma parte de la Cuenca del Río Grande de Zacapa, por lo que se le denomina subcuenca. Esta subcuenca ocupa aproximadamente el 33% del área total de la Cuenca del Río Grande de Zacapa, y comprende principalmente el Departamento de Chiquimula; aunque también se extiende a territorio hondureño. (ver mapa de cuencas hidrográficas en anexos).

La subcuenca del Río Jupilingo, forma el brazo oriental del río Grande de Zacapa; su drenaje superficial más importante es el río Camotán o Jocotán, el cual nace en la república de Honduras. Dicha subcuenca drena un área de aprox. 1,600 Km², pasando por las poblaciones de Jocotán y Camotán, en el Depto. de Chiquimula, antes de unirse con el brazo formado por los ríos San José y Shutaque, sin embargo, para fines del presente estudio, se analizará exclusivamente el área de 117 hectáreas comprendidas en torno al punto seleccionado para la ubicación de la bocatoma. En la figura 4 se define un límite práctico para efectos del estudio, limitado en la parte norte y oeste por el parte aguas de la cuenca y en los sectores sur y este, por una demarcación arbitraria. Los afluentes principales son los ríos Mapá, Chanmagua, Panela y Jupilingo. Esta subcuenca es de topografía sumamente accidentada, colocando al afluente dentro de los denominados “ríos de montaña”, por su pendiente y ciertamente es la más húmeda de todas las que forman la cuenca del río Grande de Zacapa.

Esta subcuenca tiene como límites geográficos, al Norte la Cuenca del Río Motagua, que es precisamente donde desemboca el sistema finalmente; al Oeste la cuenca del Río Shutaque; al sur limita con las cuencas del Río Lempa y Olopa; y al Este colinda con la República de Honduras, siendo la frontera el límite político de la cuenca en el lado guatemalteco.

Tal como se ha mencionado anteriormente, el río Jocotán o Camotán forma parte de la hidrología del río Grande de Zacapa; por lo tanto representa un río de segundo orden desde ese punto de vista.

El río Jocotán está limitado por las siguientes afluentes de tercer orden: río Chanmagua, río Mapa, río del Playón; estos tres tributarios forman el río Jupilingo, al que tributan el río Tituque, río Copán y Quebrada Tatutú; en este punto el río Jupilingo cambia de nombre por el de Jocotán y a la altura de Camotán lo tributan el río Toriá y la Quebrada Carcaj. Existen también varias afluentes de cuarto y quinto orden, así como intermitentes (ver Figura 4.5).

a) **Descripción de bocatoma.** El sitio seleccionado para la bocatoma se ubica a 10 metros del puente colgante que conduce de Santa Bárbara a la aldea Tapazán, El Orégano, Quebrada El Abundante, etc., (Ver fotografías en anexos). Dicha decisión obedece a varios factores, como, flujo constante durante todas las épocas del año, orientación del caudal respecto al área de infraestructura, minimización de costos, suministro de electricidad, dominio de altura, acceso vehicular provisional y riesgos de acumulación de material rocoso producto de deslaves, entre otros.

El cauce sufre una bifurcación natural 80 metros aguas arriba del punto de interés, creando tres islotes, el primero de aproximadamente 0.25 ha. y el segundote 0.5 ha., que en época lluviosa son cubiertos por agua, por lo cual la captación se realizará sobre el brazo izquierdo, es decir, del lado de Santa Bárbara. El tercer islote tiene un área de casi 3 ha. (Ver esquema de prediseño en anexos). En el lugar se observa gran cantidad de residuos rocosos de granito mezclados con aluvión firme de aproximadamente de 5.00 a 10.00 m de profundidad.

En condiciones de estiaje, el tirante promedio del caudal es de 0.53 m, y en estación lluviosa es de 0.96 m. Los caudales extremos se detallan a continuación en el cuadro 4.1 (8).

HIDROGRAFIA

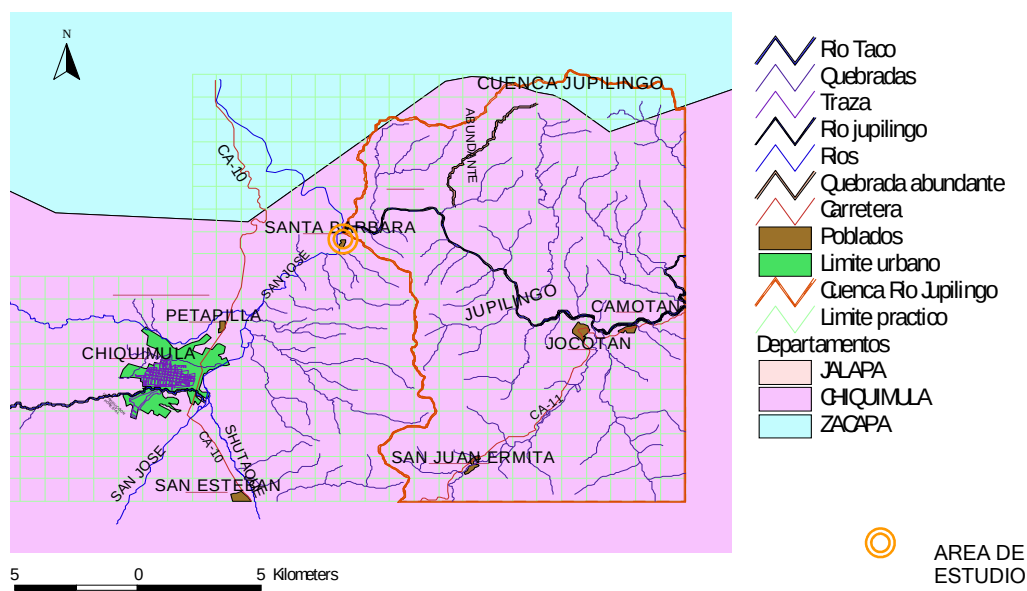


Figura 4.5 Sistema hidrográfico.

Cuadro 4.1 Registros de caudales del río Jupilingo.

Año Hidrológico	Tipo de Registro	Anuario ¹		Caudal Máximo Diario (m ³ /seg)	Caudal Mínimo Diario (m ³ /seg)
		Completo	Incompleto		
1970 - 1971	Aforado		x	15.1	0.9
1971 - 1972	Aforado	x		233.7	5.1
1972 - 1973	Aforado	x		146.3	2.3
1973 - 1974	Aforado	x		209.5	3.6
1974 - 1975	Aforado	x		348.0	3.4
1975 - 1976	Aforado	x		194.1	3.6
1976 - 1977	Aforado	x		131.0	3.9
1977 - 1978	Aforado	x		111.0	3.6
1978 - 1979	Aforado	x		237.0	3.3
1979 - 1980	Aforado	x		331.0	4.6

¹ Fuente: anuarios hidrológicos INSIVUMEH.

Año Hidrológico	Tipo de Registro	Anuario		Caudal Máximo Diario (m ³ /seg)	Caudal Mínimo Diario (m ³ /seg)
		Completo	Incompleto		
1983 - 1984	Aforado	x		426.1	5.1
1984 - 1985	Aforado	x		338.7	6.1
1985 - 1986	Aforado	x		188.1	3.8
1986 - 1987	Limnigráfico		x	115.8	5.7
1987 - 1988	Limnigráfico		x	144.8	7.2
1988 - 1989	Limnigráfico		x	290.5	4.5
1989 - 1990	Limnigráfico		x	128.1	8.6
1996 - 1997	Limnigráfico		x	609.0	1.5
1997 - 1998	Limnigráfico	x		300.1	1.2
1998 - 1999	Limnigráfico		x	900.0 ²	1.3
1999 - 2000	Limnigráfico	x		277.1	1.1
2000 - 2001	Limnigráfico		x	279.8	1.9

b) **Descripción de la estación hidrometeorológica Camotán.** Está a cargo de la sección de agua superficial del INSIVUMEH, identificada como No. 4-2-1H. Cuenta con un limnógrafo y una estructura para practicar el aforo con molinete. Pertenece a la cuenca del río Motagua, que desemboca en la vertiente del Atlántico. Con un área total tributaria de 1413.12 Km², que abarca territorio hondureño. Latitud: 14°49'20", Longitud: 89°22'15", Elevación: 410.00 msnm aprox. Localización: a 200 mts. al oeste de Camotán. Tipo de estación: Limnigráfica. Inició los registros en febrero de 1969, grabando caudales promedios extremos de todo el registro de la siguiente manera: máximo de 664.1 m³/seg y mínimo de 1.646 m³/seg. El Volumen promedio en escorrentía respecto a todo el registro es de 805.19 millones de m³. Los registros de caudales reportan una media de 25.472 m³/seg correspondiente a todo el historial. Los valores son sobre 12 años completos. El INSIVUMEH ha ajustado cada año una curva de caudales según tirantes. Una vez hecha esta curva, prosiguió el registro midiendo solo los tirantes y deduciendo indirectamente según las formulas ajustadas los caudales. Las ecuaciones utilizadas en los últimos años son las siguientes: (por extrapolación analítica) $Q=63.18H^2-68.81H+18.44$, válida para caudales mayores a 1.23 m³/seg, y, $Q=0.596(H+0.70)^{5.547}$, válida para caudales mayores a 100.42 m³/seg (8).

Se entiende que los caudales registrados por esta estación son representativos del escurrimiento del río en la zona de la bocatoma, ya que son datos directos de un área total tributaria de 1413.12 Km², es decir, del 88.32% del área total de la cuenca. El área comprendida entre Comotán y Santa Bárbara, que es el sector de menor contribución hídrica por ser el menos húmedo del sistema (ver 4.2.1 inciso I, zonas de vida), corresponde al

² Noviembre de 1998: Ocurrencia de Tormenta Tropical MITCH.

11.68% del total de la cuenca. Cabe agregar que el único efluente de aporte de caudal considerable en dicha extensión es la quebrada “El Abundante” con 0.07 m³/seg, cuyo caudal es aprovechado en un 95% por el sistema de agua para consumo humano existente de la ciudad de Chiquimula. (Ver mapa de área tributaria de estación Camotán en anexos). Se aclarara que el registro carece de varios valores, sin embargo se cuenta con 10 años consecutivos completos.

F) GEOLOGÍA

Dentro del área del proyecto, se aprecian las siguientes formaciones geológicas de la Cuenca Baja del Río Jupilingo considerando un orden ascendente, partiendo desde Santa Bárbara (en dirección aguas arriba) para describir el material que podría arrastrar la corriente.

- a) Cerca de la intersección de los ríos Jupilingo y San José (Aldea Santa Bárbara), se aprecia una pequeña área de *rocas volcánicas de la era terciaria* representadas por la unidad geológica “Tv”, mezcladas con material aluvial más reciente y granito fragmentado, producto de la dinámica fluvial. (Ver mapa geológico en anexos).
- b) Posteriormente transcurre por una zona de rocas *intrusivas* en la aldea El Orégano, con formaciones de: granito fundamentalmente, adamelita, granodiorita, diorita y gabro, representadas por la unidad geológica “I” en el mapa geológico anexo.
- c) En los terrenos de las riberas se encuentran rodados de los siguientes materiales geológicos: basalto, felsitas, arenitas volcánicas, lahar y un poco de calizas provenientes del sector de Camotán (12, 6).

G) SUELOS

En el relieve de los suelos predominan ondulaciones e inclinaciones, con pendientes comprendidas desde 4% hasta 64% y altitudes desde 271.00 a 450.00 msnm. En el área prevalecen las formaciones de suelos pedregosos desarrollados sobre ceniza volcánica y aluvión a elevaciones medianas, que se caracterizan por ser poco profundos sobre esquisto arcilloso y/o piedra caliza, en algunos casos la erosión ha sido muy severa como consecuencia de cultivos en ladera y deforestación.

La textura del suelo superficial es arenosa hasta profundidades de 26 cm. Los siguientes horizontes genéticos están cargados de materiales minerales y roca. Los subsuelos son de textura arenosa, de color café claro y café oscuro hasta un metro de profundidad.

Según la capacidad de uso de la tierra los suelos del área en la cuenca media pertenecen a la serie Chol y las clases VI, VII y VIII, lo cual significa que son aptas para cultivos perennes, manejo forestal y áreas de protección de cuencas, recreación y vida silvestre. En la cuenca baja se encuentran suelos clase III y IV en las vegas adyacentes al cauce del río.

En base a la serie de Suelos Simmons, se encuentran suelos tipo:

- a) En su mayoría *Sub* (Serie: Subinal), con caliza de material original, relieve muy inclinado, drenaje excesivo, color superior café oscuro casi negro, textura superior arcillosa, grado de textura superior muy fina, textura inferior arcillosa, grado de textura inferior muy fina, color inferior café oscuro, profundidad efectiva de 0.5

m, potencial de fertilidad de regular a alto, riesgo de erosión muy alto, con limitantes de relieve y pedregosidad, pH alcalino 7.9.

b) Jg (Jigua), con roca andesita de material original, altitudes menores de 900msnm, relieve muy inclinado, buen drenaje, color café oscuro y amarillento, textura franco arcillosa, profundidad media, pH ponderado neutro 6.6, con riesgo de erosión alto, potencial de fertilidad regular.

c) SA (Suelos aluviales)

d) Sv (Suelos de los valles) (Ver mapa de serie de suelos en Anexo) (6)

H) CLIMA

La temperatura media es 26°C, humedad relativa media del 61%, precipitación anual de 770 mm, generando un déficit de lluvia de 900 mm anuales. El nivel de la localidad está en la cota 370 msnm. (ver mapa de isotermas en anexos).

Según el sistema Thornthwaite, el clima de la mayor parte del área cubierta por el río Grande de Zacapa, es húmedo y cálido, con invierno seco y benigno, excepto en una franja que se extiende de Sur a Norte desde Chiquimula a Zacapa, donde es seco y con invierno también seco.

A partir de los datos climáticos de la cuenca del Río Grande de Zacapa (ver mapa de isoyetas en anexos), se observa que la evapotranspiración va en incremento de Norte a Sur teniéndose un valor de 800 mm anuales en la región; 900 mm en la parte central de la cuenca, principalmente Camotán, Jocotán y 700 mm en el Valle de Chiquimula.

La precipitación anual de la cuenca no está uniformemente distribuida, como se puede apreciar en el mapa de isoyetas; al Este de la cuenca, en la zona fronteriza con Honduras, se registran los datos más altos de precipitación entre 1,400 y 1,500 mm anuales. La menor precipitación se registra en la zona comprendida entre Zacapa y Chiquimula con datos de 600 mm a 700 mm anuales.

I) ZONA DE VIDA

La aldea de Santa Bárbara se encuentra en una zona de vida comprendida como “*Bosque seco subtropical*” (bs-s), parcialmente rodeado de un “*Monte espinoso subtropical*” (me-s) en el sector oriente y rodeado completamente por un “*Bosque húmedo subtropical templado*” (bh-s), (Ver mapa de zonas de vida en anexos).

J) USO ACTUAL DE LA TIERRA

El área de Santa Bárbara, perteneciente a la subcuenca baja del río Jupilingo, presenta suelos sub utilizados y sobre utilizados con los siguientes usos o comunidades vegetales (Ver mapa de intensidad de uso de la tierra en anexos.) (5, 6).

a) **Comunidad de Pastos Naturales y Matorral.** Esta comunidad incluye a todas aquellas áreas que tienen vegetación herbácea especialmente gramíneas que sirven de alimento del ganado en la región en donde el principal uso dado a los suelos es pastoreo; pero también esta constituida por vegetación arbustiva y arbórea pequeña, en proceso de sucesión ecológica en todas las áreas que han sido abandonadas después de haber servido para el establecimiento de cultivos tradicionales como maíz, sorgo y frijol y que anteriormente estuvieron cubiertas con vegetación arbórea alta, principalmente latifoliadas.

El área cubierta por esta comunidad vegetal comprende una faja que se inicia por el municipio de San Juan Ermita, pasando por Jocotán hasta finalizar en Camotán. Esta comunidad vegetal se localiza entre las zonas de vida de bosque seco y bosque húmedo subtropical, y es visible el manipuleo que el hombre da a la cubierta vegetal de toda la comunidad.

b) **Comunidad de Monte Espinoso.** Esta comunidad abarca la mayor parte o toda el área que comprende la zona de vida del mismo nombre y parte de la zona de vida de bosque seco subtropical. El tipo de vegetación de esta comunidad está constituido especialmente por leguminosas de espina y cactáceas entre las que predominan los géneros *Acacia* y *Cassia*, por las leguminosas y *Cepalocereus*, *Nopalea* y *Pereskia* por las Cactáceas. Existe una marcada asociación entre arbustos y gramíneas en toda la comunidad, y la razón principal para que se de esta asociación es por lo abierto de los estratos altos de vegetación que permiten un desarrollo óptimo de las gramíneas en los estratos inferiores. La cobertura forestal corresponde a asociación de latifoliadas con cultivos (Ver mapa de cobertura forestal en anexos).

En toda la comunidad de monte espinoso es visible la deficiencia de agua, que es el principal factor limitante para el adecuado aprovechamiento de los suelos; además, la vegetación tiene que servir de protección del suelo que es muy superficial en toda la parte alta de la comunidad. Sin embargo, debido a las condiciones socioeconómicas de la población es común observar que las áreas menos apropiadas para ser cultivadas con cultivos limpios se ven frecuentemente sembradas con maíz, manía y frijol.

K) ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

a) **POBLACIÓN Y OCUPACIÓN.** La aldea de Santa Bárbara consta de una población de 1662 habitantes³. No existen fuentes laborales debido a las condiciones de la comunidad, por lo que la mayor parte de la población emigra a poblados o fincas vecinas para vender su fuerza de trabajo o a la ciudad de Chiquimula. La jornada empieza desde muy temprano, 4:30 A.M., para hombres y mujeres y las actividades giran concretamente en términos de subsistencia, es decir, que es común observar a toda la familia o varios miembros de ella salir por la mañana y trabajar en equipo para coleccionar leña, hierbas y agua. Los hombres se dedican al ámbito agrícola y proveer de insumos al hogar. Las mujeres se dedican a elaborar las comidas y alimentar a sus niños. Alrededor de las 15:30-16:00 la gente, en su mayoría hombres, retorna a sus viviendas.

³ Según censo realizado en 2001, por EPS.

Las mujeres se ocupan de criar a los niños y atender a los esposos. Generalmente las familias se dedican a la agricultura (siembran maíz y manía por lo general), siendo esta actividad medio de sostenimiento así como la pesca en ocasiones. Algunas épocas del año exigen mayor participación de los habitantes en función de los proyectos que se estén ejecutando.

Ocasionalmente, cuando se presenta la ejecución de proyectos de desarrollo, como el caso de la introducción de agua que actualmente se lleva a cabo en coordinación con UNEPAR, existe una demanda local de fuerza de trabajo.

b) SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PECUARIA: Generalmente se observan las especies usuales para autoconsumo, entre ellas

- i) Cerdos
- ii) Bovinos y
- iii) Aves (gallinas, pavos y patos).

Estos animales se alimentan de maíz y hierbas que se encuentran cerca de las casas. También se utiliza el pastoreo directo.

c) PRODUCCIÓN ARTESANAL. No existe la producción de artículos artesanales propiamente que afecte el ingreso monetario en las familias, sin embargo eventualmente sobresale la elaboración de hamacas y redes de pescar (de polietileno), petates y canastos (de tule), los cuales son vendidos en el mercado de Chiquimula. La materia prima la deben comprar en otras comunidades. También se elaboran atarrayas para pesca.

d) TENENCIA DE LA TIERRA. La parte de la comunidad que se encuentra en el sector oeste del río San José pertenece a la finca Ticantó. Las familias tradicionales son propietarias de las pequeñas parcelas donde se ubican las viviendas. Las vegas del sector norte son propiedad de agricultores de otras comunidades como El Tablón. Para el cultivo de maíz y frijol algunos habitantes rentan parcelas en las fincas vecinas, el pago es 1qq de maíz por cada medio⁴, según lo menciona el Sr. Cleto Súchite, uno de los más antiguos pobladores.

e) PRODUCTOS AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN. Las especies más importantes que se cultivan son las siguientes:

- i) Maíz (*Zea mays*). Con rendimientos de 25 qq/mz.
- ii) Manía (*Arachis hypogaea*). Con una productividad de 16 qq/mz.
- iii) Frijol (*Phaseolus vulgaris*). Se cultiva en pocas cantidades.
- iv) Muta (*Bromelia vinguin L.*) La planta se utiliza para alimento y delimitar los linderos de las propiedades.
- v) Mango (*Mangifera indica*).

Otros cultivos que se pueden trabajar en la región, con los beneficios del riego son: tomate, pepino, chile, hortalizas adaptables, melón, sandía, etc.

Los rendimientos han disminuido de forma sorprendente debido a la falta de planificación sostenible del recurso suelo. Anteriormente en un área de aproximadamente 245 m² (1 tarea) se cosechaba un producto de 11 redes de maíz, actualmente en la misma extensión solo se obtiene 1 red, de acuerdo con integrantes de la familia Súchite, unos de los primeros pobladores de la aldea Santa Bárbara.

⁴ Un medio, dimensional de área utilizada en la región, equivale a 3493.5 m²=5000 v²

En la época de cosecha de mangos (febrero-abril), los agricultores que poseen parcelas en las vegas del sector norte recolectan las frutas y las venden en el mercado de Chiquimula. Los precios pueden variar según el estado fisiológico y presentación del fruto (Ver fotografías de cultivos de la región en anexos).

f) **CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA.** La vegetación natural está cubierta por pastizales, especies frutales tropicales y especies espinosas. La capacidad de uso de la tierra se estima en un gran porcentaje para estricto conservación debido a las pendientes mayores del 20 %, profundidad efectiva del suelo escasa y alta pedregosidad, sin embargo existen áreas para bosque con beneficios y para cultivos limpios utilizando riego, a pesar de ello su uso actual es totalmente antagónico, ya que se pueden observar los cultivos de subsistencia en laderas no apropiadas.

El área potencial de irrigación del sector, que corresponde a más de 150 ha. por gravedad y 200 ha. por bombeo (desde el sitio seleccionado para bocatoma), principalmente vegas y planicies a mediana altura pertenecen a la clase III y IV, es decir cultivables con algunas limitaciones (Ver mapa de capacidad de uso de la tierra en anexos).

g) **ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA DE LA REGIÓN.** Partiendo de las necesidades básicas de 90 Lt por habitante cada día de consumo humano, propia de los sectores rurales del país, y tomando en cuenta la población actual de la comunidad (1662 hab.), se obtiene una demanda de 1.73 lps. Dicho valor asciende a 3.56 lps luego de agregarle un incremento del 15% correspondiente a pérdidas y un 80% en función del aumento poblacional para 7 años.

Respecto a los requerimientos de riego, se estima una demanda potencial de 350 lps para cubrir 350 ha. utilizando un índice de 1.00 lps empleado por cada hectárea cultivable, contemplando un sistema de riego muy eficiente. Obteniendo así una demanda total de **355 lps**, correspondiendo el 98.6% para fines de riego y el 1.4% para consumo humano.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Describir las condiciones morfológicas y propiedades del agua del río Jupilingo en la Aldea Santa Bárbara para el diseño de una bocatoma con fines de riego y consumo humano en base a una simulación hidrodinámica del flujo superficial en el área de influencia del punto de interés de aprovechamiento con el apoyo de un modelo hidráulico.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.2.1** Determinar los caudales extremos de diseño para una bocatoma transversal o lateral sobre el río Jupilingo.
- 5.2.2** Realizar un levantamiento topográfico para enlazar el estudio a un banco de marca certificado.
- 5.2.3** Elaborar una modelación hidráulica en base a los caudales extremos.
- 5.2.4** Definir los impactos ambientales en torno a los riesgos de inundación que podría generar una estructura transversal de bocatoma y eventos climáticos predecibles en el cauce del río Jupilingo sobre las parcelas adyacentes en la Aldea Santa Bárbara.
- 5.2.5** Evaluar la calidad y cantidad de agua del río Jupilingo con fines de riego y consumo humano.

6. METODOLOGÍA

6.1. FASE DE GABINETE I

6.1.1. DATOS EXISTENTES. Inicialmente se recolectaron los datos hidrológicos (caudales) existentes en el INSIVUMEH a través de la estación hidrometeorológica ubicada en la cuenca del río Jupilingo en el sector de Camotán. Obtenidos los registros de caudales, se procedió a ordenarlos para obtener en base a un análisis estadístico (ley de probabilidades) los caudales de diseño de la bocatoma utilizando leyes de valores extremos, debido a que interesa conocer los caudales máximos y mínimos que escurrirán por el río durante la vida útil de la bocatoma. Estos caudales se usarán como parámetros de diseño en las estructuras a realizar.

Para obtener los caudales de diseño se debe predecir la magnitud de eventos probables. Por lo cual se aplicó la ley mencionada a una muestra de caudales máximos y mínimos diarios en base a años hidrológicos y se obtuvieron los caudales de diseño según el período de retorno adoptado.

Se entiende por período de retorno al tiempo en valores medios en que un evento de determinada magnitud se repetirá. En este caso se usó el diseño de caudales máximos para períodos de retorno desde 10 a 1000 años. En el caso de caudales mínimos se tomaron los registrados para un período de retorno de 15 años.

6.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO. Para el procesamiento de los datos se inició con la determinación de la ley de probabilidad teórica a partir de la serie de eventos, tomando las consideraciones sobre la probabilidad y los diferentes períodos de retorno. Se utilizó la ley de Gumbel. Se determinaron los coeficientes necesarios para poder calcular la magnitud de un evento en función del intervalo de recurrencia y los parámetros estadísticos de la serie de 10 años consecutivos comprendidos entre los años hidrológicos de 1970-1971 a 1979-1980. Los datos se representaron en papeles de probabilidad para la correcta interpretación de una serie muestral por medio de una ley probabilística, usando escala transformada en la representación de las probabilidades. El procesamiento de datos anteriormente mencionado se validó a través de los límites de confianza en base al nivel seleccionado.

6.2. FASE DE CAMPO

6.2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: Fue necesario un levantamiento topográfico para conectar el estudio a un banco de marca y el reconocimiento de las secciones transversales y poder cargar la modelación hidráulica utilizando los caudales de diseño. Se inició con el geoposicionamiento.

6.2.2. Se utilizaron coordenadas GTM debido a los inconvenientes de trabajar con UTM, ya que el país se encuentra dividido en dos zonas. Para el geoposicionamiento se utilizaron 3 pares de puntos geodésicos en el área de estudio, partiendo del banco de marca ubicado en el parque central de Chiquimula y del ubicado en la pista de aterrizaje. Se realizaron tres poligonales base, utilizando una estación total y un nivel, dirigida al área de estudio. Posteriormente se detalló el área sobre el cauce del río, ubicando lugares representativos de la morfología del afluente, levantando 14 secciones transversales.

6.2.3 Se tomaron las lecturas en el campo con una estación total. Cada punto ubicado proporcionó coordenadas horizontales (x, y), altura (z) y un indicador. La Corrección de la coordenada z obtenida desde

la estación total se hizo con nivel convencional con el objetivo de obtener datos de mayor precisión para las poligonales básicas que se usaron como base del trabajo.

6.2.4 Luego se realizaron nuevamente los recorridos sobre el área de estudio, la cual comprende una extensión de 117 hectáreas ubicadas sobre el cauce del río y zonas adyacentes para ubicar la posición y características del lugar. Posteriormente se procesó cada una de las secciones transversales individualmente, uniéndolas con una línea los puntos de la sección, proporcionándole un estacionamiento empezando desde 0+000 a cada una de ellas. Seguidamente se representó el perfil ya no en coordenadas, sino en base al tirante que tenía el río en ese momento.

6.2.5 MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA: Para el desarrollo de los trabajos, objeto de este Informe, se siguieron los siguientes pasos:

A. MUESTREO. Los muestreos fueron realizados en horas de la mañana, tomando en consideración todas las precauciones de asepsia y métodos de preservación pertinentes, para evitar contaminar las muestras recolectadas, las cuales fueron entregadas el mismo día al laboratorio para su procesamiento para efectos de representatividad. Asimismo se realizaron análisis in situ de los parámetros que así lo requirieron. Los laboratorios que realizaron los análisis fueron los siguientes: Agrilab y Laboratorio de Aguas de Ifom/Unepar, en virtud de la especialización de cada uno de ellos y los propósitos del estudio.

B. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS. Se realizaron los siguientes análisis físico-químicos con la ayuda de espectrofotómetros y otros aparatos electrónicos, a las muestras tomadas en los diferentes puntos: PH (Con fenol rojo), Temperatura (in situ y laboratorio), Conductividad eléctrica (in situ y laboratorio), Dureza, Carbonatos, RAS, Alcalinidad, Sólidos en suspensión, Sólidos sedimentables en 1 hr., Turbidez, Nitratos, Calcio, Sodio, Magnesio, Sulfatos, Boro, Cobre, Hierro, Manganeseo, Zinc, Fósforo y Cloruro.

C. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO. Para el efecto, el laboratorio utilizó el método de la enumeración de los microorganismos presentes en una muestra, empleando medios de cultivo líquidos en series de tres tubos. Los índices para un 95% de confianza, cuando se emplean conjuntos de tres tubos es de: límite inferior menor de 0.5 y Límite superior menor de 9.

Los cuatro parámetros que se analizaron son los siguientes, siendo los límites establecidos para consumo humano de bacterias aerobias mesófilas menor de 500 UFC/ml; coliformes totales: menor de 3 NMP/100ml; coliformes fecales: menor de 3 NMP/100ml, E. coli: menor de 3 NMP/100ml.

D. LOCALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS. Los sitios seleccionados para la toma de las muestras se indican en las figuras del anexo de sitios de muestreo. Se utilizó un punto base en Santa Bárbara y dos satélites en Camotán y Jocotán para efectos de representatividad.

E. Se realizaron 11 muestreos generales, 7 microbiológicos y 2 pruebas de jarras completas. Para estas últimas, una de ellas se realizó con una muestra conteniendo el máximo de turbidez, la cual se tomó inmediatamente después de una alta y constante precipitación pluvial. La otra muestra se colectó en condiciones ordinarias (baja turbidez). Se consideró un muestreo simultáneo, para efectos de representatividad, en tres sitios diferentes para evaluar a través de la demanda bioquímica de oxígeno la contaminación que aportan las comunidades de Camotán y Jocotán al río Jupilingo.

Para esta prueba se contó con los envases y métodos de captación y preservación adecuados para obtener resultados reales.

6.3. Fase de Gabinete II

6.3.1 Se realizaron los mapas temáticos de ubicación del proyecto, sitios de muestreos, áreas de influencia y zona núcleo utilizando herramientas de sistemas geográficos de información (SIG).

6.3.2 PROCESAMIENTO DE DATOS. Las lecturas topográficas tomadas en el campo se representaron posteriormente impresos, cada uno de los puntos, para su interpretación. Los datos se bajaron a un archivo de texto electrónico, posteriormente se transportaron al Autocad, representando gráficamente con medidas reales el levantamiento. Procesando los datos se obtuvo la planta gráfica, con lo cual se identificó cada una de las secciones del río y se calcularon las curvas de nivel con un programa (Softdesk) que interpola los puntos tomados en el campo.

Los caudales se representaron en un modelo hidráulico ejecutado con la ayuda del HEC-RAS, el cual analiza y calcula los perfiles de una superficie de agua de una sección transversal a la siguiente utilizando el método standard de la ecuación de energía. Esta ecuación utiliza los datos de profundidad del agua en la sección transversal, la elevación de la invertida del cauce principal, el promedio de velocidades, es decir, la descarga total / área total del flujo, los coeficientes de velocidad y la energía de pérdida de altura. Para la modelación se utilizaron los caudales máximos diarios para tres períodos de retorno con recurrencias de 50 años, 100 años y 1000 años. (Ver Marco Conceptual 5.1.4).

6.3.3 Los primeros datos necesarios para la ecuación de energía se obtuvieron del procesamiento directo de las lecturas topográficas. La energía provocada por la pérdida de altura se obtiene a partir de los mismos datos, contemplando la gravedad y las pérdidas de energía por varios factores. Para el efecto se tomó en cuenta la ponderación de la descarga de la longitud del tramo, la fricción representativa de la pendiente entre las secciones transversales y el coeficiente de pérdidas por expansión o contracción.

6.3.4 La ponderación de la descarga de la longitud del tramo se calculó utilizando la distancia de la sección transversal del caudal sobre el estribo izquierdo, el cauce principal y el estribo derecho y el promedio aritmético de los caudales entre dos secciones para ambos estribos y el cauce principal.

6.3.5 La determinación del traslado total y los coeficientes de velocidad para una sección transversal requiere que el escurrimiento sea dividido en unidades para las cuales la velocidad está uniformemente distribuida. El acercamiento utilizado en HEC-RAS subdivide el escurrimiento en estribos (áreas) empleando la base de datos de la sección transversal de n-valores de puntos de quiebre (ubicación donde los n-valores cambian). El traslado fue calculado dentro de cada subdivisión de la siguiente forma de la ecuación de Manning (basada en unidades inglesas):

$$Q = KS_f^{1/2} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

Donde: K = traslado de la subdivisión; n = coeficiente de rugosidad para la subdivisión; A = área de escurrimiento para la subdivisión; R = radio hidráulico de subdivisión (área/perímetro mojado)

El programa suma los incrementos de traslado en áreas para obtener el traspaso del estribo izquierdo y el estribo derecho. El traslado del cauce principal normalmente es calculado como un elemento de traslado simple. El total del traslado de la sección transversal se obtiene de las tres subdivisiones (izquierda, cauce, y derecha).

6.3.6 PROCEDIMIENTO COMPUTACIONAL. La elevación de la superficie de agua desconocida en una sección transversal se determinó por solución interactiva de las ecuaciones de energía y energía de pérdida de altura. El procedimiento computacional utilizado es el siguiente:

A. Asumir una elevación de la superficie de agua de la sección transversal superior (o de la sección transversal inferior, en caso de que haya sido calculado el perfil supercrítico). Las secciones transversales son sometidas a rutinas de interpolación desarrolladas por el programa.

B. Conforme a la elevación de superficie de agua asumida, se determina el correspondiente traslado total y energía cinética (velocidad debido al dominio de altura).

C. Con los valores del paso B, se calcula la fricción representativa de la pendiente entre dos secciones ($\bar{S}_f$) y se resuelve la ecuación de energía por pérdida de altura (h_e).

D. Con los valores obtenidos de los pasos B y C, se resuelve la ecuación de energía para WS_2 .

E. Se compara el valor obtenido de WS_2 con el valor asumido en el paso A; se repiten los pasos de A a E hasta que los valores se contengan dentro de 0.003 m (0.01 ft), de tolerancia.

F. El criterio utilizado para asumir la elevación de la superficie de agua en el procedimiento repetitivo varía de tramo a tramo. La superficie de agua del primer ensayo se basa en una proyección previa de la profundidad de la sección transversal anterior a la sección transversal actual. Así quedaron definidos los caudales de diseño.

Se graficaron los resultados de las secciones transversales para los caudales de las recurrencias mencionadas en inciso 7.3.3.

6.3.7 IMPACTO AMBIENTAL: aprovechando la información obtenida a partir de la síntesis generada por el HEC-RAS, en cada una de las secciones transversales fue posible simular el comportamiento del flujo del caudal sobre el cauce asumiendo los caudales extremos en base a los períodos de retorno definidos anteriormente o eventos de recurrencia muy improbable, como el ocurrido en 1998 por la Tormenta Tropical Mitch. El análisis se hizo en función de probabilidades de inundaciones de las parcelas cultivables adyacentes a ambos lados del río. Además se utilizaron matrices de identificación y evaluación de impactos ambientales en base a las fases de ejecución, operación y mantenimiento que conllevaría el proyecto.

6.3.8 INFORME DE CALIDAD DE AGUA. Para el efecto se utilizó como base comparativa la norma guatemalteca obligatoria para agua potable 29001.99 de COGUANOR y los requerimientos generales para irrigación de cultivos. Los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio se representaron en las unidades básicas de los parámetros de interés definidos para poder recomendar un tratamiento del agua, para fines de riego y consumo humano.

7 RESULTADOS

7.1 CAUDALES DE DISEÑO. La ley de valores extremos se aplicó tanto a la serie de caudales máximos como a la de los mínimos. Se calcularon los parámetros de ajuste para usar la ley de distribución estadística de Gumbel y se obtuvieron los caudales según el período de retorno adoptado (ver memoria de cálculo en anexos).

En el cuadro 7.1 se muestran los caudales máximos según los períodos de retorno desde 10 a 100 años y 1000 años y en el cuadro 7.2 aparecen los caudales mínimos según los períodos de retorno desde 5 a 15 años.

**Cuadro 7.1 Caudales Máximos
para diferentes períodos de retorno.**

Período de retorno (años)	Caudal (m ³ /seg)
10	422.25
20	504.18
30	551.32
40	584.55
50	610.24
60	631.18
70	648.87
80	664.17
90	677.65
100	689.71
1000	952.21

**Cuadro 7.2 Caudales Mínimos
Para diferentes períodos de retorno**

Período de retorno (años)	Caudal (m ³ /seg)
5	2.49
10	1.51
15	0.96

7.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO. Por las grandes longitudes recorridas, se hizo necesario colocar puntos geodésicos en puntos claves para el estudio, es por ello que se contempló establecer en tres sitios diferentes, un par de mojones, con el fin de que funcionaran como cierre de las poligonales realizadas y a la vez de salida cuando no se contaba con otra información; estos puntos fueron geoposicionados en Aldea Santa Bárbara, Pista de aterrizaje (IGN) y Parque Central Ismael Cerna de la ciudad de Chiquimula (IGN). Ver plano de "Poligonales" en anexos.

Cuadro 7.3 Coordenadas de puntos geodésicos.

SITIO	X	Y	Z
Santa Bárbara 1	609494.99	1642522.26	308.30
Santa Bárbara 2	609629.30	1642610.74	301.59
Pista de Aterrizaje (IGN)	605559.95	1640583.02	336.94
Parque Central (IGN)	602645.82	1636792.09	424.01

7.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA. Para hacer la modelación hidráulica se usó el Programa: HEC-RAS 2.2. Este software fue diseñado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos y es capaz de modelar el flujo de agua en régimen supercrítico, sub-crítico y combinando ambos regímenes. También puede simular obstrucciones en el río producidas por estructuras.

En el plano de “esquema de prediseño SB-BT-06” (en anexos) se muestra la ubicación de las secciones utilizadas para el modelo. El río se modeló agregándole al cauce natural el canal de aproximación a la bocatoma (figuras 8.2 y 8.6) y la estructura de la misma (figuras 8.3 y 8.7). Estas estructuras se muestran en forma esquemática en el mismo plano. De esta manera se pudo evaluar el comportamiento hidráulico de las mismas.

En el modelo se usaron 14 secciones transversales del río, quedando la No. 4 en el sitio de bocatoma. Estas secciones fueron levantadas con estación total durante el mes de julio del 2002. Las secciones con sus resultados hidráulicos se muestran en “memoria de cálculo” en anexos.

7.3.1 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE CAUDALES MÁXIMOS. En la modelación se usaron los caudales máximos diarios para tres períodos de retorno. Recurrencias de 50 años ($610 \text{ m}^3/\text{seg}$), 100 años ($690 \text{ m}^3/\text{seg}$) y 1000 años ($950 \text{ m}^3/\text{seg}$).

En las próximas figuras se muestran las secciones transversales con los resultados hidráulicos para los distintos caudales, contemplando el canal de aproximación (figura 7.2) y la estructura de bocatoma frontal (figura 7.3). El cuadro 7.4 muestra los resultados obtenidos en la modelación en el sitio de interés de bocatoma.

Las secciones se exponen desde aguas arriba hacia agua abajo. En las figuras aparece la siguiente leyenda: *EG* = Línea de energía; *WS* = Superficie de agua; *Crit*= Tirante crítico; *Ground* = Suelo; *Bank Sta* = Orilla del cauce.

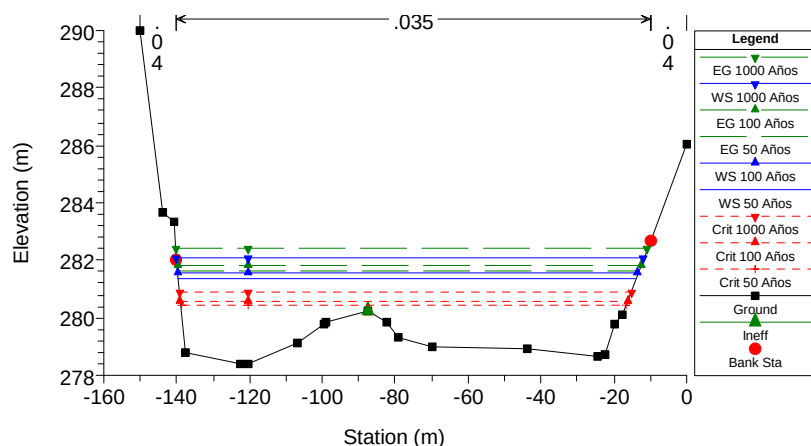


**Figura 7.1 Sección Transversal 6
Caudales Máximos**

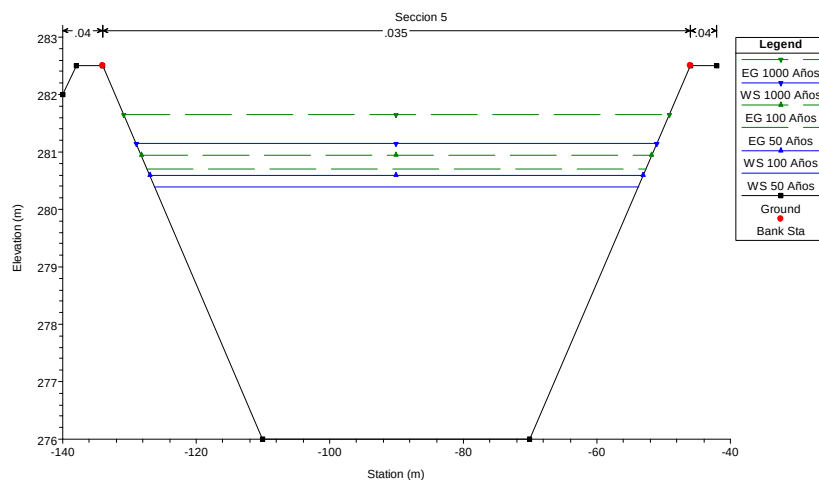


Figura 7.2 Sección Transversal 5
Caudales Máximos

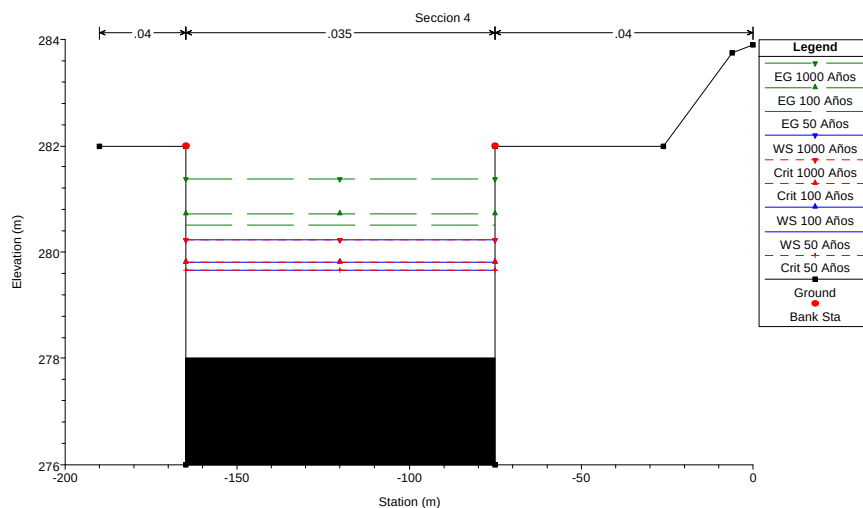


Figura 7.3 Sección Transversal 4
Caudales Máximos

Las figuras muestran la elevación en metros sobre el nivel del mar en el lado izquierdo y en la parte inferior la distancia en metros lineales de la sección transversal, basada en el “camino” de la sección correspondiente y los resultados para los distintos caudales que probablemente puedan escurrir (recurrencia de 50, 100 y 1000 años) por el cauce natural y por los obstáculos que representan las estructuras de bocatoma transversal (sobre la sección transversal 4) y el canal de aproximación (sobre la sección transversal 5).

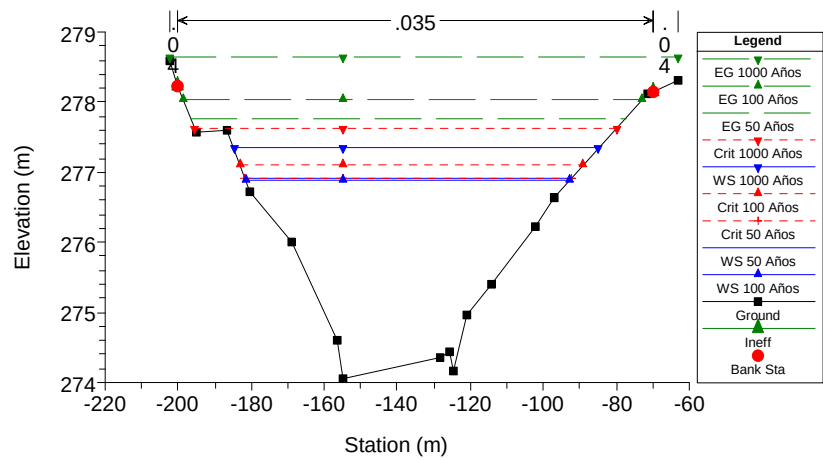


Figura 7.4 Sección Transversal 3
Caudales Máximos

Cuadro 7.4
Resumen de Resultados

Sección Transversal número	Caudal (m ³ /seg)	Elevación Mínima del canal (msnm)	Superficie de Agua (msnm)	Tirante Crítico (msnm)	Elevación Línea de Energía (msnm)	Pendiente Línea de Energía (m/m)	Área de Flujo (m ²)	Ancho Superficial (m)	Número de Froude
6	610	278.4	281.47		281.69	0.001789	291.44	125.94	0.44
6	690	278.4	281.65		281.89	0.001804	313.79	126.59	0.45
6	950	278.4	282.17		282.49	0.001848	379.84	128.51	0.46
5	610	276.2	280.17	280.1	281.03	0.009443	148.59	89.37	0.96
5	690	276.2	280.34	280.31	281.25	0.009727	162.55	100.79	0.98
5	950	276.2	280.84	280.84	281.89	0.009682	209.51	129.73	1
4	610	275.99	279.04	279.19	280.08	0.012574	135.11	80.93	1.11
4	690	275.99	279.21	279.41	280.3	0.012552	149.15	89.14	1.12
4	950	275.99	279.61	279.92	280.92	0.012939	191	119.74	1.15
3	610	274.05	276.64	276.93	277.86	0.016905	124.58	106.01	1.27
3	690	274.05	276.8	277.09	278.07	0.016376	138.51	113.4	1.26
3	950	274.05	277.21	277.62	278.7	0.016153	175.97	135.72	1.28

7.3.2 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE CAUDALES MÍNIMOS. En la modelación se usaron los caudales mínimos diarios para tres períodos de recurrencia: 5 años ($2.49 \text{ m}^3/\text{seg}$), 10 años ($1.51 \text{ m}^3/\text{seg}$) y 15 años ($0.90 \text{ m}^3/\text{seg}$). En las próximas gráficas se muestran las secciones transversales con los resultados hidráulicos para los distintos caudales.

Las secciones se ven desde aguas arriba hacia agua abajo.

En las figuras aparece la siguiente leyenda: *EG = Línea de energía; WS = Superficie de agua; Crit= Tirante crítico; Ground = Suelo; Bank Sta = Orilla del cauce.*

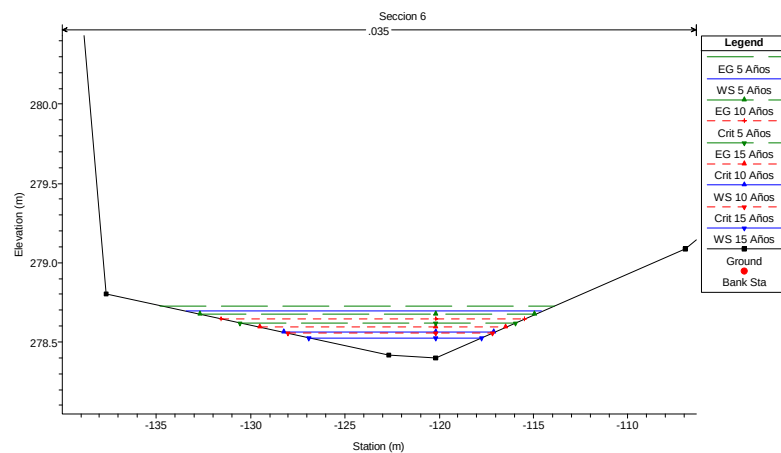


**Figura 7.5 Sección Transversal 6
Caudales Mínimos**

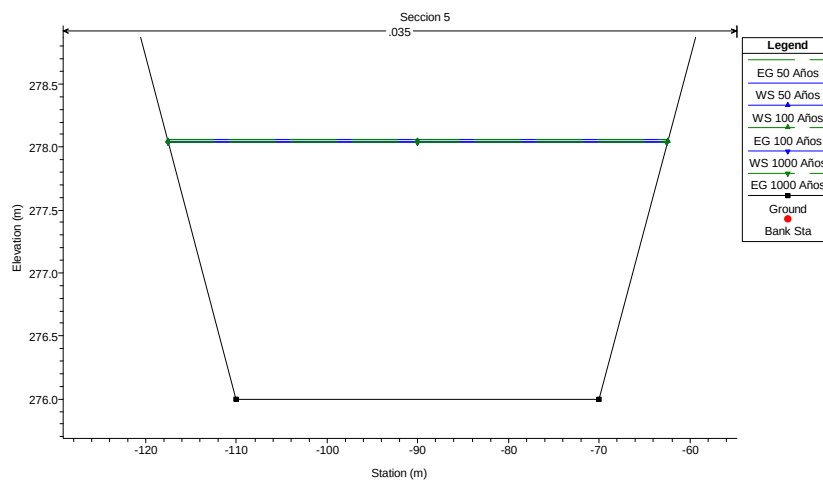


**Figura 7.6 Sección Transversal 5
Caudales Mínimos-Canal de aproximación**

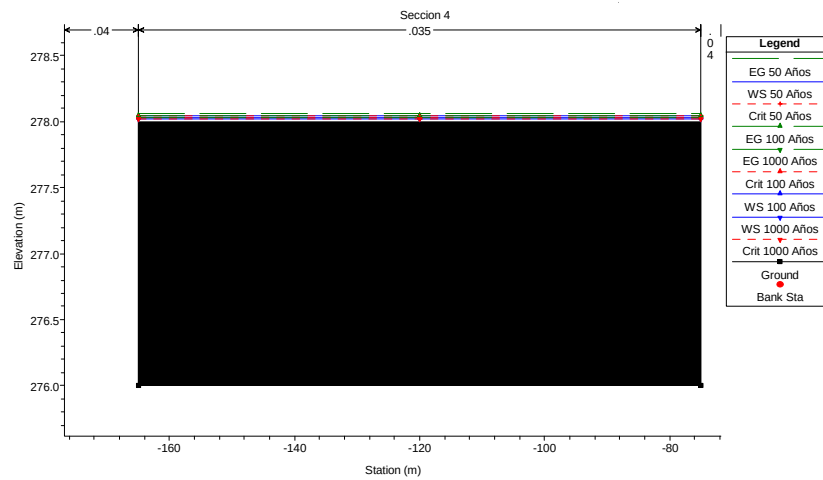


Figura 7.7 Sección Transversal 4
Caudales Mínimos-Bocatoma

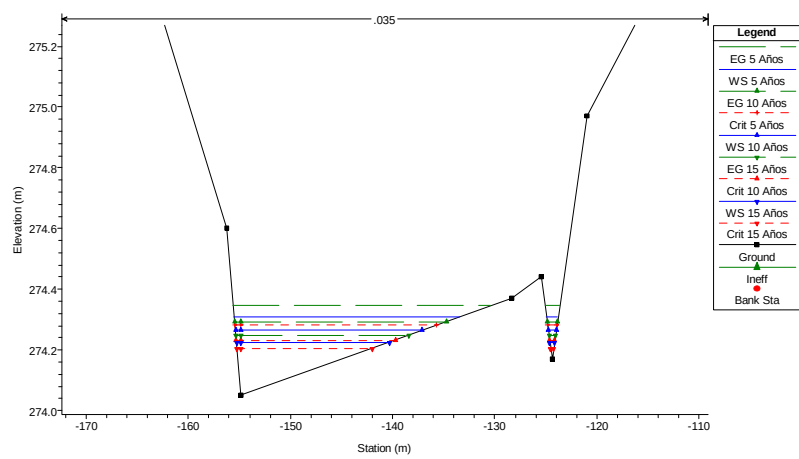


Figura 7.8 Sección Transversal 3
Caudales Mínimos-

Cuadro 7.5
Resumen de Resultados

Sección Transversal número	Caudal (m ³ /seg)	Elevación Mínima del canal (msnm)	Superficie de Agua (msnm)	Tirante Crítico (msnm)	Elevación Línea de Energía (msnm)	Pendiente Línea de Energía (m/m)	Área de Flujo (m ²)	Ancho Superficial (m)	Número de Froude
6	2.49	278.4	278.68		278.72	0.012242	2.83	19.35	0.73
6	1.51	278.4	278.62		278.66	0.013362	1.84	14.84	0.74
6	0.9	278.4	278.58		278.61	0.012183	1.3	12.52	0.69
5	2.49	276.2	276.67	276.55	276.69	0.002904	4.97	26.79	0.37
5	1.51	276.2	276.6	276.5	276.61	0.003674	3.18	22.16	0.4
5	0.9	276.2	276.54	276.44	276.55	0.00407	2.01	16.48	0.41
4	2.49	275.99	276.17	276.16	276.21	0.014178	2.86	21.99	0.77
4	1.51	275.99	276.13	276.11	276.16	0.016668	1.98	21.07	0.79
4	0.9	275.99	276.11	276.09	276.13	0.013957	1.51	20.28	0.7
3	2.49	274.05	274.3	274.28	274.34	0.015035	2.85	22.84	0.79
3	1.51	274.05	274.26	274.23	274.29	0.014713	1.97	18.9	0.76
3	0.9	274.05	274.23	274.2	274.25	0.014319	1.35	15.52	0.72

En este caso interesó conocer la elevación de agua en la bocatoma cuando en el río escurre un caudal mínimo. Así con motivos de asegurar un tirante mínimo se ha propuesto un escalón de dos metros que hace que el agua eleve su tirante para pasar sobre él. De este modo queda garantizado un tirante suficiente para obtener hasta 350 litros por segundo.

7.4 IMPACTOS AMBIENTALES (RIESGOS DE INUNDACIÓN). Como puede verse en el plano de “Esquema de prediseño” , desde la sección número 6 comienza la obra del canal de aproximación que tendría que realizarse.

7.4.1 CANAL DE APROXIMACIÓN. En la sección número 5 se modeló un bordo de tierra que alcanza la elevación de 282.5 msnm y de talud 1 vertical por 3 horizontal. La modelación hidráulica muestra que las medidas adoptadas son suficientes para permitir el paso en forma holgada del caudal máximo de diseño para un período de retorno de 1000 años, con lo cual se protegerían los terrenos adyacentes y la estructura

de bocatoma, incluso con eventos como el ocurrido en 1998 con la tormenta tropical Mitch, cuando el caudal alcanzó los 900 m³/seg.

En la sección transversal número 4 (figura 8.3) se modeló la estructura de una posible bocatoma frontal que alcanza una elevación de 282 msnm y presenta un escalón en la invertida del canal de 2 metros de altura para asegurar ese mismo tirante en forma permanente en la bocatoma. Esta sección hidráulica también muestra ser suficiente como para permitir el paso del agua en las condiciones de diseño, según los resultados arrojados por los períodos de retorno.

En los resultados mostrados en el cuadro 8.5 el número de Froude correspondiente a cada valor de recurrencia en las distintas secciones transversales, el caudal tiende a ser de régimen supercrítico por el aumento en caudal, pero en proporciones mínimas. Seleccionando los datos utilizados para diseño de estructuras de 50 años de recurrencia (610m³/seg) , para las cuatro secciones transversales elegidas en dirección inversa, es decir, de aguas abajo para aguas arriba, el número de Froude tiende a ser menor que 1, por lo cual el caudal correspondería a un régimen subcrítico, minimizando la probabilidad de inundaciones en los sectores anteriores al sitio de bocatoma, aún en condiciones extremas. Esto se debe a que en el área de las secciones transversales 5, 6 y 7 el ancho superficial es más extenso, la pendiente es fuerte (2.5-3%) y el cauce más uniforme, distribuyendo el caudal de forma más expandido.

7.4.2 PROTECCIÓN AGUAS ABAJO. Es necesario proteger el cauce del río aguas abajo de la bocatoma. El escalón de desborde desde donde el agua fluye en caída libre podrá ser hasta de dos metros y el flujo del río sería supercrítico por lo cual su velocidad transcurriría de forma considerable. Debido a lo antes mencionado el flujo de agua ocasionaría daños a la estructura de la bocatoma en el pie del escalón de desborde. En el diseño se deberá contemplar la ejecución de la protección que se muestra en el plano Esquema de prediseño SB-CH-06.

7.4.3 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES. Contemplando los medios físico, biológico y socioeconómico-cultural se identificaron los posibles impactos, así como su incidencia directa o indirecta. Ver Anexo 11.7 (Matriz interactiva de identificación de impactos ambientales para las distintas fases del proyecto del río Jupilingo, Santa Bárbara).

En base a lo anterior se evaluaron los impactos y su magnitud relacionando los factores ambientales con los indicadores y actividades que el proyecto conllevaría.

La fase de ejecución de la obra resultó ser la mayor afectada, ubicando 14 impactos de magnitud moderada de 90 evaluados. La mayoría de impactos resultaron de significancia baja y algunos otros como la geología y suelos, se ven moderadamente afectados por la preparación del sitio y construcción de obra, excavación, cortes y movimientos de tierras y la explotación de bancos de materiales. Para la fase de operación se pronostican únicamente dos impactos moderados en relación a hidróloga, uno vinculado con la puesta en servicio de las obras y otro con el uso y manejo de compuestos químicos (aditivos) si se utilizaran. Sin embargo esto lo dictará el diseño final del proyecto. Para la fase de mantenimiento casi todos los impactos son nulos, a excepción de 9 factores que resultaron de baja magnitud. Ver anexo 11.8.

7.5 CALIDAD DE AGUA. El comportamiento de los principales parámetros, tanto físicos, microbiológicos como químicos durante los períodos hidrológicos 2001-2002 y 2002-2003 se presentan a continuación (Cuadros 7.6-7.10) en los resultados obtenidos a través de los análisis *in situ* y de laboratorio con lo cual se establece la siguiente “caracterización de la calidad de agua del río Jupilingo”.

7.5.1 CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO. El pH tuvo un promedio de 7.3 durante el registro, por lo cual podría alcalinizar el suelo, según indicaciones del laboratorio Agrilab⁵, y para la aplicación de pesticidas es conveniente acidificar (a menos de pH 6.5) la solución para que no pierdan su efectividad. El “Fe” se encuentra en niveles excesivos y podría obstruir las tuberías de riego por la formación de hidróxidos insolubles, pero no causará daño a las plantas. Otros parámetros que registraron niveles fuera de los rangos permitidos son el boro y la turbidez. Para el primero el manejo depende de la tolerancia de las especies a ser cultivadas y para el segundo se deberán contemplar estructuras que permitan extraer los sedimentos de forma adecuada.

La dureza, C.E y R.A.S se encuentran dentro de los límites tolerables, así como la relación Ca:Mg, que oscila dentro de los valores adecuados de 3-5:1.

⁵ Agrilab-soluciones Analíticas: Laboratorio que realizó los análisis de calidad de agua para riego.

CUADRO 7.6 ANÁLISIS FÍSICO DE MUESTRAS DE AGUA⁶

Fuente	Fecha	Parámetros				mg/L		
		pH	C.E.(mm hos/cm)	Dureza (ppm CaCO3)	Turbidez NTU	Sólidos en suspensión	Sólidos sedimentables 1 hr.	Sólidos totales
Río Jupilingo Jocotán	21/04/2001	8,3	0,36	124	4	SA	SA	SA
Río Jupilingo (Santa Bárbara)	07/09/2001	7	SA	SA	2000	2700	2	3400
Río Jupilingo (Santa Bárbara)	18/09/2001	7,2	0,23	SA	800	700	0,9	1000
Jupilingo	05/07/2001	SA	SA	SA	9	SA	SA	SA
Jupilingo	25/07/2001	SA	SA	SA	635	SA	SA	SA
Jupilingo	27/07/2001	7,9	0,285	160	1300	2530	132,4	
Jupilingo	09/07/2001	8,7	0,354	225	8,8	SA	SA	SA
Jupilingo (Camotán)	04/10/2001	7	SA	SA	270	250	0,35	500
Jupilingo (Jocotán)	04/10/2001	7	SA	SA	200	250	0,45	500
Jupilingo (Santa Bárbara)	04/10/2001	7	SA	SA	240	260	0,35	500
Jupilingo (Santa Bárbara)	08/11/2001	7	SA	91	125	SA	SA	SA
Jupilingo (Santa Bárbara)	16/11/2001	8,4	SA	100	43	65	200	370
Jupilingo (Santa Bárbara)	07/10/2002	7,8	0,2	79,4	SA	SA	SA	SA
Promedio		7.133	0.2	129.9	511.45	965	101	1045
<u>LRR[1]</u>		5.5-6.5	1.5	150	45	nsc	nsc	nsc
<u>LMA[2]</u>		7-7,5	0,1	100	5	nsc	nsc	nsc
<u>LMP[3]</u>		6,5-8,5	0,75	500	15	<u>nsc[4]</u>	nsc	nsc

[1] LRR: LÍMITE DEL RANGO PARA RIEGO

[2] LMA: LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE PARA CONSUMO HUMANO (COGUANOR)

[3] LMP: LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE PARA CONSUMO HUMANO (COGUANOR)

[4] nsc: no se contempla en la norma PARA CONSUMO HUMANO DE COGUANOR

xxx: Alerta de precaución por nivel alto y/o excesivo en comparación a las normas.

Xxx: Alerta por niveles perjudiciales para consumo humano y/o fitotóxicos.

SA: Sin análisis, parámetro no contemplado para la ocasión de muestreo

⁶ RESULTADOS CERTIFICADOS POR AGRILAB Y LABORATORIO DE AGUAS DE INFOM/UNEPAR.

CUADRO 7.7 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE MUESTRAS DE AGUA

			PARÀMETRO			
			UFC/ml[1]	NMP/100ml[2]		
FUENTE	FECHA	APARIENCIA	BACTERIAS AERÒBICAS	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	E. COLI
Río Jupilingo Camotán	21/04/2001	Ligeramente turbia	4800	2400	140	21
Río Jupilingo Jocotán	21/04/2001	Ligeramente turbia	3300	2400	2400	1600
Jupilingo	23/06/2001	Ligeramente turbia	5800	2400	920	540
Jupilingo	05/07/2001	Ligeramente turbia	7000	24000	2100	2100
Jupilingo	08/11/2001		25500	90000	90000	
Jupilingo	16/11/2001		7700	16000	16000	
Jupilingo	23/11/2001	Clara	650	50	50	50
Promedio			7821,42857	19607,1429	15944,2857	862,2
LE[5]			<500	<3	<3	<3

[1] UFC/ml: UNIDADES FORMADORAS DE COLONIA POR MILILITRO.

[2] NMP/ml: NÚMERO MÁS PROBABLE.

[5] LE: LÍMITE ESTABLECIDO SOBRE LABASE A LA NORMA GUATEMALTECA COGUANOR (NGO 29 001) PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA POTABLE.

CUADRO 7.8 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO⁷

FUENTE	FECHA	DBO mg/L	DQO	Oxígeno Disuelto
Jupilingo (Camotán)	03/10/2001	0,2	7	8
Jupilingo (Jocotán)	03/10/2001	0,1	12	8
Jupilingo (Santa Bárbara)	03/10/2001	0,2	3	8
Jupilingo (Santa Bárbara)	07/09/2001	6	59	
Jupilingo (Santa Bárbara)	18/09/2001	17	1,4	
Promedio		4,7	16,48	8
LMP		0,001		

⁷ ANALIZADOS POR LABORATORIO DE AGUAS DE INFOM/UNEPAR.

CUADRO 7.9 ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRAS DE AGUA

		PARÁMETROS (ppm ¹)										
FUENTE	Fecha	Nitrato (NO3)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sulfato (SO4)	Potasio K	RAS	Boro (B)	Cobre (Cu)	Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)
Río Jupilingo	1-5-01	0,9	37,1	7,6	63	SA SA	SA	0,2	0,09	0,09	0,09	0,09
Río Jupilingo	18-9-01	5,7	SA	SA	40	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Río Jupilingo	7-9-01	2,6	SA	SA	6	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Río Jupilingo	27-7-01	0	44	12,14	66	SA	SA	SA	SA	99	3,3	SA
Río Jupilingo	9-7-01	6,16	56	20,63	1	SA	SA	SA	SA	0,61	0,1	SA
Río Jupilingo (Camotán)	3-10-01	19	SA	SA	32	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Río Jupilingo (Jocotán)	3-10-01	19	SA	SA	26	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Río Jupilingo	3-10-01	1,2	SA	SA	32	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Río Jupilingo	8-11-01		36	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Río Jupilingo	16-11-01	SA	40	SA	SA	SA	SA	SA	SA	0,91	SA	SA
Río Jupilingo	7/10/02	1.3	24.3	4.6		3.2	0.25	1.3	◁ 0.1	0.8	◁ 0.1	◁ 0.1
Promedio		6.206	40.06	4.6	33.25	3.2	0.25	0.75	0.1	49.9	0.89	0.1
LRR[2]		21.0	121.00	25.00		70.00	4.00	0.5	0.2	0.2	0.2	0.5
LMA[3]		10,00	75,00	50,00	100,00	nsc	nsc	0,30	0,05	0,10	0,05	3,00
LMP[4]		10,00	150,00	100,00	250,00	nsc	nsc	0,30	1,50	1,00	0,50	70,00

[1] ppm: PARTES POR MILLÓN.

[2] LRR: LÍMITE DE RANGO PARA RIEGO

[3] LMA: LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE CONSUMO HUMANO.

[4] LMP: LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE CONSUMO HUMANO.

[5] nsc: no se contempla en la norma guatemalteca de consumo humano

SA: Sin análisis, parámetro no contemplado para la ocasión de muestreo

FUENTE	Fecha	Cloruro (Cl)	Mercurio (Hg)	Fosfatos PO_4^{3-}	Sodio Na	Carbonatos CO_3	Fósforo P	Nitritos NO_2^-	Nitrógeno Amoniacal NH_3^+	Alcalinidad debida al bicarbonato	Alcalinidad total
Río Jupilingo	1-5-01	9,9	0,0009	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Río Jupilingo	18-9-01	9,9	SA	0,17	SA	SA	SA	0,056	0,15	SA	SA
Río Jupilingo	7-9-01	9,9	SA	1	SA	SA	SA	0,28	0,14	SA	SA
Río Jupilingo	27-7-01	SA	SA	SA	SA	SA	SA	0	SA	SA	SA
Río Jupilingo	9-7-01	SA	SA	SA	SA	SA	SA	0	SA	SA	SA
Río Jupilingo (Camotán)	3-10-01	SA	SA	0,3	SA	SA	SA	0,03	0,46	SA	SA
Río Jupilingo (Jocotán)	3-10-01	SA	SA	0,22	SA	SA	SA	0,05	0,13	SA	SA
Río Jupilingo	3-10-01	SA	SA	0,15	SA	SA	SA	0,04	0,31	SA	SA
Río Jupilingo	8-11-01	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	105	105
Río Jupilingo	16-11-01	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	99	115
Río Jupilingo	07/10/02	SA	SA	SA	5.2	< 5.0	< 0.1	SA	SA	105.4	99.5
Promedio		9,9	0,0009	0,368				0,06514	0,238	102	110
LRR[2]					60.00	5.0	0.5			183.00	150
LMA[3]	-	100,00									
LMP[4]	-	250,00	0,001	nsc[5]				nsc[5]	nsc[5]	nsc[5]	nsc[5]

SA: Sin análisis, parámetro no contemplado para la ocasión de muestreo

CUADRO 7.10 OTROS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

		PARÁMETRO mg/L	
FUENTE	FECHA	SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	Mercurio
Jupilingo	23/06/2001	<1	
Jupilingo	26/04/2001		<0.001
LMP		1	0.001

8 CONCLUSIONES

8.1 CAUDALES EXTREMOS, LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y MODELACIÓN HIDRÁULICA. El análisis de los registros demostró que el comportamiento del caudal varía ampliamente en función de la época, obteniendo valores mínimos de $0.9 \text{ m}^3/\text{seg}$ y máximos que sobrepasan los $600 \text{ m}^3/\text{seg}$ para una recurrencia de 50 años, lo cual repercute directamente en las características de calidad del agua y los regímenes de la escorrentía. A través de la modelación hidráulica se facilita el diseño final de una estructura de bocatoma con la intervención de especialistas estructurales. Aprovechando la información obtenida se realizó un prediseño, como se muestra en las figuras 7.1 a 7.8, de tal forma que le sirva al diseñador de la obra en la última etapa. Con dicho prediseño se podría captar hasta 350 lps, es decir, más del 10% del caudal necesario para cubrir las necesidades de riego y consumo humano del sector de Santa Bárbara durante 7 años, cubriendo con riego eficiente una extensión de hasta 250 ha.

A) CANAL DE APROXIMACIÓN. El canal de aproximación a la bocatoma que se muestra en perfil en el plano Secciones transversales SB-CH-06 (Anexo 11.6) asegurará mantener el curso de agua y no permitirá el desborde de las aguas en épocas de crecida.

Las dimensiones de la obra se han prediseñado contemplando un caudal de diseño de 1000 años de recurrencia ($Q=950 \text{ m}^3/\text{seg}$), y adoptando una revancha sobre el tirante calculado para dicho caudal de 1.15 metros. El estudio sobre caudales de diseño no ha sido suficientemente profundo como para adoptar estas dimensiones definitivamente, pero es sobradamente exacto para el prediseño de las obras.

B) ESTRUCTURA DE LA BOCATOMA. La bocatoma es la estructura que permitirá obtener el caudal de diseño del sistema de abastecimiento de agua en forma permanente desde el río. En el Río Jupilingo no existen valores de caudales inferiores a $0.9 \text{ m}^3/\text{seg}$ durante el período de registro de la serie diaria de aforos hecha por el INSIVUMEH en la estación meteorológica del poblado de Camotán. Dicho registro se comenzó en el año 1969 y prosigue al día de la fecha. De esta manera y debido a que se debe contemplar la protección de la cuenca del río se considera prudente asegurar que el caudal del río no será menor al caudal requerido para el abastecimiento de agua potable y del sistema de riego del sector de Santa Bárbara.

La bocatoma debe tener sus dimensiones lo suficientemente grandes como para permitir el paso del caudal máximo de diseño en forma holgada y también su diseño debe ser tal que permita obtener el caudal requerido para caudales mínimos.

La estructura se comporta adecuadamente para caudales máximos. En la sección de desborde que se ha prediseñado se obliga al flujo a escurrir en tirante crítico. La elevación del tirante de agua en esas condiciones es de 280,24 msnm. La corona de la bocatoma tiene una elevación de 282 msnm por lo que la lámina de agua durante este evento se encontraría a 1,36 metros por debajo de la cota máxima de la estructura.

En el caso de caudales mínimos, la elevación de la lámina de agua en la bocatoma es de 278,02msnm. El escalón de desborde tiene una elevación en su corona de 278 msnm lo que significa que el agua vierte sobre el escalón con un tirante de 2 centímetros.

Debido a que el escalón de desborde es de dos metros de altura sobre la invertida del canal de aproximación que tiene 276 msnm se asegura en la compuerta de la bocatoma un tirante de 2 metros que es suficiente para obtener el agua requerida.

8.2 IMPACTOS AMBIENTALES: Los impactos que podrían ocasionar las diferentes fases de actividades del proyecto no se consideran impedimento para el desarrollo del mismo, siempre que se lleven a cabo las medidas de mitigación adecuadas.

Como ejemplo se puede mencionar que los desbordamientos que pueden ocurrir con la construcción de una bocatoma transversal, que según el modelo, se anularán con la construcción del canal de aproximación adecuado.

En el área de Santa Bárbara no existen infraestructuras permanentes que se vean afectadas o puedan obstaculizar el desarrollo del proyecto, únicamente el puente colgante que comunica las aldeas del sector norte y 2 canales artesanales de derivación para riego (ambas estructuras semipermanentes).

Indiscutiblemente los factores: geología, suelos, aire, usos del suelo, hidróloga, ruido, paisaje, vegetación y fauna se verían afectados en el corto plazo por impactos fuertemente perceptibles, sin embargo en el mediano o largo plazo convenientes para el entorno.

En general, la implantación del proyecto llevaría a la zona más beneficios socioeconómicos que perjuicios ambientales, principalmente por la generación de empleos, salud y producción agrícola, traducido en desarrollo local.

8.3 CALIDAD DE AGUA: El agua del río Jupilingo es apta para los propósitos de riego y consumo humano tomando en cuenta lo siguiente. Los niveles de turbidez extremadamente altos en épocas lluviosas responden a la degradada cuenca en todos sus sectores, por lo cual es indispensable contemplar un desarenador en el diseño del sistema, previo al aprovechamiento de agua para ambos propósitos y un sistema de floculación y desinfección para agua de consumo humano. Ambas estructuras serán indispensables debido a los valores de sólidos en suspensión y carga bacteriana que se muestran en los cuadros 7.6-7.10, además del control del fluido y deberán estar resguardadas por un muro de concreto que las proteja en las épocas de crecida del río.

Las comunidades de Camotán y Jocotán aportan carga bacteriana y coliformes fecales significativamente al efluente, lo cual puede repercutir negativamente para el funcionamiento del sistema.

No se encontraron sustancias tóxicas originadas de pesticidas, como lo muestra el cuadro 7.10, ni derivados de fertilizantes nitrogenados, según los resultados de la tabla 7.9.

9 RECOMENDACIONES

9.1 Las obras a diseñar deben tener dimensiones suficientemente grandes como para permitir el paso del caudal máximo de diseño, así como garantizar el abastecimiento en condiciones mínimas. El diseñador final podrá elegir a su conveniencia, y según algunos otros parámetros, como costo de la obra, análisis geológico y riesgos, el caudal correspondiente al período de retorno que más se ajuste a los requerimientos. También se podrá modelar cualquier otra estructura, o simular el sitio de bocatoma en cualquiera de las 14 secciones transversales realizadas.

La bocatoma también podría ser de tipo lateral, según evaluación de riesgos y costos que deberá realizarse.

9.2 La importancia de la elaboración de los mojones del levantamiento topográfico no solamente beneficia al proyecto en estudio, sino que también a la ciudad de Chiquimula, pues en cualquier momento se podrá hacer uso de esta información para estudiar o ejecutar cualquier proyecto colectivo o particular. Inclusive servirá al momento de la ejecución en su replanteo.

9.3 Para construir esta obra será necesario remover un puente peatonal existente que se encuentra a pocos metros aguas arriba de la posición propuesta para la estructura. En el diseño de la bocatoma se debe contemplar la ejecución de un paso peatonal que permita mantener abierta esta vía de acceso a las comunidades vecinas.

9.4 En las inmediaciones de la bocatoma existe un pequeño cerro (estribo izquierdo) que presenta un riesgo inminente de colapsar por lo que se propone su estabilización con terrazas o gaviones.

9.5 Será de mucho beneficio realizar una caracterización detallada de los suelos de la región para considerar el efecto del agua de riego y continuar con registros de calidad de agua.

9.5.1 Las tuberías de conducción deberán ser preferentemente de pvc debido a los altos valores de "Fe".

9.5.2 Para el cultivo de cualquier especie se deberá contemplar los elevados niveles excesivos de Boro para que no resulte fitotóxico.

9.6 Para consumo humano el agua debe ser sometida a un proceso de purificación convencional (cloro), además de sedimentación-floculación para cumplir con las normas de COGUANOR. El diseño se podrá basar en las velocidades de sedimentación que se muestran en el cuadro 8.6.

9.7 Todos los impactos de magnitud baja y moderada arrojados por la matriz interactiva de evaluación de impacto ambiental (anexo 12.8) tendrán que ser examinados exhaustivamente en base al diseño final del proyecto, para tomar las medidas de mitigación correspondientes.

9.8 Es necesario intensificar los programas de protección de las subcuencas que componen el sistema del río Jupilingo para mejorar la calidad de agua y garantizar el suministro del fluido a largo plazo.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. ARC-VIEW 3.1. 1998. USA, Environmental Systems Research Institute; Neuron Data. 1 CD.
2. ARGENTINA. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. 2002. Calidad del agua. Argentina. (http://www.inta.gov.ar/pergamino/riego/rq_mascalidad.htm).
3. ARGENTINA. SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA NACIÓN. 1996. Niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente. Argentina. 26 p.
4. AUTOCAD RELEASE, version 14.0. 1997. USA, Autodesk, Inc.; Spatial Technology, Inc.; Three-Sapace, Ltd.; Applied Geometry Corp.; Microsoft Corporation. Licensed to: LBERGER. S.N. 117-99703105.
5. COMISIÓN CENTROAMERICANA DE AMBIENTE Y DESARROLLO. 1998. Síntesis perfil ambiental de Chiquimula; proyecto "construyendo las capacidades locales para el desarrollo sostenible de los departamentos de Chiquimula y Alta Verapaz; 910-9257/CANADA/CCAD. Guatemala, Asociación de Investigación Económica y Social; REDFIA; Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 86 p.
6. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN. 2002. Sistemas de información geográfica, departamento de Chiquimula. (www.maga.gob.gt/sig/).
7. GUATEMALA. COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS. 1999. Norma 29001, agua potable, especificaciones. Guatemala. 17 p.
8. GUATEMALA. INSTITUTO DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. 2002. Anuarios hidrológicos. Guatemala. 37 p.
9. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN. 1991. Plan maestro de riego y drenaje; documento no. 2 y 4. Guatemala. 75 p.
10. HEC-River Analysis System 2.2. 1998. USA, Hydrologyc Engineering Center; Us Army Corps of Engineers; Water Resources Consulting. 1 CD.
11. LINSLEY, R.K. 1981. Hidrología para ingenieros. México, McGrawHill. 386 p.
12. LOUIS BERGER GROUP, THE (Gua.). 2001. Estudios, planos y diseños finales de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Chiquimula; informe geológico. Guatemala. v. 033, 194 p.
13. URRUTIBEIHITY, S.J. 2002. Teoría de valores extremos, ley de Gumbel. La Plata, Argentina, The Louis Berger Group Inc. (Correspondencia personal). (sebaurreu@hotmail.com).