

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERIA
MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERIA**



**MODELACIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO RÍO COLORADO-
ACUÍFERO Y SU IMPACTO EN EL HABITAT RIPARIO: SITIO
DEMOSTRATIVO MEXICALI, B. C., MÉXICO**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERIA

PRESENTA:
FERNANDO FIGUEROA ORTIZ

DIRECTOR DE TESIS
DR. JORGE RAMIREZ HERNANDEZ

Mexicali, B. C.

Mayo 2011

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de Sonora**, por el gran apoyo que me ha otorgado para poder llevar a cabo este trabajo doctoral.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por su apoyo económico brindado para cursar mis estudios de posgrado en maestría y doctorado.

Al **Dr. Jorge Ramírez Hernández**, por su valiosa colaboración basada en su vasta experiencia para la dirección del presente trabajo.

Al **Instituto de Ingeniería** de la **Universidad Autónoma de Baja California**, a todo su personal, en especial al **Dr. Benjamín Valdez S.**, a Maestros Investigadores y a compañero(a)s y amigo(a)s tesistas.

Al personal de **Sonoran Institute**, en especial al Dr. Francisco Zamora N, al personal de **PRONATURA**, en especial al Dr. Osvel Hinojoza H. por sus atenciones y apreciables colaboraciones para llevar a cabo este estudio.

A los Doctores; **Margarito Quintero Núñez, Francisco Zamora Arroyo, Arturo Sol Uribe, Onofre Rafael García Cueto y Jaime Alfonso Reyes López**, por sus sugerencias en el desarrollo y revisión del presente trabajo.

DEDICATORIA

A mi linda esposa, **Elsa Guadalupe Loustaunau W.**, por su amor, paciencia, sacrificio, apoyo moral y físico brindado por tantos años para lograr mis objetivos profesionales.

A mis hijos: **Fernando y Luís Ernesto** por su comprensión y ayuda en su forjamiento profesional al tener a su padre brindándoles ejemplo, consejos, guía y amor a diario a distancia ante la necesidad.

A mis padres **Carmelita y Ramón**, a mis hermanos **Martha, Olga, Carmen Alicia, Ramón, Héctor y Martín Arturo**.

A toda mi **gran familia y amigos** que me han acompañado por el camino de esta hermosa vida.

A todos mis **alumnos, exalumnos, sobrinos y ahijados** de manera muy especial, para expresarles por medio de este logro, que para estudiar y lograr objetivos personales, no existen barreras ni obstáculos aunque se tenga mi avanzada edad.

RESUMEN

Diversas obras hidráulicas de regulación en el Río Colorado (RC), ocasionan flujos nulos en territorio mexicano, produciendo gran daño al entorno ambiental. El objetivo de este trabajo consistió en establecer un modelo del sistema hidrológico del RC para determinar un caudal ecológico base para una restauración y conservación del hábitat ripario para Sitio Demostrativo, tramo puente vía del ferrocarril Mexicali-Benjamín Hill y vado Carranza.

Para la determinación de un caudal ecológico, se aplicó el método del perímetro mojado, el cual es considerado uno de los más conocidos y comúnmente utilizado en Estados Unidos (EU). Este método asume que la integridad del hábitat está directamente relacionada con el área húmeda, el flujo recomendado es aquel cerca de este punto de inflexión en curvas caudal-perímetro mojado. En este estudio es obtenido un caudal ecológico base promedio en 12 secciones comprendidas en área de mayor representatividad y susceptibilidad a una restauración de $2.59 \text{ m}^3/\text{s}$

Mediante 25 secciones topográficas transversales del RC proporcionadas por CONAGUA, empleando Hec-Ras para diversos caudales ($0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ a $10 \text{ m}^3/\text{s}$) se evaluaron las respectivas elevaciones del espejo de agua.

En el presente trabajo se diseñó un programa de cómputo que permitió estimar para un caudal dado para cada sección, el número de canales inundados, coordenadas geográficas de puntos extremos del espejo de agua en cada canal, tirantes máximos, perímetro mojado y suma ancho de agua superficial. Dicho programa permitió obtener las áreas inundadas para caudales de 0.1 a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ con una mayor precisión que las obtenidas al emplear Hec-Ras directamente.

Se determinó la altura de brocales en los 27 piezómetros establecidos en zona de estudio y se definieron 13 líneas de flujo para el estudio del intercambio de aguas subterráneas-cauce del RC en zona de estudio, al considerar parejas de piezómetros para un estudio de gradientes existentes a diferentes fechas.

En el presente estudio se determinó la permeabilidad y características texturales del suelo para ello se efectuaron los análisis correspondientes de muestras extraídas en 2 etapas, pruebas directas con permeámetro de carga constante y trabajos previos. Estas labores se realizaron para una aplicación de la ley de Darcy, en el intercambio aguas subterráneas-cauce del RC, lo cual permitió establecer una permeabilidad promedio en zona de estudio de $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

En la interrelación acuífero-río se evaluaron volúmenes diarios de intercambio aguas subterráneas-cauce para diferentes áreas del área de estudio considerando susceptibilidades a una futura reforestación o restauración del hábitat ripario, detectándose mayores aportaciones del acuífero en los primeros 1.5 km al cauce en zona de estudio a fines del mes de marzo con un comportamiento cíclico anual al establecer un estudio del nivel freático previo.

INDICE

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	iii
1 Introducción	2
1.1 Planteamiento de problema y justificación del estudio.....	2
1.2 Objetivos e hipótesis	4
1.3 Area de estudio	5
2 Antecedentes.....	7
2.1 El Río Colorado en México	7
2.2 Tratados México-Estados Unidos sobre el RC	7
2.3 Propuestas de solución.....	8
3 Descripción del Entorno.....	11
3.1 El sistema del RC	11
3.2 Localización del delta del RC	11
3.3 El corredor ripario	11
3.4 Clima y suelo del delta del RC en México	14
3.5 Hidrología del delta del RC en territorio mexicano	14
3.5.1 Interrelación RC-aguas subterráneas	14
3.6 Hábitat ripario del delta del RC en México	15
3.6.1 Generalidades.....	15
3.6.2 La vegetación en el RC en territorio Mexicano.	15
3.6.3 Vegetación en la zona de estudio.....	16
3.6.4 Fauna predominante.....	16
4 Marco Teórico	19
4.1 Hidrología superficial	19
4.1.1 Generalidades.....	19
4.1.2 Parámetros básicos.....	19
Infiltración	19
Capacidad de infiltración	20
Aforo de corrientes	20
4.2 Hidrología subterránea.....	21
4.2.1 Generalidades.....	21
4.2.2 Conceptos fundamentales	22

Porosidad	22
Contenido de humedad	22
Carga hidráulica y gradiente hidráulico	23
Permeabilidad	23
Ley de Darcy.....	24
Transmisividad.....	25
Acuífero	25
Tipos de acuíferos	25
Datos piezométricos	26
Evolución piezométrica	26
4.3 Modelización hidrológica	27
4.3.1 Generalidades.....	27
4.3.2 Modelos hidrológicos.....	27
El modelo Hec-Ras	28
Modelo FESWMS-2DH.....	28
Modelo RMA-2.....	28
Modelo RIVER-2D	29
4.4 Caudal ecológico.....	29
4.4.1 Generalidades.....	29
4.4.2 Determinación de un caudal ecológico	30
4.4.3 Métodos hidrológicos.....	31
4.4.4 Métodos hidráulicos.....	31
Método del perímetro mojado.....	32
4.4.5 Métodos ecohidráulicos	32
La metodología IFIM.....	32
5 Materiales y Métodos.....	35
5.1 Estudio de hidrología superficial	35
5.1.1 Aplicación del modelo HECRAS a la zona de estudio.....	35
5.1.2 Elaboración de programa de cómputo	36
Datos de entrada.....	36
Parámetros calculados.....	36
5.1.3 Equipo y materiales empleados	37
Colocación de regletas	37
Trabajos topográficos y mediciones diversas	37
5.2 Estudio de hidrología subterránea.....	38
5.2.1 Comportamiento del nivel freático	38

Establecimiento de piezómetros	38
Localización de piezómetros.....	38
Secciones de piezómetros	38
Líneas de flujos subterráneos.....	38
Nivelación de brocales	39
Estudio del nivel freático	39
5.2.2 Estudio del suelo	39
Muestreo en zona de estudio.....	39
Etapas y sitios de muestreo	40
Colecta de muestras	40
Análisis de textura.....	41
Caracterización de los suelos	41
Determinación de permeabilidad	41
Análisis de permeabilidad.....	42
Relación conductividad hidráulica-contenido de arena	42
5.2.3 Equipo y materiales empleados	42
Comportamiento del nivel freático	42
5.2.3.1.1 Nivelación de brocales:.....	42
5.2.3.1.2 Estudio del nivel freático:	42
Estudio del suelo	42
5.2.3.1.3 Muestreo del suelo	42
5.2.3.1.4 Análisis de textura.....	43
5.2.3.1.5 Análisis de permeabilidad.....	43
5.3 Interrelación RC-acuífero	44
5.4 Determinación de caudal ecológico base.....	44
5.4.1 Secciones de estudio	44
Gráficas y tabulaciones	45
El concepto cambio máximo de pendiente	45
6 Resultados.....	48
6.1 Estudio de hidrología superficial	48
6.1.1 Secciones topográficas del RC.....	48
6.1.2 Simulación hidráulica con Hec-Ras.....	50
6.1.3 Áreas de inundación.....	53
6.2 Estudio de hidrología subterránea.....	55
6.2.1 Comportamiento del nivel freático	55
Establecimiento de piezómetros de observación	55

Localización de piezómetros.....	55
Secciones de piezómetros	57
Líneas de flujos subterráneos.....	57
Estudio del nivel freático	58
6.2.2 Estudio del suelo	60
Sitios de muestreo	60
Potencial Hidrógeno y Conductividad Eléctrica en suelos.....	61
Análisis de textura.....	62
Análisis de permeabilidad.....	69
Estudio conductividad hidráulica-contenido de arena	70
6.3 Interrelación RC-acuífero	72
6.3.1 Flujos existentes.....	72
6.3.2 Volúmenes de intercambio cauce del RC-aguas subterráneas.....	75
6.4 Determinación de caudal ecológico	77
6.4.1 Perímetro mojado en secciones.....	77
6.4.2 Caudales ecológicos obtenidos	79
7 Discusión	82
7.1 Estudio de hidrología superficial	82
7.1.1 Simulación hidráulica con Hec-Ras.....	82
7.1.2 Áreas de inundación.....	82
7.2 Estudio de hidrología subterránea.....	83
7.2.1 Comportamiento del nivel freático	83
7.2.2 Estudio del suelo	85
7.2.3 Relación acuífero-río	86
7.3 Determinación de caudal ecológico	88
8 Conclusiones	91
8.1 Hidrología superficial	91
8.2 Estudio del suelo	92
8.3 Estudio del nivel freático	92
8.4 Relación aguas subterráneas-cauce.....	93
8.5 Caudal ecológico.....	93
9 Referencias	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	5
Figura 2. Delta del Río Colorado.....	13
Figura 3. Tipologías básicas de los enfoques metodológicos.....	31
Figura 4. Presentación de resultados en programa de cómputo elaborado.....	37
Figura 5. Triángulo de textura para caracterización de suelos, (modificado de De la Peña, 1987).....	41
Figura 6. Ejemplo ilustrativo, gráfica caudal-perímetro mojado.....	45
Figura 7. Ubicación de secciones topográficas en zona de estudio.....	50
Figura 8. Secciones 1-10 para un flujo de 1.00 m ³ /s empleando Hec-Ras.....	51
Figura 9. Secciones 11-20 para un flujo de 1.00 m ³ /s empleando Hec-Ras.....	52
Figura 10. Secciones 21-25 para un flujo de 1.00 m ³ /s empleando Hec-Ras.....	53
Figura 11. Superficies de inundación para caudales de 0.10 a 10.0 m ³ /s.....	54
Figura 12. Ubicación de piezómetros de observación.....	55
Figura 13. Secciones de piezómetros (8) consideradas en estudio.....	57
Figura 14. Líneas de flujo subterráneo consideradas en estudio (13).....	58
Figura 15. Comportamiento del nivel freático en las secciones 1 a 4. (Modificada de Pérez (2008)).....	59
Figura 16. Comportamiento del nivel freático en las secciones 5 a 8. (Modificada de Pérez (2008)).....	60
Figura 17. Sitios de muestreo de suelos, etapa I.....	61
Figura 18. Ubicación de muestras de suelo de etapa I en triángulo de texturas para su caracterización.....	63
Figura 19. Ubicación de muestras de etapa II en triángulo de texturas para su caracterización.....	64
Figura 20. Regresión lineal aplicada en el porcentaje del contenido de arena versus logaritmo de la conductividad (m/día).....	71
Figura 21. Gradientes y dirección de flujos presentes a lo largo de la zona de estudio ...	75
Figura 22. Volúmenes de intercambio entre cauce y aguas subterráneas.....	76
Figura 23. Gráficas caudal-perímetro mojado en secciones 2, 3, 4, 5, 6 y 10.....	78
Figura 24. Gráficas caudal-perímetro mojado en secciones 12, 13, 15, 18, 22 y 23.....	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modelos numéricos hidráulicos.	28
Tabla 2. Ilustrativa tabla del concepto “cambio máximo de pendiente”	46
Tabla 3. Localización de secciones topográficas empleadas en estudio.....	49
Tabla 4. Áreas de inundación a diferentes caudales.	54
Tabla 5. Localización de piezómetros perforados y altura de brocal	56
Tabla 6. Potencial Hidrógeno y Conductividad Eléctrica en muestras de suelos.....	62
Tabla 7. Resultados promedio en muestras analizadas (Etapa I).....	64
Tabla 8. Clasificación de muestras de suelos ID 0-30 de Etapa I.....	65
Tabla 9. Clasificación de muestras de suelos ID 31-60 de Etapa I)	66
Tabla 10. Clasificación de muestras de suelos ID 61-88 de Etapa I.....	67
Tabla 11. Resumen de resultados de texturas en % (Etapa I).....	67
Tabla 12. Resultados en muestras a profundidad 0.20 m (Etapa II).....	68
Tabla 13. Resultados en muestras a profundidad del nivel freático (Etapa II).....	69
Tabla 14. Resultados de análisis de laboratorio, composición, textura y conductividad hidráulica.....	70
Tabla 15. Intervalos de variación de los valores de conductividad hidráulica reportados en la literatura	72
Tabla 16. Direcciones de flujos existentes en 4 fechas principales	74
Tabla 17. Perímetro mojado (en metros) en 12 secciones seleccionadas	77
Tabla 18. Caudales ecológicos evaluados en las 12 secciones seleccionadas	80
Tabla 19. Estudio comparativo de áreas inundadas a diferentes caudales.....	83

CAPITULO 1

Introducción

1 Introducción

1.1 Planteamiento de problema y justificación del estudio

Hays (1997), señala que el secamiento literal del Río Colorado (RC) antes de llegar al Mar de Cortés ha sido calificado como la más grande catástrofe ecológica de la zona fronteriza de las últimas décadas. Durante la mayor parte de los últimos 30 años, virtualmente todo el flujo del RC ha sido capturado, canalizado, o almacenado en presas con el fin de alimentar el crecimiento de florecientes poblados desérticos y de la agricultura comercial. Agrega al respecto que el resultado del secamiento del RC ha sido devastador: el ecosistema del delta en la parte baja del RC requiere del recurso hídrico, pantanos desérticos históricos están desapareciendo; diversas plantas nativas y especies de animales corren peligro.

Nagler (2004), expone que muchas zonas ribereñas en el Desierto de Sonora han sido alteradas por la eliminación del régimen normal de inundación; tales cambios en el régimen de flujos han contribuido a la diseminación del pino salado (*Tamarix ramosissima*), un arbusto exótico tolerante a la salinidad y agregan al respecto que en los últimos años, ha surgido una preocupación creciente entre las comunidades científicas, grupos de interés e instituciones de ambos países, de la necesidad de establecer un caudal en el RC, aguas abajo de la presa Morelos, con objeto de restaurar en lo posible la flora y fauna de dicho tramo del río y recuperar su desembocadura y el equilibrio entre el RC y el alto Golfo de Cortés.

Uno de los principales problemas que enfrentan diversas organizaciones ambientalistas al pretender establecer programas de reforestación, restauración y mantenimiento del hábitat ripario en la zona denominada sitio demostrativo, es la falta de estudios formales relativos al hábitat natural primario, a un inventario actualizado de flora, a estudios de las diversas tipologías de suelos imperantes, al intercambio del recurso hídrico en la relación aguas subterráneas-cauce y a la determinación de un caudal ecológico base.

El presente trabajo comprende una serie de estudios concernientes a la búsqueda

de un caudal que proporcione el recurso suficiente de agua para un mantenimiento de un hábitat aceptable. Con esta finalidad se efectuaron acciones para establecer bases relativas al comportamiento del nivel freático, estudios de permeabilidad en suelos existentes y al intercambio de agua acuífero-río.

Con base en una exhaustiva investigación de las diversas metodologías existentes para la determinación de un caudal ecológico base, se elige el método del perímetro mojado por poseer requerimientos factibles para su aplicación, se emplea esta metodología en todas las 25 secciones topográficas disponibles, para este estudio se toman 12 secciones de mayor representación del sitio demostrativo y por poseer menores cambios respecto a su geometría original con lo cual se obtiene un caudal ecológico promedio de $2.59 \text{ m}^3/\text{s}$

1.2 Objetivos e hipótesis

Objetivo general.

Establecer un modelo base del sistema hidrológico Río Colorado-acuífero para la determinación de un flujo ecológico para una restauración y conservación del hábitat ripario en su cauce.

Objetivos particulares

- Definir las relaciones hidrodinámicas conceptuales entre el acuífero del Valle de Mexicali y el RC.
- Mediante la toma de datos de campo evaluar la posición del nivel freático en distintas épocas del año y en diversos sitios, que permitan conocer los parámetros hidrodinámicos del sistema.
- Predecir el comportamiento del nivel freático bajo diversos escenarios.
- Definir y evaluar parámetros hidrológicos que intervienen en la relación acuífero-río
- Elaborar un programa de cómputo para obtener diversos parámetros utilizables en metodologías apropiadas para la determinación de un caudal ecológico.
- Establecer una serie de caudales ecológicos para diversas zonas dentro del área de estudio.
- Elaborar un estudio estadístico de suelos que proporcione antecedentes en estudios posteriores relacionados a una restauración y/o reforestación.

Hipótesis

Las relaciones hidrodinámicas entre el agua subterránea y el Río Colorado en la zona de estudio así como la relación caudal perímetro mojado son elementos requeridos para determinar el caudal más adecuado para establecer acciones de conservación y restauración del hábitat ripario.

1.3 Área de estudio

El área de estudio (figura 1), se encuentra localizada a partir del puente del ferrocarril Mexicali, B.C.-Benjamín Hill, Sonora, (km 49), con coordenadas Geográficas; Latitud $32^{\circ} 14' 39.48''$ N, Longitud $115^{\circ} 3' 12.57''$ W, a una distancia de 49.64 km al sur de la franja fronteriza con Estados Unidos Americanos (EUA) y a 55 km al sureste de la ciudad de Mexicali, B.C., se extiende aguas abajo del RC en una longitud de cauce aproximada de 12.9 km, con anchura variable delimitada por bordos de protección construidos en ambas márgenes con una separación promedio de 1,400 m, hasta el cruce de camino vecinal localizado en Vado Carranza, con coordenadas Geográficas; Latitud $32^{\circ} 11' 41.89''$ N, Longitud $115^{\circ} 9' 34.68''$ W. Este límite aguas abajo del RC ubicado a una distancia de 79.4 km del Golfo de California. Toda el área de estudio se encuentra en el Distrito de Riego No. 014, (Distrito de Desarrollo Rural 002 Río Colorado), limitada al norte con módulo de riego 22 y al sur con módulo 8, comprendiendo una superficie total de 1,840 hectáreas. La vegetación predominante en la zona de estudio está conformada principalmente por; álamos (*populus fremonti*), cachanilla (*pluchea sericea*), pino salado (*tamarix ramosissima*) y sauces (*salix goodingi*)

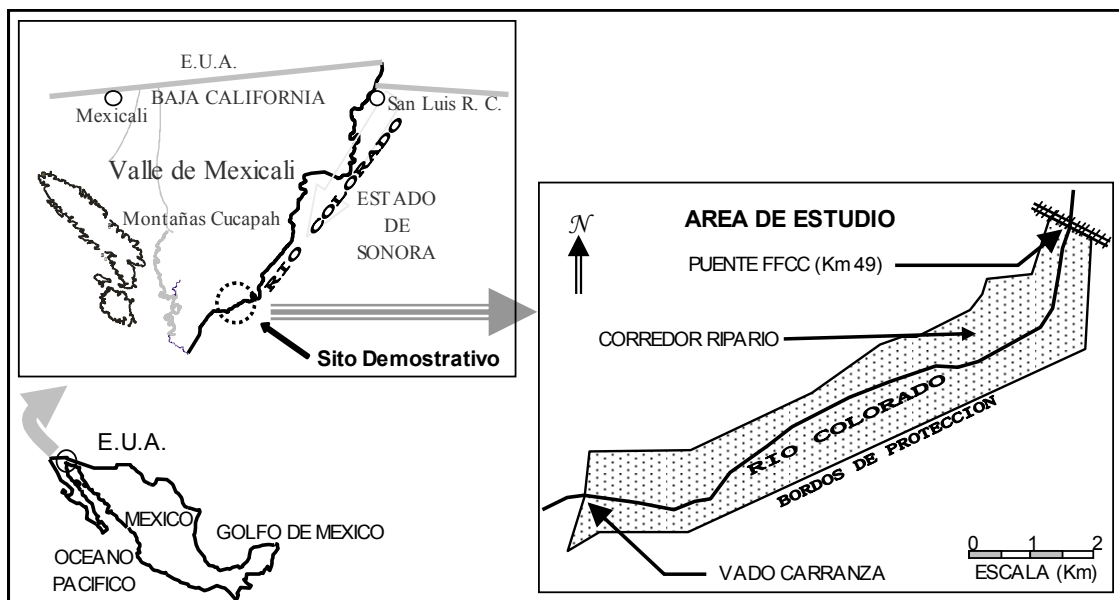


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

CAPÍTULO 2

Antecedentes

2 Antecedentes

2.1 El Río Colorado en México

Hinojosa et al. (2005), mencionan que el control intensivo del RC en EUA y México ha causado flujos reducidos de agua dulce al delta y casi inexistentes al Golfo de California, reduciendo el área total de humedales y de hábitat crítico para especies migratorias y en peligro. Los regímenes modificados de agua han facilitado la invasión de especies no nativas y han tenido efectos negativos sobre las pesquerías del Alto Golfo. Problemática generada en el Delta del RC, al respecto Faulkner (1999), señala que el delta del RC fue alguna vez uno de los estuarios de río desértico más importantes del mundo: casi 8,000 km. cuadrados de humedales, un hábitat para aves migratorias y especies marinas exclusivas de la región, y el santuario de comunidades indígenas que pescaban en el río y practicaban la agricultura por inundación en las planicies de las riberas del río. Agrega que hoy en día el Delta tiene menos de la mitad de su superficie original, sus otrora bosques exuberantes han sido reemplazados por unas cuantas plantas resistentes que son capaces de sobrevivir en el agua salada, la fauna marina que antes usaba este ambiente sui generis como área de reproducción ha desaparecido en gran medida, y las especies marinas como la vaquita, una pequeña marsopa, y la totoaba están actualmente clasificados como especies en peligro de extinción.

Respecto a la salinidad del RC en México, Pitt (2003), menciona que los administradores del agua predicen que los estados de la cuenca alta aumentarán considerablemente su consumo de agua durante los próximos 60 años, amenazando todavía más los recursos de la cuenca baja y concluye que la salinidad del río tiende a incrementarse conforme los flujos se reducen y que es probable que con el tiempo también se incremente la salinidad del agua que se entregue a México.

2.2 Tratados México-Estados Unidos sobre el RC

El 3 de febrero de 1944, se celebró el Tratado sobre Distribución de Aguas entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América, mismo que fue ratificado por el Senado de la República el 27 de septiembre de 1945, en términos de

dicho instrumento internacional, los Estados Unidos de América están obligados a entregar a México, anualmente, 1,850 millones de metros cúbicos de agua del RC.

2.3 Propuestas de solución

Por considerarse que la región del "Alto Golfo de California y delta del Río Colorado" existen ecosistemas representativos de gran diversidad, riqueza biológica y alta productividad y además, zonas de crianza y desove de importantes especies marinas consideradas como raras, endémicas y en peligro de extinción, entre las que se cuentan la vaquita de mar y la totoaba, mediante decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de junio de 1993, se declaró como área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biósfera. (SAGARPA, 2005).

Faulkner (1999), menciona que diversas organizaciones de investigación científica y de defensa del ambiente también están realizando esfuerzos transfronterizos para promover la conservación de la región del delta. Señala que el Southwest Center y el Centro Regional de Estudios Ambientales (CREAS) están formulando una propuesta actualmente para que se modifique o se vuelva a redactar el tratado de 1944 entre los EUA y México "de modo que el delta del Alto Golfo de California sea considerado un usuario adicional".

A este respecto Hays (1997), afirma que académicos y Organizaciones no Gubernamentales (ONG) en ambos lados de la frontera también han iniciado su colaboración a favor de un desarrollo sustentable del río, que una importante iniciativa, es el Programa de Conservación de Multiespecies (PCM), arrancada por la Agencia para la Conservación del Agua de EU, agrega que ahora el PCM congrega a agencias norteamericanas federales y estatales para la conservación del agua y la vida silvestre, que contemplan intereses públicos y grupos de conservación para desarrollar medidas específicas de conservación, que el Servicio para la Pesca y la Vida Silvestre de EU puede adoptar como planes de acción recomendables a favor de más de cien especies en peligro de extinción en el RC, con relación a la problemática existente en México en el RC, Jaime (2003), confirma que en los últimos años, ha surgido una preocupación creciente entre las comunidades científicas, grupos de interés e instituciones de ambos países de la necesidad de establecer un caudal en el río Colorado, aguas abajo de la presa

Morelos, mencionando que con objetivo de restaurar en lo posible la flora y fauna de dicho tramo del río y recuperar su desembocadura y el equilibrio entre el río y el alto golfo de cortés y cita las principales propuestas:

a) identificar un marco institucional binacional de asesoría y apoyo para determinar el régimen del caudal que permita recuperar parcialmente el Delta del Colorado

b) Fijar el régimen de caudales en términos del escurrimiento natural del río (sin los controles actuales)

c) Determinar qué zona o zonas del Delta son más aptas para recuperar su flora y fauna del río y de la ribera y qué gastos de agua requerirían

d) Estudiar las alternativas para proporcionar el gasto de agua requerido, con una combinación de ellas. Por ejemplo:

- Incluir como un usuario más al Delta del Colorado con el cual se debe compartir el agua de toda la cuenca
- Comprar o ceder derechos de agua en ambos países
- Utilizar excedentes de riegos agrícolas en ambos lados de la frontera.

e) Evitar acciones que deterioren aún más el Delta del Colorado, tales como los Criterios Interinos de Excedencias aprobados recientemente en EUA, los cuales disminuyen los caudales prácticamente a cero y las crecientes sobre el cauce natural del río Colorado en su desembocadura.

Zamora Arroyo et al., (2001) concluyen que entre los factores relevantes para el establecimiento y mantenimiento de la vegetación riparia nativa en el bajo RC se encuentran: la frecuencia y temporalidad de los flujos, el movimiento de sedimentos (que es influenciado por la morfología del canal y a su vez tiene influencia sobre éste) y la calidad del agua (la vegetación riparia nativa muestra baja tolerancia a la salinidad [de 3 a 4 partes por mil] y las plántulas no pueden germinar en suelos salinos). Agregando al respecto que en general, para la regeneración natural de las plantas nativas del corredor ripario se requiere la presencia de aguas superficiales con salinidad menor a 1.4 partes por mil y la presencia de aguas subterráneas en el rango de 1–2 partes por mil.

CAPÍTULO 3

Descripción del Entorno

3 Descripción del Entorno

3.1 El sistema del RC

El sistema del RC provee agua a la parte occidente de México y siete estados de los EU; Arizona, California, Colorado, Nevada, Nuevo México, Utah y Wyoming. Embalses, canales y otras estructuras almacenan el agua del río para esta extensa región.

El RC o Colorado River cruza el suroeste de los Estados Unidos y noroeste de México, su longitud es aproximadamente de 2,333 km, irriga gran parte de las llanuras desérticas de los estados de Colorado, Utah, Arizona, Nevada, California, Baja California y Sonora, estos dos últimos en México. Nace al pie de las Montañas Rocosas en el estado de Colorado, hasta 1921 el nombre de Colorado River o RC se le aplicaba al curso de agua a partir de la unión de los ríos Grand River y Green River en el estado de Utah, ese mismo año a petición del estado de Colorado pasó a llamarse Colorado River a todo el curso de agua que inicia en las Montañas Rocosas.

3.2 Localización del delta del RC

El Delta del RC en los estados de Baja California y Sonora tiene una extensión de 7 971.09 km², está comprendida dentro del polígono con Latitud 32°43'12" - 31°26'24" N y Longitud 116°14'24" - 114°26'24" W (ver figura 2)

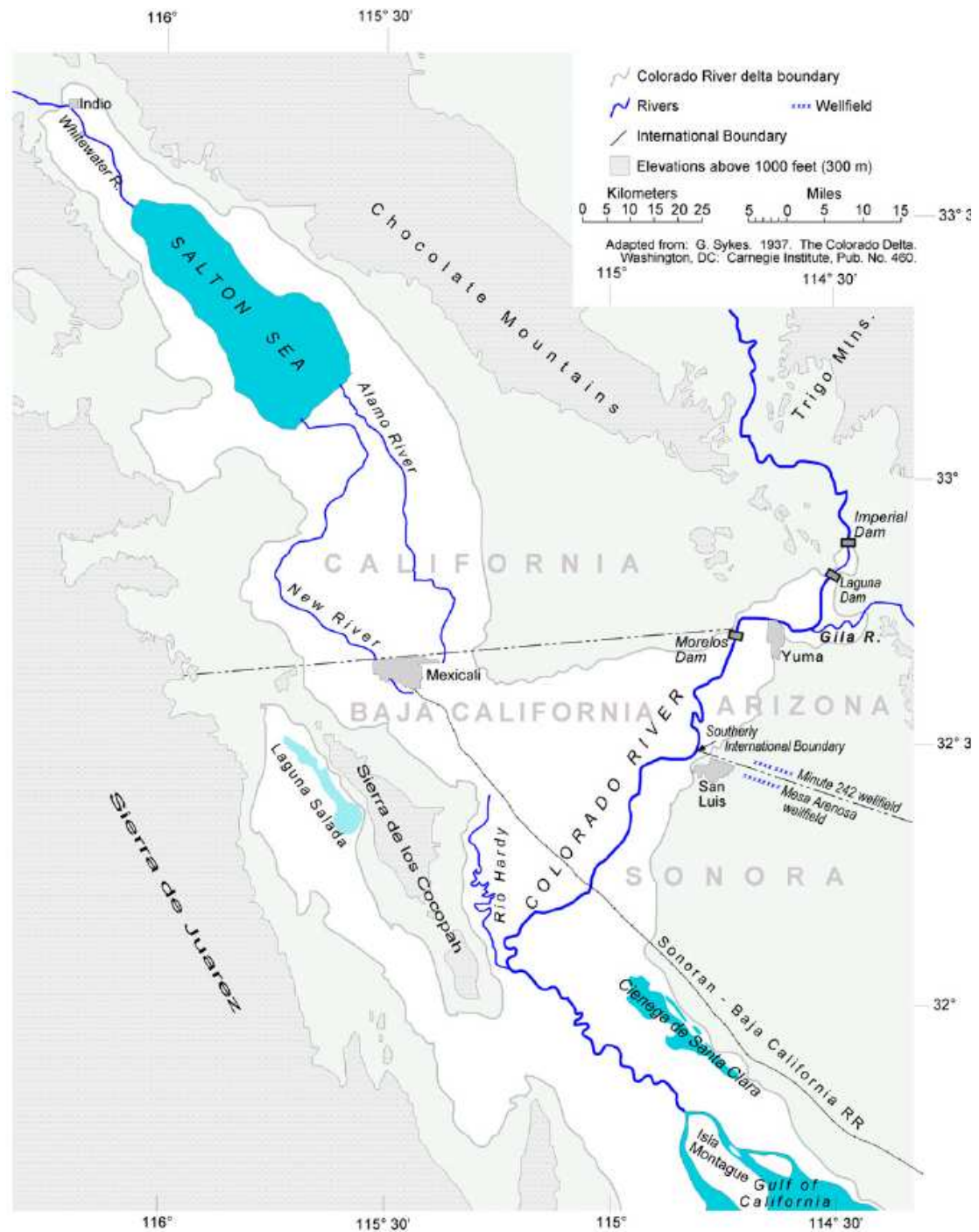
Navejas (2000), menciona que el área completa del delta del RC abarca geográficamente un área de cerca de 15,540 kilómetros cuadrados (6,000 millas cuadradas), y se extiende desde Yuma, Arizona, hacia el oeste hasta las montañas de la península de Baja California, y desde las actuales playas del golfo de California en el sur, y en dirección norte hasta más allá de la ciudad de Indio, California, su frontera por el este se ubica en la esquina noroeste del estado de Sonora, México, lo que se denomina el Valle de San Luis. Glenn (1999), al respecto manifiesta que el delta del RC cubría una superficie 780,000 ha en México y los EU, abarcaba más de lo que ahora son los Valles Imperial, Mexicali, Yuma, San Luis y dos depresiones, el Salton Sea y la Laguna Salada.

3.3 El corredor ripario

Zamora-Arroyo et al. (2001), mencionan que el corredor ripario se extiende desde la

Presa Morelos río abajo, incluye todas las áreas naturales dentro de los bordos de protección construidos en ambas márgenes del río, pero excluye las tierras agrícolas posee una extensión de 20,643 hectáreas ya al respecto Zamora-Arroyo et al. (2002), expone que el corredor ripario funciona como una unidad ecológica integral y depende del flujo del agua a través de todo el sistema.

Algunas subáreas del corredor ripario, principalmente zonas con suelos desprovistos de vegetación y bosques de pino salado, son adecuadas para las actividades de restauración orientadas a mejorar las condiciones generales del corredor y para aumentar la extensión del bosque ripario de álamos y sauces. Debido a estas características, el área ha sido designada como una prioridad para la protección, así como para la restauración (Zamora-Arroyo et al., 2001).



Fuente: Pacific Institute, (2005)

Figura 2. Delta del Río Colorado

Dentro del corredor ripario existe una zona denominada por diversos grupos ambientalistas como sitio demostrativo, la cual inicia aguas abajo a partir del puente del

ferrocarril Mexicali-Benjamín Hill (Km 49), extendiéndose hasta el Vado denominado Carranza. (esta zona, ha sido tomada como zona de estudio en el presente trabajo)

3.4 Clima y suelo del delta del RC en México

SEMARNAP-INE (2005), exponen que el clima en la Reserva de la Biósfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado es del tipo muy seco (bw) con temperaturas medias de 18 ° a 20 °C y precipitaciones medias anuales de 100 mm con lluvias muy escasas en verano e invierno, y oscilaciones anuales de temperatura mayores de 14 °C. Se presentan dos subtipos, según el sistema Köppen, El subtipo bw hw (x')(e'), muy seco semicálido con escasez de lluvias en cualquier época del año, muy extremoso, cubre la costa de Sonora (cs); mientras que el subtipo bw(h')hw(x')(e') similar al anterior, pero cálido, ocurre en la mayor parte del delta del río Colorado y las costas de Baja California.

3.5 Hidrología del delta del RC en territorio mexicano

Debido a la construcción del sistema de presas que controlan y distribuyen el agua del Río Colorado en EU y en México, los flujos de agua dulce al delta son escasos y al Golfo de California son casi inexistentes, al respecto Ramírez-Hernández et al. (2005), señalan que el flujo regional del acuífero parece ser interceptado en la zona de estudio, las infiltraciones por riego agrícola son identificadas por los piezómetros, la elevación del nivel freático en la vega del río está gobernada por la elevación del agua en el río, no obstante, los eventos de riego elevan el nivel de forma temporal descargando en el río, los canales secundarios y los canales cerrados están siendo alimentados por el acuífero todo el año y por el río en eventos extraordinarios de descarga.

3.5.1 Interrelación RC-aguas subterráneas

Muestreo de pozos cercanos al corredor ripario indica que la profundidad de las aguas subterráneas es somera, al respecto Nagler (2004) y Zamora-Arroyo et al., (2001) exponen que incluso cuando el canal del río se encuentra casi seco, lo que indica que la dirección del flujo subterráneo en los periodos en que no hay inundación va de las aguas subterráneas hacia el canal principal del río.

Zamora-Arroyo et al., (2001) indican que para la regeneración natural de las plantas nativas del corredor ripario se requiere la presencia de aguas superficiales con salinidad menor a 1.4 partes por mil y la presencia de aguas subterráneas en el rango de 1–2 partes por mil. Agregan que sin embargo, los plantíos artificiales algunas veces pueden sobrevivir con fuentes de agua de mayor salinidad. Estos tres factores (frecuencia de flujos, movimiento de sedimentos y calidad del agua) definen cómo se ha modificado la zona riparia del Delta a través del tiempo. Los patrones de vegetación en el corredor ripario están directamente relacionados con los patrones de flujo del río y con la salinidad del agua superficial y subterránea. Las poblaciones de árboles nativos son extremadamente dinámicas y dependen para sobrevivir de un flujo continuo de mantenimiento y pulsos de inundaciones.

3.6 Hábitat ripario del delta del RC en México

3.6.1 Generalidades

Hinojosa et al. (2005), mencionan que en el delta de RC en territorio mexicano existe un predominio de pino salado, porque la calidad del agua es limitada o porque no existen regímenes de inundación, puede tener sentido mantener los pinos salados en lugar de erradicarlos, ya que la vegetación nativa no será capaz de establecerse bajo tales condiciones, agregando que la erradicación del pino salado sólo se recomienda en donde la plantación artificial y el mantenimiento de los árboles nativos sean seguros.

3.6.2 La vegetación en el RC en territorio Mexicano.

Los tipos de vegetación en el delta del RC en los estados de Baja California y Sonora son: matorral desértico micrófilo, vegetación de desiertos arenosos, vegetación de dunas costeras, vegetación acuática y halófila. Al respecto Glenn (1999) señala que aunque la mayoría de los antiguos humedales y bosques de galería han sido convertidos al uso agrícola o urbano, todavía hay grandes humedales y áreas ribereñas de valor para la conservación del bajo delta en México.

Zamora-Arroyo et al. (2001) coinciden en señalar que para el establecimiento y mantenimiento de la vegetación riparia nativa en el bajo Río Colorado es de vital

importancia la frecuencia y temporalidad de los flujos y agregan que la vegetación riparia nativa muestra baja tolerancia a la salinidad, concluyendo que las plántulas no pueden germinar en suelos salinos.

3.6.3 Vegetación en la zona de estudio

La vegetación predominante en la zona de estudio está conformada principalmente por; álamos (*populus fremonti*), cachanilla (*pluchea sericea*), pino salado (*tamarix ramosissima*) y sauces (*salix goodingi*). En las diversas propuestas relativas a una reforestación Hinojosa et al., (2005) consideran la introducción de plantas de mezquite, definiéndole como una especie resistente que atrae insectos, por lo que las aves podrían beneficiarse si el corredor ripario se maneja de manera que se sustituyan los pinos salados por mezquites. Añaden que los campos agrícolas en terrenos elevados ofrecen un gran beneficio a la avifauna del Delta, pues proveen una vasta fuente de alimento. Concluyendo que la ausencia de manchones de mezquite nativo podría haber eliminado especies que dependen de ellos y agregan que la comunidad de arbustos más pequeños del bajo Río Colorado, como el chamizo, la cachanilla y otros, constituye un hábitat altamente productivo para insectos y aves que se alimentan de ellos.

3.6.4 Fauna predominante

Los resultados preliminares de investigaciones en curso indican que la diversidad y la abundancia de la avifauna están definitivamente relacionadas con la abundancia de árboles nativos y aguas superficiales (Osvel Hinojosa Huerta, comunicación personal, año 2005). Agrega al respecto que el corredor ripario tanto por su recurso hídrico como por su vegetación es utilizado por especies migratorias, por lo que su valor ecológico no puede ser considerado de manera aislada. Las aves migratorias neotropicales cantoras atraviesan la región en su viaje hacia las áreas de anidación en EU y Canadá, y hacia los sitios para pasar el invierno en el sur de México y Centroamérica. Hinojosa et al. (2005), mencionan que estas especies migran a lo largo de la costa sonorenses del Golfo de California, y el Delta del Río Colorado les ofrece su primera oportunidad para hacer una escala en un hábitat ripario nativo, en donde el alimento y el refugio son abundantes. La escasez del bosque de álamos y sauces en este tramo de la ruta migratoria, las poblaciones de aves que dependen del hábitat ripario han disminuido drásticamente en el bajo RC, se suma de manera

significativa a la importancia del corredor ripario remanente río abajo de la Presa Morelos.

Si bien existe una marcada diferencia entre la calidad del hábitat ripario del RC río abajo y río arriba de la Presa Morelos, sigue siendo importante reconocer la conectividad de la fuente de agua y el potencial de conectividad en el hábitat. Es claro que los cientos de miles de aves migratorias que atraviesan California y vuelan a lo largo del RC en EU pasan por el Delta; sin embargo, no se conoce el porcentaje de estos animales migratorios que realmente utiliza el corredor ripario del Delta. La densidad registrada de aves migratorias terrestres en el corredor ripario no es alta, probablemente porque las aves se dispersan en la extensa planicie de inundación (Hinojosa et al., 2005).

CAPÍTULO 4

Marco Teórico

4 Marco Teórico

4.1 Hidrología superficial

4.1.1 Generalidades

La Hidrología es la ciencia que trata las aguas de la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas y sus relaciones con el medioambiente incluyendo sus relaciones con los seres vivos, El dominio de la hidrología abarca toda la historia del agua en la Tierra, (U.S. Federal Council, 1962).

En la interrelación entre cauce de un río y aguas subterráneas circulantes o contenidas en el acuífero adyacente depende de los procesos de infiltración, dependiendo de parámetros tales como; flujos, gradientes existentes, permeabilidad de los suelos y áreas involucradas en ese intercambio.

4.1.2 Parámetros básicos

Infiltración

Ven Te Chow, (1993), define la infiltración como el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo, menciona que muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo, agrega que estratos de suelos con propiedades físicas diferentes pueden superponerse unos sobre otros formando horizontes; por ejemplo, un suelo limoso con una conductividad hidráulica relativamente alta puede estar superpuesto sobre una zona de arcilla de baja conductividad y concluye que los suelos también presentan una gran variabilidad espacial aun dentro de pequeñas áreas, como en un sembrado como resultado de estas grandes variaciones espaciales y de las variaciones temporales de las propiedades del suelo que ocurren a medida que cambia el contenido de humedad de éste. Al respecto Chávez (1987) menciona que el concepto de velocidad de filtración tiene primordial importancia en problemas de contaminación, pues representa la rapidez con que se propaga un contaminante en el subsuelo.

Capacidad de infiltración

La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se llama capacidad de infiltración; durante una tormenta sólo se satisface la capacidad de infiltración mientras ocurre la lluvia en exceso, antes o después de ella la capacidad de infiltración está ligada con la intensidad de lluvia. (ITSON, 1985).

Se llama “Capacidad de Infiltración” de un suelo a la rapidez con que éste permite el ingreso del agua al subsuelo en una condición dada. Experiencias y observaciones realizadas han demostrado que esta capacidad decrece exponencialmente en el tiempo desde un valor máximo inicial hasta un valor prácticamente constante, y es controlado por diversos factores entre los que se destacan: la estructura del suelo, la acción de las fuerzas capilares, la presencia de aire atrapado en el interior del suelo y la cobertura vegetal. (UACH, 1987).

Aforo de corrientes

Aforar una corriente en una sección consiste en determinar el gasto que pasa por ella en la unidad de tiempo. Existen diversas formas de aforar una corriente dependiendo tanto de las características del río por medir como del equipo disponible. Los procedimientos para aforar una corriente se pueden agrupar en tres criterios: El criterio de secciones de control, es el más exacto de los tres, pero solo es aplicable a cauces artificiales o a ríos de sección pequeña y escaso escurrimiento. El de relación sección- velocidad es el más usual y es utilizable en cualquier tipo de corriente y el de relación sección-pendiente es empleado para completar los registros que no pudieron obtenerse mediante el de relación sección-velocidad, aunque es muy usado para obtener gastos máximos de corrientes cuando no se dispone de aparatos de medición. Una sección de control de una corriente es aquella donde la energía específica del escurrimiento es mínima. Dicha energía está relacionada con el tirante crítico, por lo que se dice que hay una sección de control donde se presenta el tirante crítico. Este ocurre cuando existe levantamiento en el fondo del cauce, estrechamiento en la sección o una combinación de ambos. (ITSON, 1985), al respecto Ven Te Chow (1993), menciona que la energía específica es igual a la suma del tirante en la sección de control y de su carga de velocidad. Relación sección-velocidad, este criterio es el más usual en ríos, y se basa en el principio de continuidad:

$$Q = vA$$

Donde

- A área hidráulica de la sección transversal de una corriente, en m².
- Q gasto que pasa por esa sección, en m³/s
- v velocidad media de la corriente en dicha sección, en m/s

Agrega que el criterio relación sección-pendiente permite obtener el gasto de una corriente a partir de la fórmula de Manning. Para esto se requiere conocer las características topográficas del tramo de río donde se quiera valuar el gasto y el nivel del agua para ese gasto en las secciones transversales del inicial y terminación del tramo. El tramo de río debe ser lo más uniforme posible para no tener secciones de control dentro de él. Según Manning

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde

- n coeficiente de rugosidad de Manning.
- R radio hidráulico, en m
- S pendiente del gradiente de energía.
- v velocidad media, en m/s

Concluyendo que si se conoce el área hidráulica de la sección transversal A, efectuando sustituciones se tiene que el gasto es:

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

4.2 Hidrología subterránea

4.2.1 Generalidades

Chávez (1987), menciona que la evaluación de la potencialidad de un acuífero debe realizarse mediante un método que trabaje directamente con el acuífero, con el agua ya infiltrada y relativamente al margen de los fenómenos que ocurren en la superficie. Agrega

que un acuífero es un recipiente subterráneo que tiene recargas, descargas y un cierto almacenamiento. Como respuesta a la acción combinada de las recargas y las descargas, el nivel del agua del recipiente varía, descendiendo si la recarga es menor que la descarga, y ascendiendo, en caso contrario, concluye que la recarga, la descarga y las variaciones en el almacenamiento, en un intervalo de tiempo dado, están relacionadas por un principio universal: el principio de la conservación de la materia. El balance de agua subterránea se basa en este principio, y tiene por objetivo principal la determinación del volumen de recarga de un acuífero.

4.2.2 Conceptos fundamentales

Porosidad

Chávez (1987), define a la porosidad (n) de una roca como una medida del volumen de vacíos (V_v) que contiene, la cual se expresa como porcentaje del volumen total (V_t):

$$n = \frac{V_v}{V_t} (\%)$$

Puesto que en la zona de saturación los vacíos están totalmente saturados, la porosidad es una medida de la cantidad de agua que la roca contiene por unidad de volumen.

Contenido de humedad

Shaw (1983, citado por Ven Te Chow (1993) menciona que la cantidad de humedad en el suelo puede determinarse tomando una muestra de éste y secándolo en un horno. Al comparar el peso del material de muestra antes y después del secado y medir su volumen, puede determinarse el contenido de humedad del suelo, agrega al respecto que se han desarrollado algunos aparatos registradores, los cuales registran directamente la humedad del suelo en campo, particularmente para estudios de irrigación. Estos incluyen los bloques de yeso y las sondas de neutrón. Las sondas de neutrón se basan en la reflexión de neutrones, emitidos por un aparato insertado en un agujero en el suelo, debida a la humedad en el suelo circundante, donde el grado de reflexión de los neutrones es proporcional al contenido de humedad.

El contenido de Humedad (θ) de una roca es la cantidad de agua que contiene por

unidad de volumen, esto es:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}(\%),$$

Siendo V_w el volumen de agua, y V_t , el volumen total. Cuando la roca está totalmente saturada, el contenido de humedad es numéricamente igual a la porosidad. (Chávez, 1987).

Carga hidráulica y gradiente hidráulico

Chávez (1987), menciona que el teorema de Bernoulli establece que la energía total, expresada como una carga (h), en un punto dentro del seno de un líquido en movimiento, es:

$$h = z + \frac{p}{\gamma} + v^2 / 2g$$

O sea la suma de las cargas de posición (z), presión (p / γ) y velocidad ($v^2/2g$) agrega que en un medio poroso, esta última es prácticamente despreciable respecto a las otras dos (una fracción de milímetro frente a varios metros), debido a que la velocidad de circulación del agua es muy pequeña, concluyendo que para fines prácticos, en la gran mayoría de los problemas geohidrológicos la carga total o carga hidráulica se puede expresar como:

$$h = z + \frac{p}{\gamma}$$

Permeabilidad

En el campo de la Geohidrología la permeabilidad tiene importancia primordial: de ella depende fundamentalmente el rendimiento de las captaciones y la velocidad de circulación del agua subterránea; su conocimiento es esencial para cuantificar los caudales de flujo subterráneo y la velocidad de propagación de un contaminante en el subsuelo; asimismo, es uno de los datos básicos para simular el comportamiento de un acuífero. Y, probablemente, es en este campo donde su determinación plantea mayores dificultades. Existen varios procedimientos para determinar la permeabilidad de un material. Algunos de ellos consisten en la utilización de aparatos específicamente diseñados para tal fin, como los permeámetros; otros, en cambio, permiten determinar el valor del coeficiente en

cuestión mediante pruebas que persiguen otro objetivo, tales como la prueba de consolidación y la prueba horizontal de capilaridad. (Chávez, 1987). Al respecto Canales (1989), menciona que la permeabilidad de un material poroso es la cantidad de fluido que pasa a través de una sección de área unitaria, transversal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario.

Para establecer valores aproximados de permeabilidad en suelos de la zona de estudio se hizo una revisión bibliográfica. Los valores de permeabilidad de suelos con textura identificada por diversos autores se muestran en la Tabla 15

Ley de Darcy

En 1856 Henry Darcy estudió experimentalmente el fenómeno del flujo a través de filtros de arena. Como resultado de sus observaciones estableció la ley que lleva su nombre, la cual constituye una de las bases de la Teoría del Flujo en Medios Porosos. De acuerdo con esta ley, la velocidad con que circula un fluido a través de un material poroso es directamente proporcional a la pérdida de carga hidráulica e inversamente proporcional a la longitud recorrida, esto es, directamente proporcional al gradiente hidráulico. Matemáticamente, lo anterior se puede expresarse:

$$v = k.i$$

Siendo: v , velocidad aparente de flujo, i el gradiente hidráulico, y k , el Coeficiente de Permeabilidad, también llamada Permeabilidad Efectiva y Conductividad Hidráulica. De lo anterior resulta evidente que el coeficiente de permeabilidad tiene unidades de velocidad, ya que el gradiente es adimensional. Dicho coeficiente puede expresarse en diversas unidades consistentes; en el sistema métrico decimal generalmente se expresa en cm/s.

Chávez (1987), menciona que en sus experimentos Henri Darcy hizo circular agua a través de un filtro de arena, aforó el caudal de flujo (Q), midió la sección transversal del filtro, calculó la velocidad de flujo como el cociente entre ambos términos ($=Q/A$) y midió la pérdida de carga entre varios piezómetros instalados en el filtro; después de repetir el experimento con varios caudales, correlacionó las velocidades resultantes con la pérdida de carga y la longitud de recorrido respectiva, derivando finalmente de todo ello la ley que lleva su nombre. Pero nótese que la velocidad dada por esta ley es una velocidad aparente,

ya que en su cálculo se consideró la selección total del medio (sólidos y vacíos).

Transmisividad

Un concepto relacionado con el de permeabilidad es el de Coeficiente de Transmisividad ($T = kb$), el cual se define como el producto del coeficiente de permeabilidad y el espesor saturado del acuífero. Se expresa en m^2/s o $m^2/día$. (Chávez, 1987).

Acuífero

Chávez (1987), define a los acuíferos a los estratos que pueden proporcionar agua en una cantidad aprovechable. Desde luego, esta definición es muy relativa, pues depende de las condiciones existentes en cada zona: es una zona árida donde sea difícil la obtención de agua subterránea, una formación que proporcione unos cuantos litros por segundo puede considerarse un acuífero; mientras que en una zona con elevada disponibilidad de agua subterránea, agrega al respecto que esa misma formación podría considerarse como semi-impermeable.

Tipos de acuíferos

Desde el punto de vista hidráulico, los acuíferos pueden clasificarse en tres tipos principales: confinados, semiconfinados y libres. A un acuífero limitado superior e inferiormente por formaciones relativamente impermeables, que contiene agua a mayor presión que la atmosférica, se le da el nombre de acuífero confinado. Si un acuífero está limitado por formaciones menos permeables que él mismo, pero a través de las cuales puede recibir o ceder volúmenes significativos de agua, se le llama acuífero semiconfinado. En pozos que captan acuíferos confinados o semiconfinados, el nivel del agua asciende arriba del techo del acuífero. La superficie imaginaria definida por los niveles del agua de los pozos que penetran este tipo de acuíferos, recibe el nombre de superficie piezométrica; sus variaciones corresponden a cambios de la presión a que está sometida el agua en el acuífero, y puede encontrarse, en un punto dado, arriba o abajo del nivel freático. Cuando dicha superficie se encuentra arriba de la superficie del terreno, da lugar a pozos brotantes. Los acuíferos confinados y semiconfinados pueden transformarse en libres, cuando la superficie piezométrica desciende bajo el techo del acuífero. Cuando un acuífero tiene

como límite superior al nivel freático, se le da el nombre de acuífero libre. Las variaciones de este nivel corresponden a variaciones en el espesor saturado del acuífero. Puede decirse que el acuífero confinado funciona como una tubería a presión, y el acuífero libre, como un canal. (Chávez, 1987).

Datos piezométricos

El nivel de agua en la zona de flujo saturado o zona de agua subterránea se determina utilizando pozos de observación. Para mediciones instantáneas se pueden emplear dispositivos (sondas) conectados con cable que al bajar a pozos se puede determinar nivel del agua. Al respecto List (1987), menciona que la toma de datos piezométricos se realiza con constas llamadas eléctricas por su principio de funcionamiento, ya que consisten fundamentalmente de un cable de dos hilos, unidos por un extremo a una pila seca, encontrándose por el otro con el agua permiten el paso de corriente, que se registra con un miliamperímetro. Ese cable se introduce por un hueco que puede haber en la base de la bomba o un orificio hecho a propósito, y se desliza entre la tubería de ademe y la columna de succión, la longitud de cable que logra introducirse hasta que se observe el contacto, puede medirse y determina la posición del nivel de agua, con respecto a un punto de referencia, el que se debe elegir previamente y mantenerse para observaciones subsecuentes. Al respecto Ven Te Chow (1993) menciona que la velocidad del flujo del agua subterránea también puede determinarse por medio de trazadores, incluyendo sal común. Agrega que una cierta cantidad de trazador se introduce en un pozo aguas arriba, y luego se registra el tiempo necesario para que un pulso del trazador alcance un cierto lugar aguas abajo. Esta es la velocidad real, no la velocidad aparente o velocidad de Darcy. Tales medidas también sirven para determinar la cantidad de dispersión de contaminantes introducidos en el agua subterránea.

Evolución piezométrica

List (1987), expone que la información necesaria para conocer la evolución piezométrica es la que se obtiene de la observación sistemática de la posición de los niveles estáticos o freáticos, cuya comparación y de acuerdo con la diferencia obtenida en un intervalo de tiempo considerado, constituye el elemento básico para elaborar la configuración correspondiente, agregando al respecto que la importancia de las curvas de

igual evolución reside en que manifiestan los cambios registrados en el almacenamiento de un acuífero, en un periodo y bajo ciertas condiciones, pues definen áreas de abatimiento o ascensos de los niveles estáticos.

4.3 Modelización hidrológica

4.3.1 Generalidades

Ven Te Chow (1993), manifiesta que un modelo de sistema hidrológico es una aproximación al sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas. Central a la estructura del modelo está el concepto de transformación del sistema. Las entradas y las salidas pueden expresarse como funciones del tiempo.

4.3.2 Modelos hidrológicos

Vásquez (2003), menciona que los primeros modelos numéricos se desarrollaron exclusivamente para resolver un problema particular, generalmente de flujo agua. Actualmente los modelos son genéricos con capacidad para resolver una gama de condiciones de flujo similares, con módulos adicionales para resolver otros fenómenos como transporte de sedimentos, dispersión de contaminantes, calidad de agua e inclusive modelación de hábitat de peces u otras criaturas acuáticas. Al respecto Vanmarcke (1983), citado por Ven Te Chow (1993) manifiesta que los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías: modelos físicos y modelos abstractos. Los primeros incluyen modelos a escala que representan el sistema en una escala reducida, agregando que los modelos abstractos representan el sistema en forma matemática. Concluyendo que la operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y de salida.

Existen muchos modelos numéricos disponibles en el mercado (Vásquez, 2003), en tabla 1 se resumen algunos de ellos que han sido aplicados con éxito.

Tabla 1. Modelos numéricos hidráulicos.

NOMBRE MODELO	DIMENSIÓN	REGIMEN		TIPO FLUJO		CONTORNOS	
		Subcrítico	Supercrítico	Permanente	Transitorio	Fijos	Móviles
HECRAS	1D	X	X	X	X	X	
BRISTARS	~2D	X	X	X	X	X	X
RMA-2	2D	X		X	X	X	
FESWMS	2D	X		X	X	X	
RIVER2D	2D	X	X	X	X	X	
XSSIMM	3D	X		X	X	X	X

(Fuente: Vásquez, 2003)

El modelo Hec-Ras

Vásquez (2003), define al Hec-Ras (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System), como un “Sistema de Análisis de Ríos” un modelo numérico para flujo unidimensional impermanente, sin transporte de sedimentos y con capacidad para trabajar con flujos mixtos subcrítico y supercrítico. Agrega que es un programa de la Nueva Generación desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de EU (U. S. Army Corps of Engineers: USACE) para remplazar a los clásicos HEC-2, UNET y eventualmente HEC-6 también, concluyendo que dadas sus principales limitaciones son asumir lecho rígido y flujo unidireccional, que debe ser aplicado con cautela en ríos aluviales muy erosionables o muy meandriformes.

Modelo FESWMS-2DH

FESWMS-2DH (Finite Element Surface-Water Modeling System), es un modelo en elementos finitos de flujo bidimensional en el plano horizontal desarrollado por el FHWA, para modelación de condiciones hidráulicas complejas en estructuras hidráulicas de cruce de carreteras, como puentes y alcantarillas, donde el análisis convencional basado en cálculos unidimensionales no proporciona suficiente nivel de detalle para los objetivos del estudio. (Froelich, 1998).

Modelo RMA-2

RMA-2, es un modelo hidrodinámico bidimensional promediado en profundidad mediante elementos finitos. Calcula los niveles de agua y las componentes de la velocidad

en el plano horizontal, para flujo subcríticos con superficie libre. Ha sido desarrollado por el USACE y por tanto tienen capacidad de interface con otros programas desarrollados por ellos como el RMA-4 que es un programa de calidad de agua y el SED-2D un modelo de lecho móvil. Se ha comparado satisfactoriamente contra los resultados hidrodinámicos de un modelo físico a escala reducida del río Piura. (Vásquez J., 2003).

Modelo RIVER-2D

RIVER-2D, un modelo hidrodinámico bidimensional promediado en profundidad mediante elementos finitos desarrollado por la Universidad de Alberta en Canadá (Steffler 2002). Posee características únicas como su capacidad de trabajar tanto con flujo transcrito; es decir sub y supercrítico. Algoritmos especiales de agua subterránea permiten una transición gradual entre agua superficial y subterránea en los bordes del río, que evitan quiebres bruscos en las fronteras. Emplea el MEF de Petrov-Galerkin que es numéricamente mucho más estable que el empleado por otros modelos. En opinión del autor River2D es en varios aspectos superior a FESWMS o RMA2, los cuales suelen presentar problemas de estabilidad numérica. Actualmente el autor está realizando investigación para mejorar River2D e incorporar capacidades para transporte de sedimentos y eventualmente modelación morfológica de ríos, como la migración de meandros. El programa se encuentra en www.river2d.ca. (Vásquez, 2003)

4.4 Caudal ecológico

4.4.1 Generalidades

La modificación del flujo natural de un río, la extracción de agua o por el funcionamiento de hidroeléctricas u otros aprovechamientos de este recurso hídrico causa cambios en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos. Esto ocasiona el surgimiento del término “caudal ecológico” con el cual se pretende proteger mediante el mantenimiento de un cierto volumen de agua dentro del cauce para la protección de los valores ecológicos de los ríos. Al respecto Dyson et al, (2003), exponen que para establecer caudales ambientales se requiere una gestión activa de la infraestructura, como presas, o bien una gestión restrictiva.

Se requiere mantener a los ríos en un estado sustentable de desarrollo, es necesario

realizar estudios que determinen el régimen del gasto y la calidad del agua que permitan el desarrollo sustentable, debe tomarse en cuenta a todos los usuarios del río, los factores económicos y sociales y el grado de alteración de los ecosistemas. (Jaime, 2003).

Un caudal circulante por un cauce podría ser considerado como ecológico, siempre que fuese capaz de mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que ese cauce contiene en condiciones naturales. (García y González, 2003).

Dyson, et al, (2003), definen como caudal ambiental al régimen hídrico que se da en un río, humedal o zona costera para mantener ecosistemas y sus beneficios donde se dan utilizaciones del agua que compiten entre sí y donde los caudales se regulan agregando que, los caudales ambientales contribuyen de manera decisiva a la salud de los ríos, al desarrollo económico y a aliviar la pobreza.

4.4.2 Determinación de un caudal ecológico

Diez y Burbano (2006), mencionan que aunque a escala mundial tan solo alrededor del 0,1% de la inversión en recursos fluviales se destina a la investigación, es destacable que existan más de 200 metodologías diferentes para evaluar caudales ecológicos en más de 50 países, lo cual refleja la trascendencia y complejidad de esta faceta esencial de la conservación ambiental de los ecosistemas acuáticos.

Dyson et al. (2003). Al respecto señalan que hay una serie de métodos para determinar el caudal ambiental. Se utilizan cuadros de búsqueda y análisis computarizados para evaluar el caudal ambiental en estudios de observación, en auditorías nacionales o en planificación de cuencas fluviales. Agregan que los métodos que más se utilizan en la evaluación de impacto o en la planificación de restauración de tramos únicos o múltiples de un río son el análisis funcional y los modelos de hábitat. Concluyendo que esas metodologías de evaluación pueden contribuir a definir normas de gestión y a monitorear su impacto en la salud del río.

Dyson et al, (2003), mencionan que los métodos existentes suelen agruparse en tres tipologías básicas, que se presentan en figura 3, donde Q_{min} es el caudal ecológico que es obtenido, en un orden creciente de aparición y rigor conceptual como enfoques; hidrológicos, hidráulicos y ecohidráulicos y agregan al respecto, que para la determinación

de los caudales ambientales se requiere que se integren una serie de disciplinas, incluyendo la ingeniería, el derecho, la ecología, la economía, la hidrología, las ciencias políticas y la comunicación. También es requerido que se den negociaciones entre partes interesadas para salvar los diferentes intereses que compiten por el empleo del agua, en especial en las cuencas donde la competencia ya es grande.

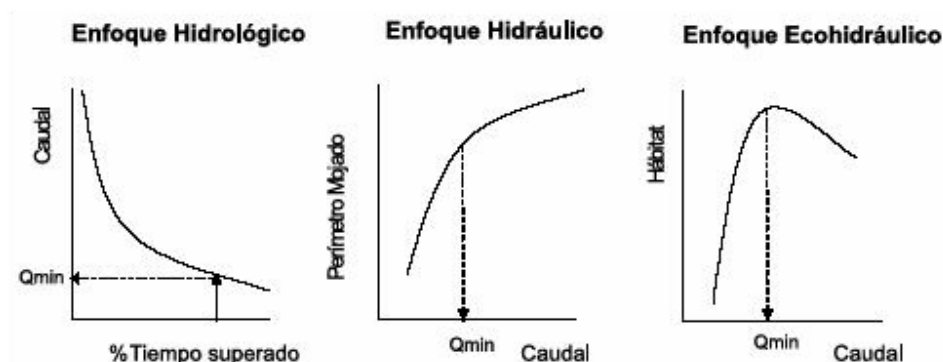


Figura 3. Tipologías básicas de los enfoques metodológicos

4.4.3 Métodos hidrológicos

Diez y Burbano (2006), exponen que los primeros procedimientos hidrológicos aplican diversos tratamientos estadísticos relativamente simples a las series foronómicas naturales, para deducir un "caudal mínimo", en términos de porcentajes de algún estadístico de tendencia central, de percentiles de la curva de duración de caudales, o bien de periodos de retorno asociados a fragmentos reducidos de la serie temporal.

Entre los métodos basados en el análisis de los registros históricos de caudales se encuentra el método de Tennant, el cual considera cualitativamente el hábitat piscícola en función de la hidrología de la cuenca, los caudales mínimos corresponden a diferentes porcentajes del caudal medio anual según la época del año y hace recomendaciones respecto a considerar las variaciones de anchura, profundidad y velocidad media de la sección mojada en función de los caudales que transitan y las necesidades de los peces. (Jaime, 2003).

4.4.4 Métodos hidráulicos

Diez y Burbano (2006), exponen que los métodos agrupados colectivamente como Hidráulicos examinan la variación de algunas variables del flujo (profundidad, velocidad,

sustrato, perímetro) con el caudal en secciones transversales críticas de un tramo fluvial, con la finalidad de evaluar de forma aproximada el hábitat acuático generado dentro del rango de caudales normales.

Método del perímetro mojado

Diez y Burbano (2006), mencionan que el método con enfoque hidráulico más genuino es el del perímetro mojado, el cual desarrolla la relación funcional entre esta variable y el caudal en secciones de "rápidos", en cuyo punto de cambio de pendiente marcado se localiza el flujo mínimo. Al respecto Mayo (2000), afirma que este método se basa en la hipótesis de que existe una relación directa entre el hábitat piscícola y la parte mojada de la sección del cauce, lo cual tiene cierto sentido, agrega que la masa de agua, que circula por el cauce está limitada por el fondo o lecho, por los dos bancos laterales y por la superficie libre en contacto con la atmósfera. Agregando que el perímetro mojado es la suma de la anchura del lecho y la longitud transversal de los bancos laterales. Concluye que por ello, a mayor caudal y manteniéndose constante la forma del lecho, el perímetro mojado será mayor y también lo será el espacio vital utilizable por los peces.

4.4.5 Métodos ecohidráulicos

Diez y Burbano (2006), consideran que las sofisticadas técnicas ecohidráulicas cuantifican la cantidad y calidad de los hábitats acuáticos utilizables para unas especies objetivo o conjunto de ellas (normalmente peces o macroinvertebrados) bajo múltiples regímenes hidrológicos, y diferentes escenarios de estructura biológica configurable.

La metodología IFIM

Diez y Burbano (2006), manifiestan que la metodología más completa, acreditada y utilizada en el ámbito mundial, es la IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), promovida por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EU, como una técnica estándar multidisciplinar, cooperativa, incremental y progresiva para ordenar racionalmente el agua superficial con un claro enfoque ecológico. Agregando al respecto que la IFIM trata de un completo marco conceptual filosófico avanzado, que incorpora enfoques ecohidráulicos y ecohidrológicos avanzados con el objeto de evaluar los efectos de cambios incrementales de caudal en la estructura del cauce, la calidad del agua, la temperatura y la disponibilidad

de hábitat físico utilizable, utilizando una combinación de datos hidráulicos, hidrológicos y biológicos. Concluyendo que si bien IFIM fue desarrollada y aplicada inicialmente en pequeñas corrientes de aguas frías con poblaciones de salmónidos al este de EU, su empleo se ha extendido a otras zonas disimilares durante las dos últimas décadas. Al respecto Martínez (2002), expone que la metodología IFIM se ha desarrollado mucho desde sus comienzos, tanto en sus bases científicas, como en los aspectos metodológicos. Una etapa crucial en su aplicación es la simulación del hábitat físico, mediante la cual se obtiene la curva que relaciona el hábitat potencialmente útil para una especie con los caudales circulantes. Agregando que en base a las preferencias de cada especie respecto a las variables del hábitat físico que se pueden simular, se obtiene una estimación cuantitativa (en términos de superficie) de su hábitat potencial útil, y que gracias a la simulación hidráulica podemos conocer la variación de éste con el caudal. A este respecto, Mayo (2000), expone que el método IFIM es una técnica diseñada para evaluar e integrar la naturaleza dinámica del hábitat fluvial con las prácticas habituales de gestión y manejo del agua. Agrega que IFIM simula las condiciones hidráulicas del microhábitat para poder evaluar los efectos que los cambios artificiales del caudal producen en el hábitat de los peces o de los invertebrados. Las variables del hábitat consideradas son la velocidad, la profundidad, el sustrato y la cobertura. La velocidad y la profundidad dependen directamente del caudal, mientras que el sustrato y la cobertura son variables de importancia biológica. Por otra parte se hacen algunas consideraciones referentes al macrohábitat mediante el control de la calidad del agua y de la temperatura, factores que pueden verse modificados con los cambios de caudal.

CAPITULO 5

Materiales y métodos

5 Materiales y Métodos

5.1 Estudio de hidrología superficial

Para la elaboración de un estudio hidrológico superficial considerando la totalidad de los parámetros que intervienen en el comportamiento del RC dentro de la zona de estudio, se efectuaron labores en las siguientes fases:

- *Reconocimiento total de zona*

Se efectuaron recorridos periódicos para la observación de niveles de cauce en diferentes fechas, rugosidades en lecho de río, tipos de vegetación en cauce, variación de flujos entre otros objetivos marcados previamente.

- *Colocación de regletas*

Se instalaron varias regletas para la observancia de niveles en cauce.

- *Búsqueda de información de fuentes diversas*

Se llevó a cabo una recopilación de información relativa a las variables que intervienen en el comportamiento hidrológico, información topográfica existente a la fecha, elevaciones del nivel del agua, fotografías aéreas e imágenes satelitales.

- *Revisión bibliográfica de modelos hidrológicos*

Se llevó a cabo una Investigación entre los diversos modelos hidrológicos existentes a la fecha el más idóneo para conocer áreas de inundación para diferentes flujos en el RC, dentro de la zona de estudio.

- *Trabajos topográficos diversos*

Diversos trabajos topográficos se realizaron, labores varias de altimetría para conocimiento de niveles en regletas y de planimetría para obtención y/o verificación de perfiles de río.

5.1.1 Aplicación del modelo HECRAS a la zona de estudio

Se ha empleado el modelo HEC RAS para la modelización hidráulica del RC en la zona de estudio (tramo Puente Ferroviario km 49-Vado Carranza), para efectuar cálculos

relativos a áreas inundadas para diversos caudales, los datos geométricos del modelo hidráulico están conformados por la información topográfica recabada por la CONAGUA /1995), los valores del coeficiente de manning utilizados fueron los obtenidos en la calibración de modelo aplicado por Quezada (2007), 0.045 en los 3 apartados de secciones y coeficientes de contracción 0.01 y de expansión 0.03

5.1.2 Elaboración de programa de cómputo

Se elaboró un programa de cómputo empleando MS-DOS QBasic 1987-1992 para efectuar diversas cuantificaciones de aplicación en el cálculo de áreas inundadas para pequeños caudales ante la imposibilidad de su determinación empleando el modelo Hec-Ras por ser caudales a manejarse menores a estudios similares existentes a la fecha y por la topografía que se presenta. Este programa es de vital importancia para evaluar directamente perímetro mojado de una sección para la determinación de un caudal ecológico por medio de este método hidráulico, el cual requiere una serie de iteraciones para caudal-perímetro mojado.

Datos de entrada

El programa de cómputo elaborado para efectuar cálculos de una sección determinada requiere ser alimentado por la identificación de la sección (ID) y el dato del nivel del agua superficial (en metros sobre el nivel del mar) para un caudal establecido en dicha sección, (proporcionado por Hec-Ras previamente)

Parámetros calculados

Los resultados que presenta el programa de cómputo respecto a la sección son; Ubicación (km), perímetro mojado, número de canales que conforman la sección para ese caudal correspondiente al nivel de agua superficial proporcionado, anchura total del agua. El cálculo se realiza efectuando la sumatoria de los anchos de los canales principal y secundarios que la contienen, Hec-Ras proporciona únicamente la distancia entre los puntos extremos límites del agua más alejados de los canales que la conforman. En este trabajo en la determinación de un caudal ecológico empleando el método hidráulico del perímetro mojado se presentan frecuentemente canales secundarios por ser caudales relativamente menores a los considerados en estudios similares), tirantes máximos en canal principal y en

cada un canal secundario, coordenadas de los puntos límites del agua, su absisa (X) y su ordenada (Y) de cada canal de la sección, como también así las coordenadas geográficas (NAD 27) de dichos puntos. En figura 4 se presenta un ejemplo ilustrativo con resultados para sección la 4, con un nivel de agua superficial de 11.18 m.s.n.m.

```

Microsoft QuickBASIC
SECCION 4 UBICADA EN Km 13921.19 NIVEL DE CALCULO 11.18 m.s.n.m
PERIMETRO MOJADO ES 46.64006 METROS
ANCHO AGUA SUPERFICIAL 45.89261 METROS
PUNTOS LIMITES DEL AGUA SON:
CANAL 1 P1 312.6223 , 11.18 TIRANTE MAXIMO 1 2.08 m
          P2 342.8783 , 11.18
CANAL 2 P3 451.1486 , 11.18 TIRANTE MAXIMO 2 .1800003 m
          P4 466.7852 , 11.18
COORDENADAS GEOGRAFICAS <NAD 27>, DE PUNTOS LIMITES
P1 683398.5 , 3568632
P2 683368.6 , 3568627
P3 683261.8 , 3568610
P4 683246.3 , 3568607
Press any key to continue
    
```

Figura 4. Presentación de resultados en programa de cómputo elaborado.

5.1.3 Equipo y materiales empleados

Colocación de regletas

- Regletas de material plástico
- Angulo 2 ½" x 2 ½" espesor 3/16" (L=3m)
- Tornillería varia
- Marro
- Pinzas
- Taladro
- Brocas diferentes diámetros
- Balsa inflable con remos
- Botas de hule
- Pintura esmalte anticorrosivo (color negro)

Trabajos topográficos y mediciones diversas

- Geoposicionador (GPS)
- Estación total marca TOPCON modelo GTS-230W
- Nivel automático marca TOPCON modelo ATG6
- Estadales
- Cinta métrica
- Varilla diámetro 3/8"
- Estacas de madera

- Marro
- Machete
- Pala
- Pintura esmalte (color rojo)
- Brochas de 2" y de ½"
- Rollo de Cinta de 3/4" (color rojo)
- Chalecos color fosforescente naranja
- Libretas de apuntes, plumas y lápices

5.2 Estudio de hidrología subterránea

5.2.1 Comportamiento del nivel freático

Establecimiento de piezómetros

Ante la necesidad de contar con una batería de piezómetros propia del Instituto de Ingeniería, (UABC, Campus Mexicali B.C) se procede a la perforación de piezómetros en la zona de estudio con el objetivo de coadyuvar en el conocimiento de los impactos en la disminución de flujos del RC, en apoyo a diversas investigaciones planificadas, (Pérez. 2006).

Localización de piezómetros

Se eligieron los sitios para perforación de piezómetros de estudio de acuerdo a la accesibilidad del lugar, tratando de ubicarles en línea recta en grupos de 4 (2 a cada margen del RC) para contar con mayor información relativa al nivel de dichos pozos y lograr confrontar con niveles existentes de agua en el cauce del río, (Pérez. 2006).

Secciones de piezómetros

Para el estudio del comportamiento del nivel freático y establecer relación con el lecho, se tomaron 8 secciones transversales al cauce del río en lugares donde se encuentran ubicados los piezómetros. Los resultados de una parte de este análisis por secciones fueron mostrados por Pérez, (2006).

Líneas de flujos subterráneos

El estudio de flujos subterráneos se realizó considerando 13 líneas conformadas por 13 parejas de piezómetros, para cada determinación del nivel estático en pozos se obtiene el gradiente dada la diferencia de niveles y distancia entre ambos piezómetros, la dirección del flujo subterráneo se obtiene considerando el nivel de agua mas alto hacia el nivel del agua

mas bajo.

Nivelación de brocales

Para la obtención de niveles de brocales en piezómetros de observación del nivel estático se llevó a cabo una exhaustiva investigación con relación a bancos de nivel existentes en zona de estudio o cercanos que estuviesen referenciados al nivel medio del mar, logrando contar con una serie de ellos ubicados en los taludes externos de los bordos de protección y en algunas estructuras de concreto en obras hidráulicas. Se utilizaron estos bancos de nivel propiedad de la comisión nacional del agua (CONAGUA) llevando su referencia de nivel a cada pozo desde banco mas cercano a su ubicación. Para una mayor certeza en cuanto a los niveles obtenidos en brocales de los 27 pozos de observación, se efectuó una verificación de datos de nivel que ostentaban en cada uno de ellos, obtenidos por López (2006), detectando algunas diferencias se procedió a efectuar las correcciones pertinentes.

Estudio del nivel freático

Para la determinación de los diversos parámetros relativos al comportamiento del nivel freático, se llevaron mediciones periódicas del comportamiento del nivel estático de agua en los 27 pozos establecidos en zona de estudio utilizando una sonda de vibrado eléctrico al contacto del agua para la medición desde nivel de agua a brocal del pozo y por diferencia entre nivel del brocal y dicha lectura en cinta métrica contenida en sonda, se determinó el nivel estático para cada pozo con respecto al nivel medio del mar en cada fecha de mediciones.

5.2.2 Estudio del suelo

Muestreo en zona de estudio

Se extrajeron muestras de suelo a profundidades de 0.20 a 3.00 m en 3 etapas para su análisis y caracterización de los diversos materiales componentes de los suelos imperantes en la zona de estudio. La extracción se realizó empleando la barrena tipo California.

Etapas y sitios de muestreo

La colecta de muestras se efectuó en 3 etapas, los sitios de muestreo se eligieron de manera siguiente:

- Etapa 1

Se eligieron todos los sitios de muestreo de forma aleatoria con el objetivo de cubrir toda la zona de estudio.

- Etapa 2

Se tomaron los puntos en base a propuestas de zonas potenciales para restauración y reforestación con vegetación nativa por la ONG Sonoran Institute.

- Etapa 3

Se elaboró una cuadrícula de manera que se llevara a cabo un número previamente establecido de muestras a tomar, (basado en la disponibilidad de equipo técnico y humano disponible), eliminando y retomando otros sitios donde apareciesen ubicaciones cercanas de sitios de muestreo anteriores o por zona con problemas de acceso o por presentarse en área del cauce.

Colecta de muestras

Para la extracción de muestras se utilizó el geoposicionador (GPS) para localizar la ubicación previamente establecida, en caso de encontrar obstáculo en sitio exacto, se eligió un punto cercano con mismas características. Se procedió a despejar el área superficialmente para retirar material vegetativo y/o cenizas producto de incendios anteriores en áreas cercanas depositadas en el sitio por vientos, Se tomó la primera muestra a una profundidad de 20 cm, una segunda muestra se colectó a una profundidad de 1 m y una tercera muestra a una profundidad de 4 m. En caso de presentarse el nivel freático antes, la muestra fue tomada a esa profundidad, en caso de presentar dificultad por derrumbes y/o mezclas de material de varias profundidades la muestra se tomó del material último obtenido antes de presentarse dicha problemática, efectuando la anotación aclaratoria pertinente en etiquetas de identificación de muestra.

Análisis de textura

Las muestras colectadas fueron analizadas para su caracterización empleando el método de Bouyoucos (De la Peña, 1987)

Para el análisis en laboratorio de muestras de suelo, se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Secado de muestras (exposición al sol en charolas plásticas)
- 2) Preparación de solución calgon
- 3) Desbaratamiento de grumos de manera manual
- 4) Pesado de cantidad de muestra a analizar (50 gramos)
- 5) Agregado de solución calgon a porción de muestra
- 6) Reposo de muestra (24 horas)
- 7) Análisis de muestra preparada por el método de Bouyoucos (De la Peña, 1987)

Caracterización de los suelos

Para una clasificación y caracterización de los suelos se empleó el triángulo de texturas. (figura 5)

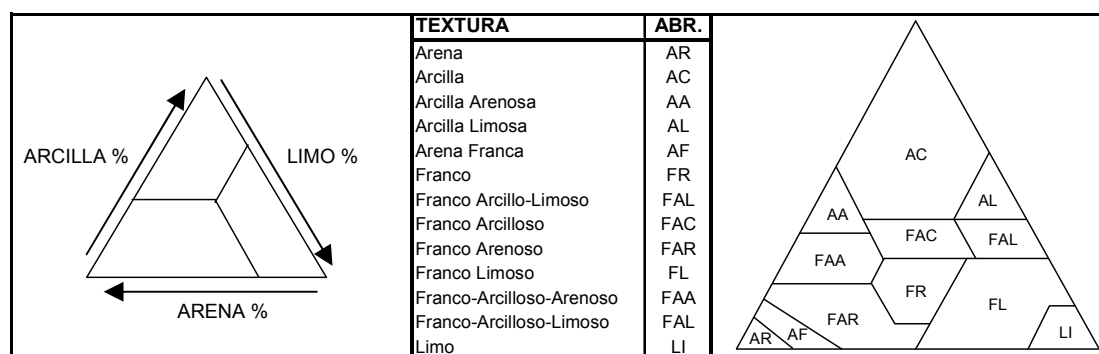


Figura 5. Triángulo de textura para caracterización de suelos, (modificado de De la Peña, 1987)

Determinación de permeabilidad

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica con relación a valores de permeabilidad de suelos dada su caracterización obtenida en muestras, con la finalidad de establecer bases para la determinación de este parámetro al tenerse analizada su textura.

Análisis de permeabilidad

En laboratorio se analizaron muestras de suelos extraídas a una tercera profundidad (>1m) utilizando un permeámetro de carga constante con la finalidad de corroborar resultados al establecer relación entre textura y permeabilidad del suelo.

Relación conductividad hidráulica-contenido de arena

Se llevó a cabo un estudio concerniente a la aplicación de diversas regresiones a la relación conductividad hidráulica-contenido de arena basada en resultados de laboratorio, con el objetivo de obtener un modelo matemático que se pudiese emplear en toda muestra conociendo exclusivamente su contenido de arena, con un margen de error menor al 10 %

5.2.3 Equipo y materiales empleados

Comportamiento del nivel freático

5.2.3.1.1 Nivelación de brocales:

- Geoposicionador (GPS)
- Nivel automático
- Estadales
- Varilla diámetro 3/8"
- Estacas de madera
- Marro
- Machete
- Pala
- Pintura esmalte (color rojo)
- Brochas de 2" y de 1/2"
- Rollo de Cinta de 3/4" (color rojo)
- Chalecos color fosforescente naranja
- Libretas de apuntes, plumas y lápices

5.2.3.1.2 Estudio del nivel freático:

- Geoposicionador (GPS)
- Sonda de vibrado eléctrico (2 baterías 1.5 Voltios)
- Pala
- Cinta métrica
- Brocha 3"
- Formatos de registros (previamente elaborados)

Estudio del suelo

5.2.3.1.3 Muestreo del suelo

- Barrena tipo California
- Barras extensoras
- Maneral de 40 y 60 cm
- 2 Llaves crecientes
- Pala
- Bolsas de polietileno
- Marcadores de aceite
- Etiquetas (previamente elaboradas para una total información)
- Cajas de plástico para acomodo y traslado de muestras
- Geoposicionador (GPS)
- Cinta métrica
- Machete
- Libreta de apuntes, plumas y lápices

5.2.3.1.4 Análisis de textura

Aplicando método del hidrómetro de Bouyoucos (De la Peña, 1987):

- Malla para tamizado de 2 mm
- Balanza de precisión
- Charolas plásticas
- Agua destilada
- Solución calgon
- Batidora eléctrica vaso metálico
- Vasos de precipitado de 250ml
- Matraces 500 y 100 ml
- Probeta de 1,250 ml
- Tapón de hule (para probeta de 1,250 ml)
- Hidrómetro
- Formatos de registros (previamente elaborados)

5.2.3.1.5 Análisis de permeabilidad

- Permeámetro de carga constante
- Malla para tamizado de 2 mm
- Charolas metálicas
- Probeta graduada 25 ml
- Cronómetro
- Regla graduada 1 m (con división mínima 1 mm)
- Mazo de aluminio 100 g
- Embudo de plástico
- Manguera plástica de diámetro 5/16"
- Soporte metálico para cono de llenado
- Vaso de precipitado de 500 ml
- Agua potable
- Formatos de registros (previamente elaborados)

5.3 Interrelación RC-acuífero

Para una cuantificación del intercambio de volúmenes de agua entre cauce del río y las aguas subterráneas se realizaron las siguientes actividades:

- Determinación de líneas de flujos considerando parejas en los 27 piezómetros de observación, (13 líneas con piezómetros contiguos en misma sección)
- Obtención de gradientes existentes en cada línea de flujo en estudio para cada fecha de mediciones del nivel freático, considerando diferencia de niveles en pareja de piezómetros y la distancia entre ellos
- Obtención de volúmenes para cada línea de flujo para cada una fecha de mediciones aplicando ley de Darcy: ($Q=K \cdot A$) considerando una permeabilidad promedio dependiente de la textura de los suelos, gradiente calculado y área de longitud proporcional a longitud del cauce y un espesor constante de 4 m.
- Establecimiento de una sumatoria algebraica de volúmenes para la determinación de volumen de agua en pérdida o ganancia para el cauce por sub-zonas de mayor relevancia, considerando las diferentes fechas de mediciones.

5.4 Determinación de caudal ecológico base

Para la determinación de un caudal ecológico base se ha elegido el método hidráulico del perímetro mojado por ser el más idóneo dadas las circunstancias de no contarse con registros históricos periódicos de caudales naturales, como también así la falta de estudios de la fauna acuática a restablecer hasta la fecha del presente trabajo.

5.4.1 Secciones de estudio

Se ha evaluado el perímetro mojado correspondiente en cada sección de las 12 utilizables donde no se detectó error o variación morfológica considerable del cauce a la fecha del presente trabajo, para caudales de 0.1 a 10.0 m³/s

Gráficas y tabulaciones

Se elaboraron las tabulaciones y las gráficas correspondientes al comportamiento de caudal circulante-perímetro mojado, para aplicar el método del perímetro mojado por medio de la localización del punto de inflexión de gráfica, para determinar el caudal ecológico de cada sección.

El concepto cambio máximo de pendiente

En el presente trabajo se ha introducido y empleado el parámetro denominado “cambio máximo de pendiente” el cual determina el punto donde se ubica el caudal ecológico en una tabulación del comportamiento caudal-perímetro mojado, consistente en la evaluación para cada punto “ P_i ” la relación m_{i-1}/m_{i+1} , siendo m_{i-1} la pendiente del segmento comprendido entre punto “ P_i ” y punto “ P_{i-1} ”, m_{i+1} la pendiente del segmento comprendido entre punto “ P_i ” y punto “ P_{i+1} ”, el máximo valor de la relación indicará el cambio máximo de pendiente en dicho punto, por lo tanto el caudal correspondiente es el determinado para dicha sección. Ejemplo ilustrativo para una sección en figura 6 (donde no puede ubicarse punto de inflexión a simple vista) y en tabla 2

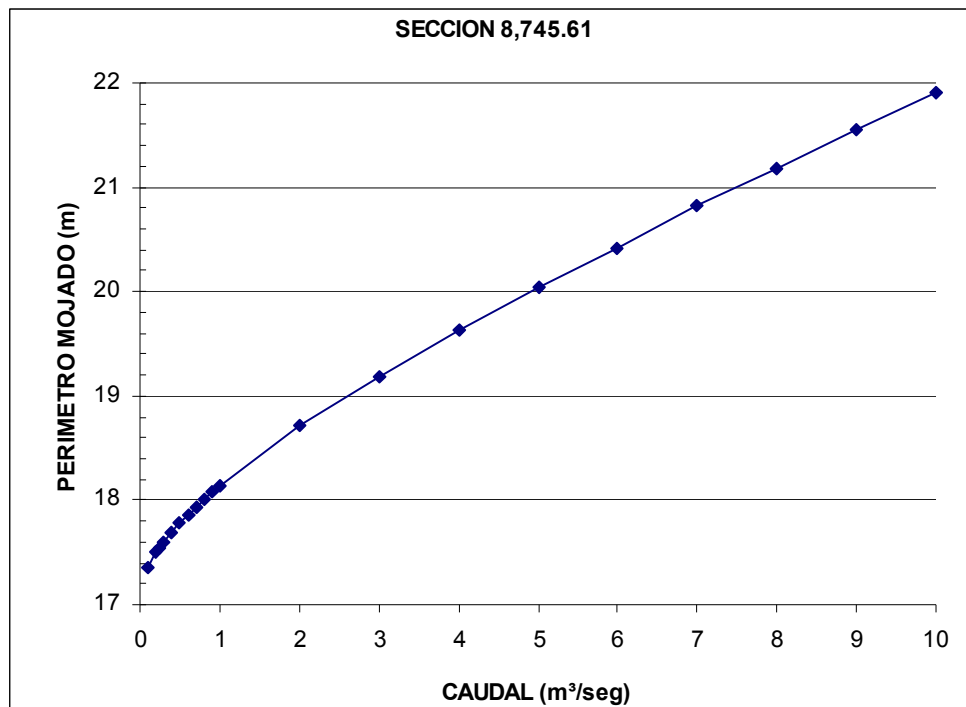


Figura 6. Ejemplo ilustrativo, gráfica caudal-perímetro mojado

Tabla 2. Ilustrativa tabla del concepto “cambio máximo de pendiente”

i	“ P_i ”		m _{i-1}	m _{i+1}	m ₁ /m ₂
	Q (m ³ /seg)	Pm (m)			
1	0.10	17.46			
2	0.20	17.50	0.385	0.795	0.485
3	0.25	17.54	0.795	1.193	0.667
4	0.30	17.60	1.193	0.994	1.200
5	0.40	17.70	0.994	0.795	1.250
6	0.50	17.78	0.795	0.795	1.000
7	0.60	17.86	0.795	0.795	1.000
8	0.70	17.94	0.795	0.795	1.000
9	0.80	18.02	0.795	0.596	1.333
10	0.90	18.08	0.596	0.596	1.000
11	1.00	18.13	0.596	0.576	1.034
12	2.00	18.71	0.576	0.477	1.208
13	3.00	19.19	0.477	0.437	1.091
14	4.00	19.63	0.437	0.417	1.048
15	5.00	20.04	0.417	0.378	1.105
16	6.00	20.42	0.378	0.398	0.950
17	7.00	20.82	0.398	0.358	1.111
18	8.00	21.18	0.358	0.378	0.947
19	9.00	21.55	0.378	0.358	1.056
20	10.00	21.91			

CAPÍTULO 6

Resultados

6 Resultados

6.1 Estudio de hidrología superficial

6.1.1 Secciones topográficas del RC

La información topográfica principal recabada por la CONAGUA (CNA, 1995) durante los años 1993 y 1994 consiste en 2,665 puntos los cuales conformaban 25 secciones transversales situadas sobre el RC desde el Puente Ferroviario hasta el Vado Carranza.

Se ubicaron geográficamente las 25 secciones, encontrándose que la sección No. 1 se encuentra fuera de zona de estudio (aguas arriba del puente ferroviario), la No. 2 se ubica a 47.94 m aguas abajo de dicho puente y la No. 23 en Vado Carranza aproximadamente, estos resultados obtenidos se muestran en tabla 3 donde la columna 2 (sección en km) corresponde a la nomenclatura de la CONAGUA. (Quesada, 2007). Columnas 3, 4 y 5 se refieren a los datos de los puntos base para cada sección. En esta tabulación su última columna hace referencia a un sistema coordenada “X,Y” para cada una sección en la toma de datos de puntos componentes del perfil topográfico, siendo “X” la distancia de cada punto tomado del perfil al punto base, en esta columna se expone el rumbo de dicho eje “X” para cada punto inicial de cada sección y siendo “D” la dirección de dicho eje (para cada una sección). En este trabajo se utilizará el ID y la distancia aguas abajo desde el puente del ferrocarril para hacer referencia a cada una de ellas en el estudio hidrológico superficial.

Tabla 3. Localización de secciones topográficas empleadas en estudio.

SECCION		DISTANCIA	PUNTO (0 , 0) INICIO DE SECCIÓN		ALTURA	RUMBO EJE "X"	
		AGUAS ABAJO	COORDENADAS (NAD 27)			ANGULO	
ID	Km	(m)	X (m)	Y (m)	m.s.n.m.	GRADOS	D*
	PUENTE	0.00					
2	41+800.00	47.94	683,556.80	3,568,934.41	18.93	78.6789	NO
3	42+218.21	212.39	683,567.23	3,568,790.59	16.57	78.6880	NO
4	42+200.00	484.02	683,707.10	3,568,682.12	16.63	80.7755	SO
5	42+322.99	610.61	683,707.10	3,568,501.73	14.90	88.9496	SO
6	42+850.00	1,160.45	683,752.85	3,567,930.53	16.50	87.2376	NO
7	43+421.35	2,208.16	683,662.95	3,566,892.83	13.24	61.4258	NO
8	43+469.88	2,743.60	683,257.95	3,566,505.29	10.83	38.2575	NO
9	44+627.00	3,618.98	682,804.52	3,566,085.48	16.50	48.8935	NO
10	44+947.00	4,159.60	682,183.86	3,565,765.03	16.50	34.9694	NO
11	45+400.00	4,821.59	681,508.84	3,565,420.45	14.00	23.0320	NO
12	46+060.00	5,565.87	680,800.52	3,565,075.74	11.50	18.3350	NO
13	46+700.00	6,239.60	680,154.88	3,564,802.09	11.72	15.0881	NO
14	47+500.00	6,907.94	679,632.27	3,564,573.30	14.49	22.5725	NO
15	48+500.00	7,378.30	679,256.49	3,564,311.91	13.65	24.3206	NO
16	49+139.21	7,787.12	678,966.45	3,564,172.98	13.11	30.8037	NO
17	49+500.00	8,829.66	677,961.57	3,563,745.74	12.11	27.3200	NO
18	50+200.00	9,517.54	677,438.80	3,563,482.60	11.00	31.2579	NO
19	51+040.00	10,633.92	676,556.42	3,563,082.33	12.57	26.3417	NO
20	51+862.22	12,072.89	674,775.44	3,562,718.72	10.41	3.4214	SO
21	52+287.21	12,395.76	674,477.26	3,562,731.06	11.22	3.1536	SO
22	52+860.00	13,011.61	673,884.97	3,562,776.00	12.41	3.6966	SO
23	53+240.00	13,386.74	673,509.17	3,562,694.29	12.00	3.2660	SO

Nota: D* dirección de eje "X", NO noroeste, SO suroeste

La ubicación de las 25 secciones topográficas empleadas en el estudio hidrológico superficial se muestran en figura 7, donde el número en cada sección indica el ID. La línea verde indica las fronteras de la zona riparia y de estudio.

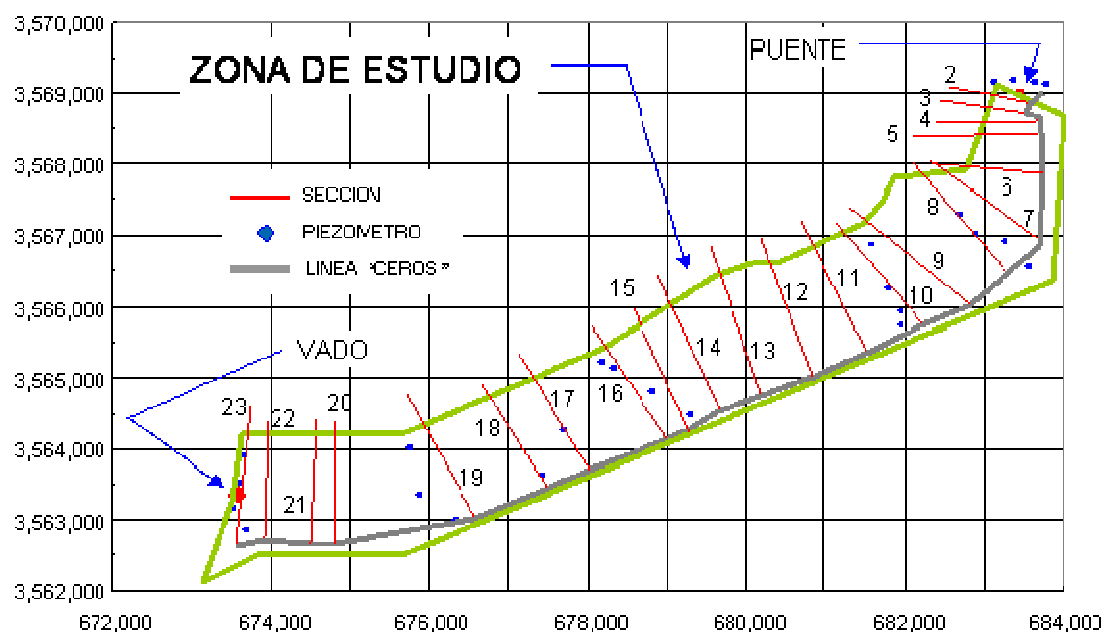
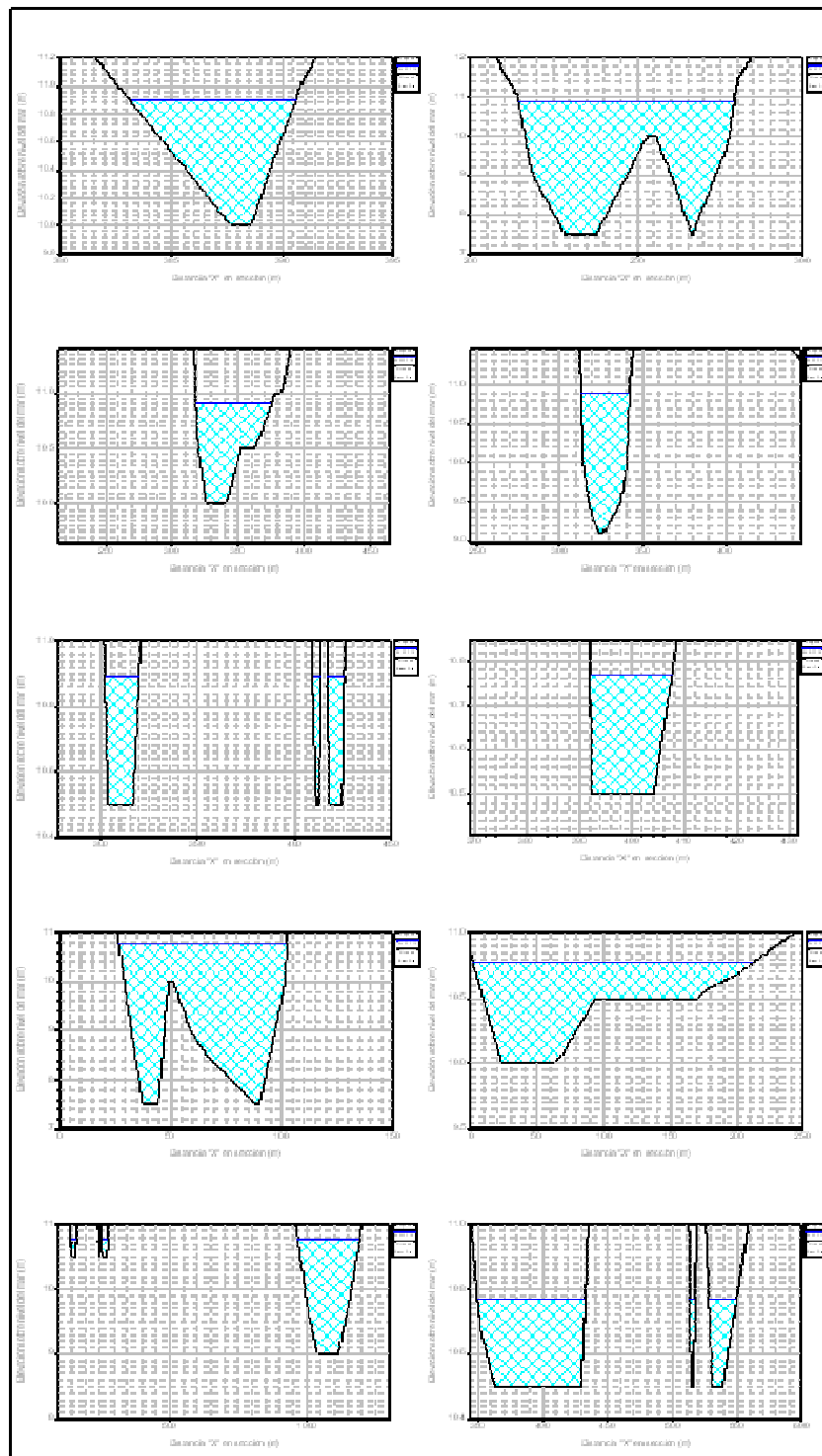


Figura 7. Ubicación de secciones topográficas en zona de estudio.

6.1.2 Simulación hidráulica con Hec-Ras

La simulación hidráulica empleando el programa Hec-Ras 4.0 se llevó a cabo utilizando las 25 secciones generadas por CNA, la ubicación de estas secciones se ilustra en figura 7, datos de estas secciones con relación a su localización, ID, km (CONAGUA), distancia al puente ferroviario, coordenadas (NAD 27) y altura (m.s.n.m.) de punto de partida y rumbo de sección se encuentran en tabla 3, (datos topográficos de puntos contenidos en 12 secciones seleccionadas para la determinación de un caudal ecológico se presentan en apéndice B), en la simulación hidráulica con Hec-Ras fue empleado parámetro coeficiente de rugosidad con un valor de 0.045, condiciones de frontera en sus extremos del tramo estudiado con pendiente 0.00019 en sección 1 y 0.0000 en sección 25, considerando un flujo unidimensional crítico (aguas abajo-aguas arriba), sin considerar pérdidas de infiltración ni de evaporación.

En figuras 8, 9 y 10 se presentan las 25 secciones obtenidas utilizando Hec-Ras de manera ilustrativa con escala variable, para un flujo de $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$, para caudales de $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ a $10.0 \text{ m}^3/\text{s}$ las secciones correspondientes se presentan en Apéndice C con marcaciones de niveles para gastos de 0.10, 1 y $10 \text{ m}^3/\text{s}$



Escala: Variable

Figura 8. Secciones 1-10 para un flujo de $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ empleando Hec-Ras

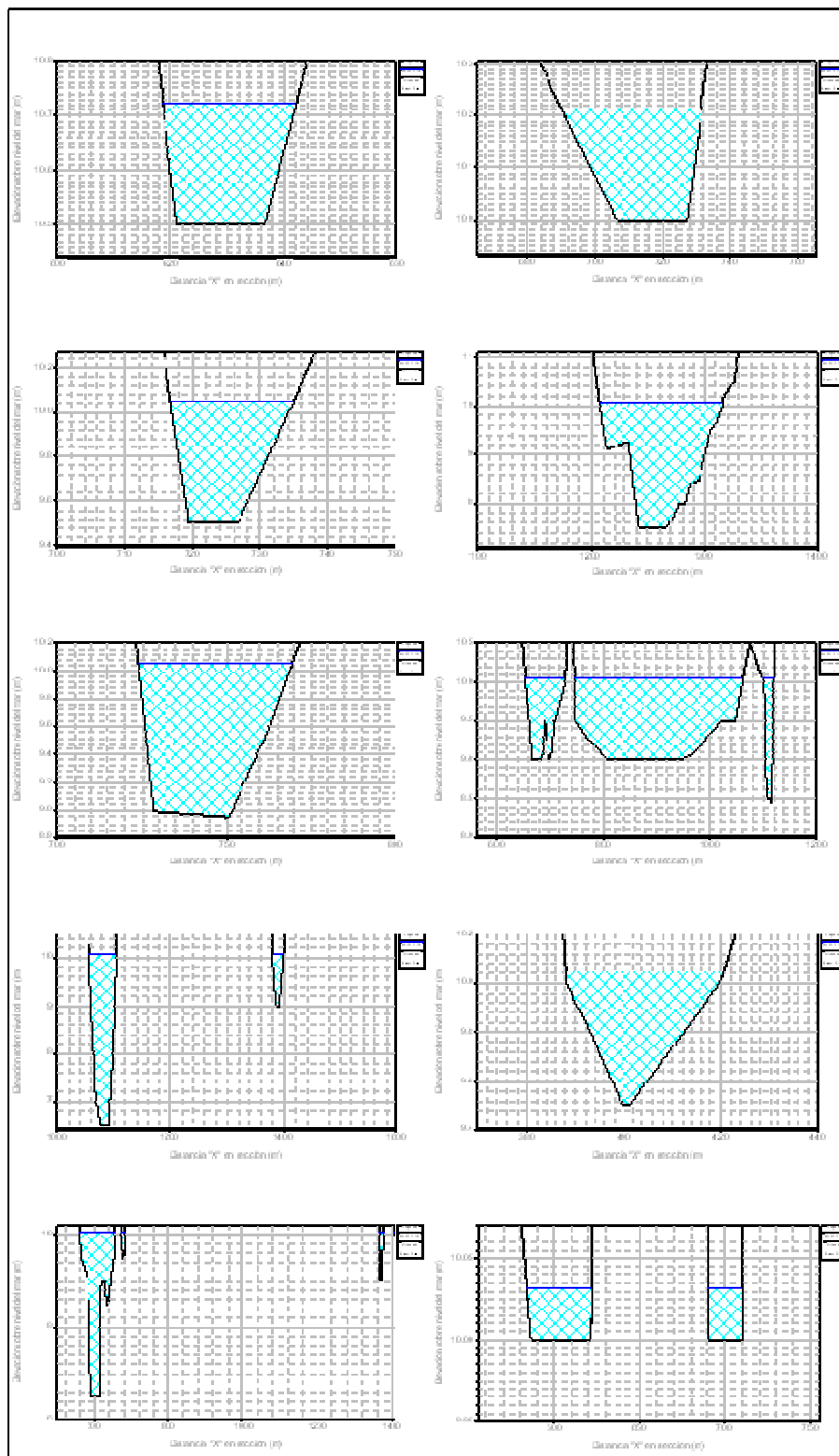


Figura 9. Secciones 11-20 para un flujo de 1.00 m³/s empleando Hec-Ras

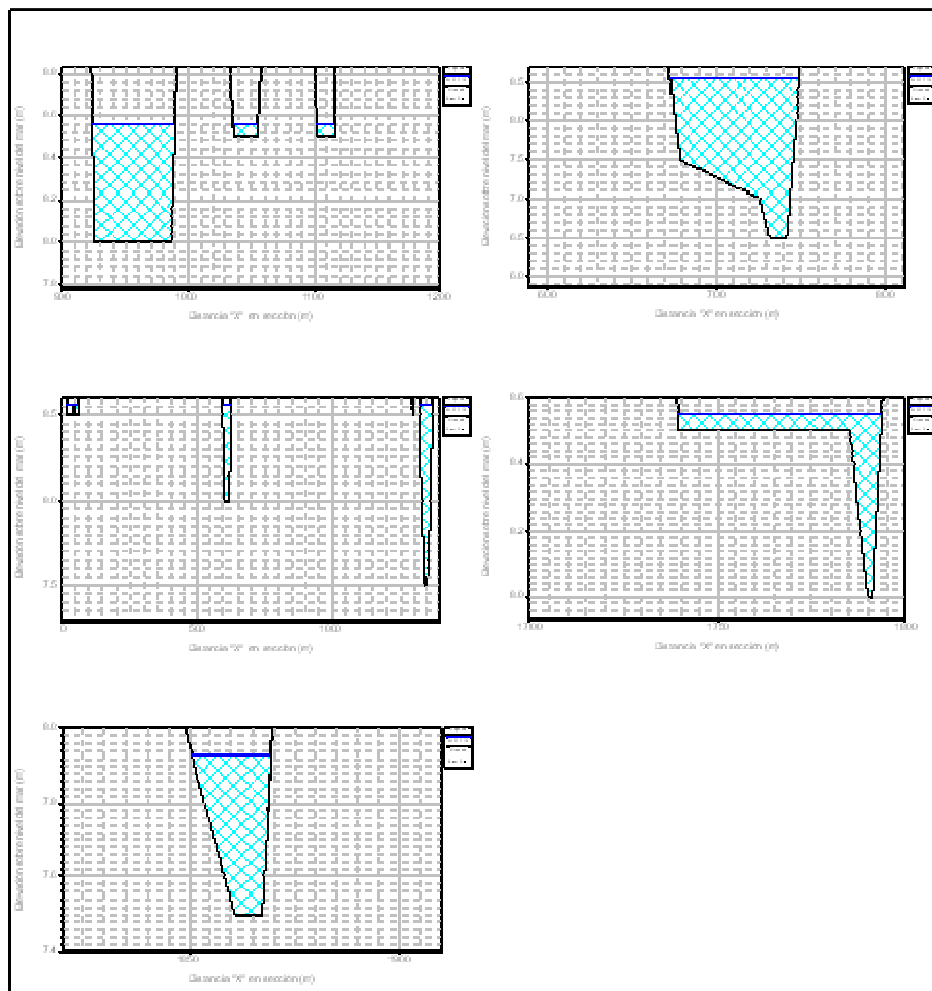


Figura 10. Secciones 21-25 para un flujo de $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ empleando Hec-Ras

6.1.3 Áreas de inundación

Se efectuaron los cálculos para evaluar superficies inundadas en área de estudio para caudales de 0.10 a $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Mediante el modelo Hec-Ras se obtuvieron los niveles del agua superficial para cada gasto en cada una sección. Con estos datos de nivel para cada flujo en estudio, el programa desarrollado en el presente trabajo fue utilizado para determinar el ancho total del agua superficial para cada sección, (dicho programa considera de manera separada ancho en el cauce principal y cauces en canales secundarios y proporciona ancho de agua total neto). Teniéndose determinadas las distancias entre secciones por eje del cauce principal se evaluaron las distintas áreas de inundación. Estos resultados se muestran en tabla 4 y en figura 11

Tabla 4. Áreas de inundación a diferentes caudales.

Superficies calculadas con Hec-Ras y porcentaje respecto al área de estudio

Q (m ³ /seg)	AREA Has	RESPECTO ÁREA DE ESTUDIO %	Q (m ³ /seg)	AREA Has	RESPECTO ÁREA DE ESTUDIO %
0.10	125.754	6.83	1.00	137.536	7.47
0.20	127.763	6.94	2.00	143.398	7.79
0.25	128.564	6.99	3.00	148.220	8.06
0.30	129.249	7.02	4.00	153.002	8.32
0.40	130.500	7.09	5.00	169.152	9.19
0.50	131.492	7.15	6.00	182.654	9.93
0.60	132.306	7.19	7.00	185.973	10.11
0.70	133.091	7.23	8.00	188.281	10.23
0.80	133.867	7.28	9.00	191.483	10.41
0.90	135.367	7.36	10.00	196.026	10.65

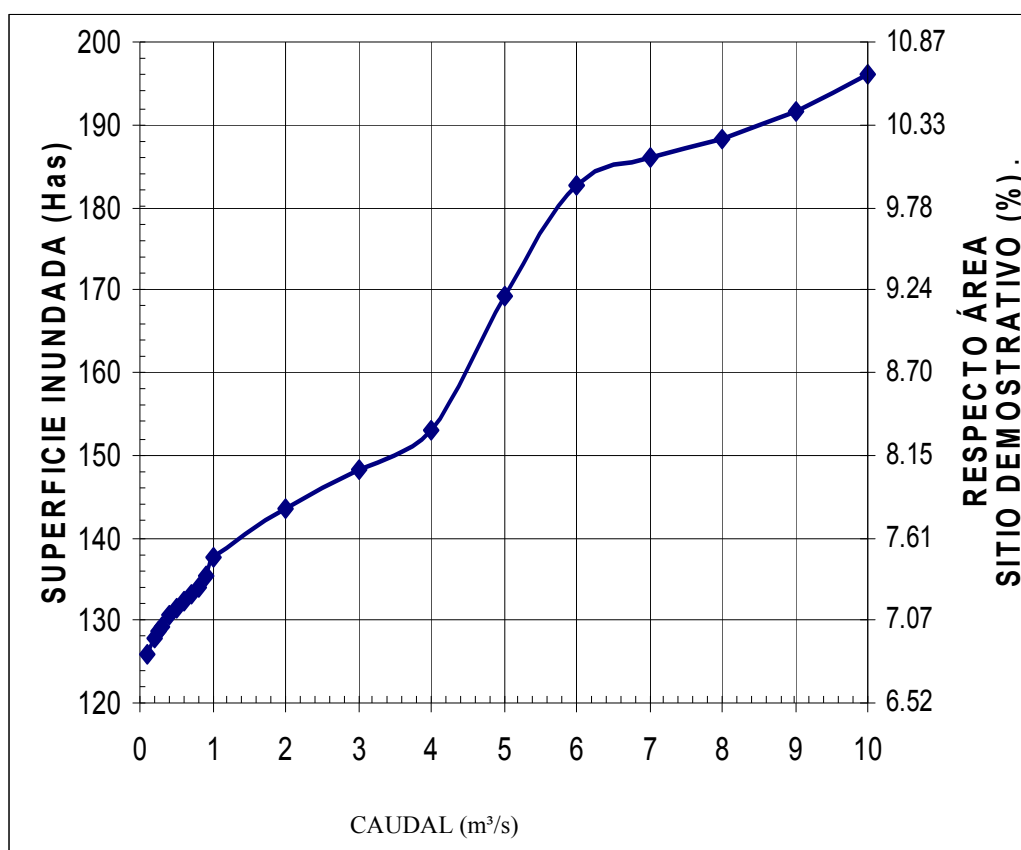


Figura 11. Superficies de inundación para caudales de 0.10 a 10.0 m³/s

6.2 Estudio de hidrología subterránea

6.2.1 Comportamiento del nivel freático

Establecimiento de piezómetros de observación

Se utilizaron 27 piezómetros perforados por Pérez (2006) para el estudio del comportamiento del nivel freático, ubicándose los primeros 4 al norte del puente ferroviario (aguas arriba) y los últimos 2 al suroeste del Vado Carranza (aguas abajo)

La ubicación de piezómetros dentro del área de estudio se muestra en figura 12

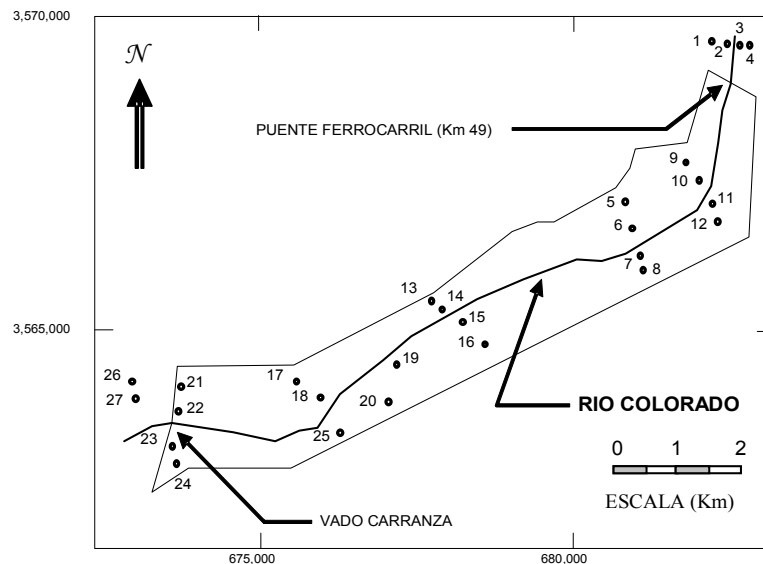


Figura 12. Ubicación de piezómetros de observación

Localización de piezómetros

La localización de piezómetros se muestra en tabla 5 donde se presenta la altura de brocal en metros con respecto al nivel medio del mar (m.s.n.m.), considerando los bancos de niveles cercanos a la zona de estudio pertenecientes a CONAGUA.

Tabla 5. Localización de piezómetros perforados y altura de brocal

PIEZOMETRO	COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS UTM (m) (NAD 27)		ALTURA DE BROCAL m.s.n.m.
	LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE	
1	32° 14' 45.13'' N	115° 03' 25.40'' W	683,049.22	3,569,156.85	14.65
2	32° 14' 46.00'' N	115° 03' 15.10'' W	683,318.33	3,569,188.53	14.65
3	32° 14' 44.80'' N	115° 03' 05.00'' W	683,583.37	3,569,156.37	15.27
4	32° 14' 43.90'' N	115° 02' 59.70'' W	683,722.59	3,569,131.17	14.14
5	32° 13' 32.10'' N	115° 04' 25.90'' W	681,506.02	3,566,879.19	13.15
6	32° 13' 32.60'' N	115° 04' 18.20'' W	681,707.33	3,566,898.20	13.4
7	32° 13' 00.13'' N	115° 04' 12.70'' W	681,869.29	3,565,900.80	11.67
8	32° 12' 55.20'' N	115° 04' 12.90'' W	681,866.78	3,565,748.88	13.13
9	32° 13' 44.80'' N	115° 03' 43.00'' W	682,622.09	3,567,290.52	13.68
10	32° 13' 36.70'' N	115° 03' 35.30'' W	682,828.18	3,567,044.70	13.12
11	32° 13' 32.70'' N	115° 03' 21.60'' W	683,189.07	3,566,928.00	13.72
12	32° 13' 20.70'' N	115° 03' 09.40'' W	683,515.17	3,566,564.21	14.45
13	32° 12' 46.88'' N	115° 06' 36.40'' W	678,114.00	3,565,426.00	11.52
14	32° 12' 44.51'' N	115° 06' 31.68'' W	678,239.00	3,565,355.00	11.87
15	32° 12' 26.70'' N	115° 06' 11.80'' W	678,769.11	3,564,815.73	11.67
16	32° 12' 16.10'' N	115° 05' 54.50'' W	679,227.89	3,564,497.28	11.43
17	32° 12' 13.27'' N	115° 08' 10.08'' W	675,679.00	3,564,348.00	11.51
18	32° 11' 47.65'' N	115° 08' 05.18'' W	675,821.00	3,563,561.00	12.7
19	32° 12' 00.94'' N	115° 06' 55.30'' W	677,643.97	3,564,002.36	11.32
20	32° 11' 48.80'' N	115° 07' 07.10'' W	677,341.51	3,563,623.07	11.4
21	32° 12' 06.30'' N	115° 09' 30.50'' W	673,577.00	3,564,097.00	11.47
22	32° 11' 54.12'' N	115° 09' 32.16'' W	673,540.00	3,563,721.00	11.75
23	32° 11' 36.30'' N	115° 09' 35.60'' W	673,459.19	3,563,170.80	11.22
24	32° 11' 26.20'' N	115° 09' 29.20'' W	673,632.12	3,562,862.62	10.43
25	32° 11' 29.40'' N	115° 07' 48.90'' W	676,257.24	3,563,006.52	9.29
26	32° 11' 57.00'' N	115° 10' 27.50'' W	672,089.16	3,563,785.11	10.88
27	32° 11' 38.10'' N	115° 10' 19.80'' W	672,300.70	3,563,206.48	10.68

Secciones de piezómetros

Para el estudio del comportamiento del nivel freático se consideraron cuatro piezómetros ubicados en secciones lineales las cuales se muestran en figura 13.

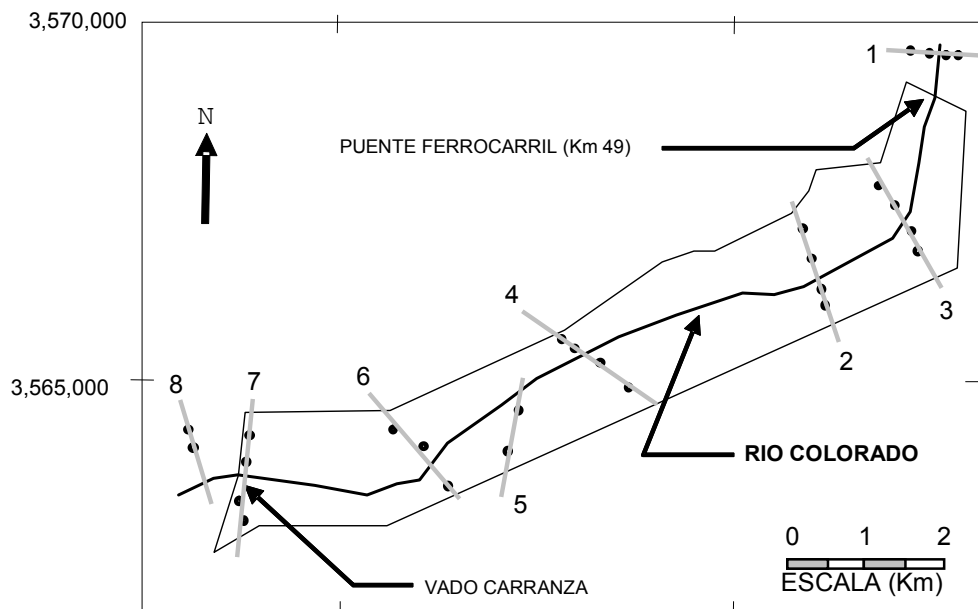


Figura 13. Secciones de piezómetros (8) consideradas en estudio

Líneas de flujos subterráneos

Con el propósito de estudiar del comportamiento de movimientos del agua en la relación cauce-acuífero se determinaron 13 líneas de flujo, estas líneas se seleccionaron tomando parejas de piezómetros para evaluar gradientes existentes a cada lado del cauce principal del RC, las cuales son mostradas en figura 14, donde la dirección de flecha indica la dirección y el sentido del flujo.

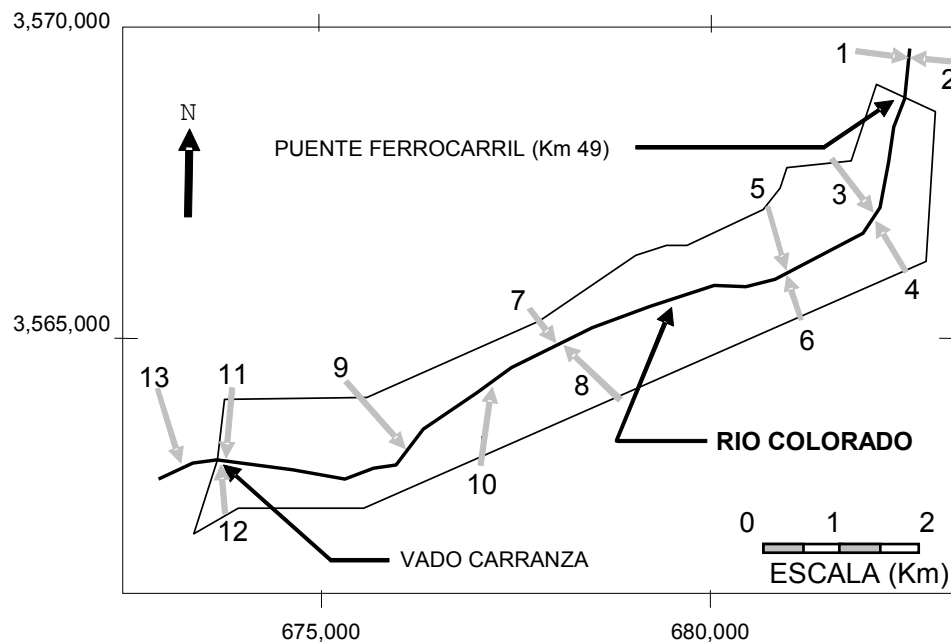


Figura 14. Líneas de flujo subterráneo consideradas en estudio (13).

Estudio del nivel freático

El estudio del nivel freático se realizó utilizando mediciones hechas en los 27 piezómetros de observación. El intervalo de mediciones comprende un lapso de tiempo de 2 años. (de Abril de 2005 a Marzo de 2007), las mediciones fueron realizadas por Pérez (2006; 2008). Las mediciones periódicas proporcionan perfiles del nivel freático en las 8 secciones de estudio. El comportamiento del nivel freático en las 8 secciones se muestra en las Figuras 15 y 16, donde se observa un comportamiento cíclico anual similar.

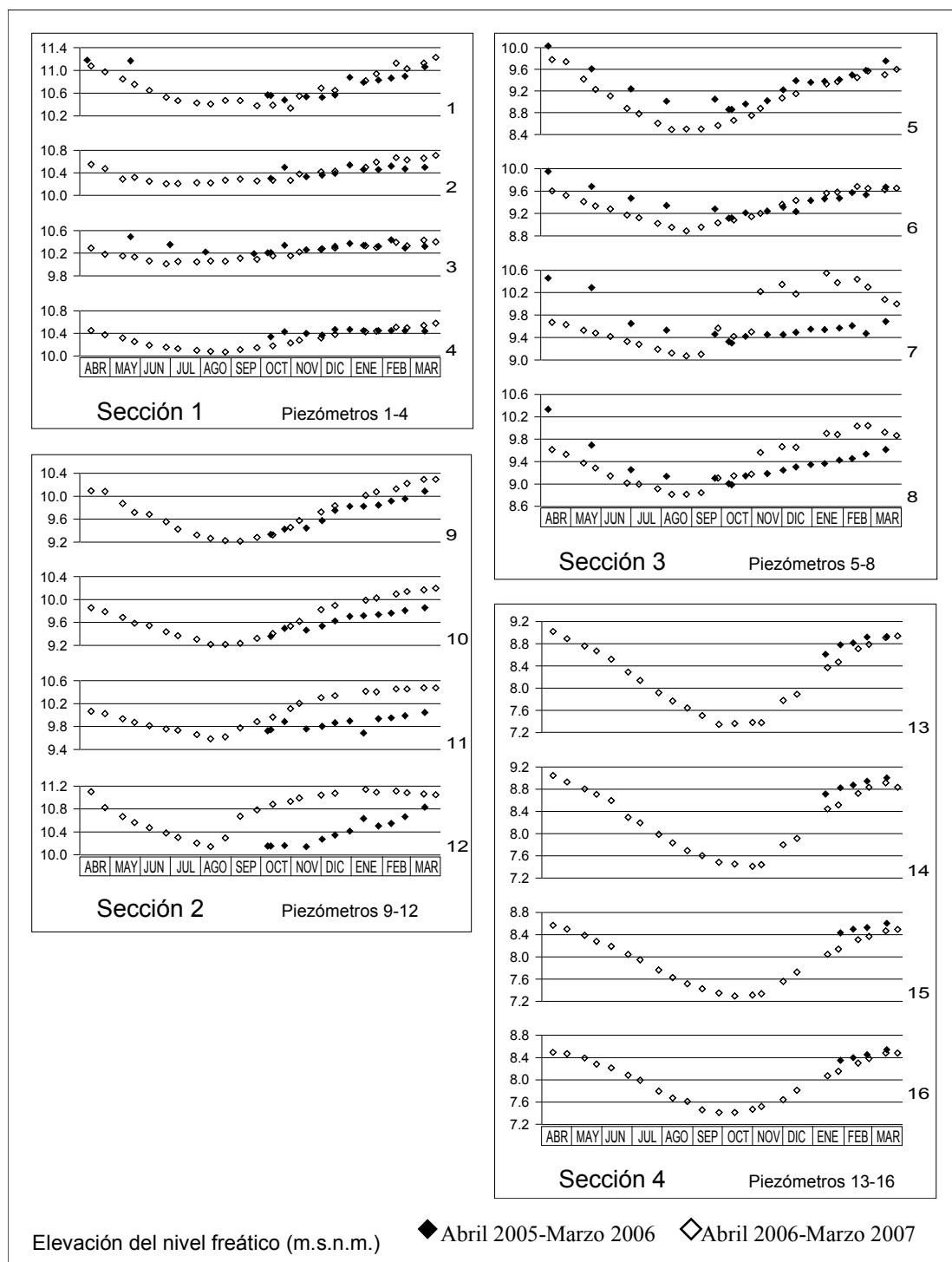


Figura 15. Comportamiento del nivel freático en las secciones 1 a 4. (Modificada de Pérez (2008).

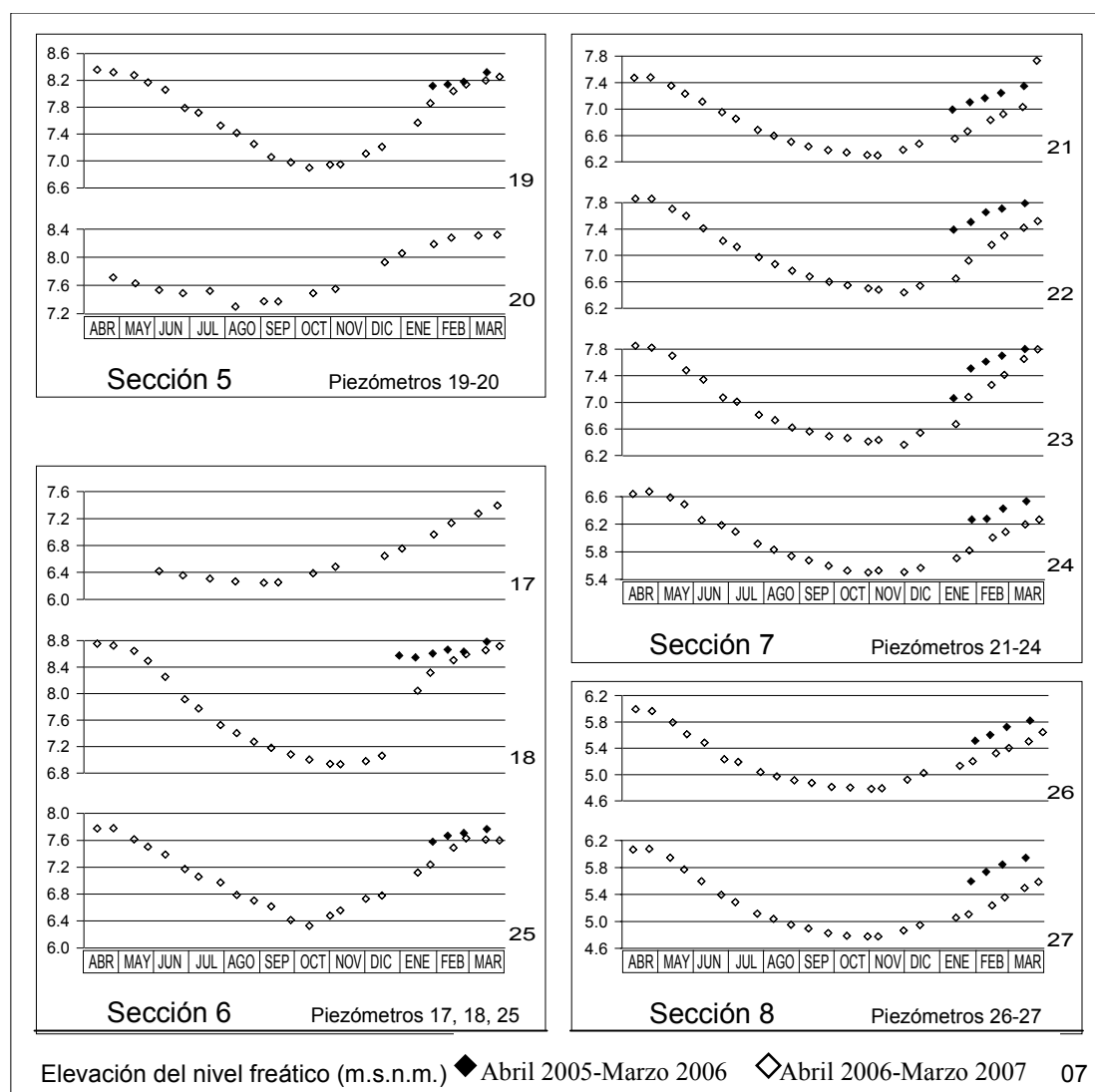


Figura 16. Comportamiento del nivel freático en las secciones 5 a 8. (Modificada de Pérez (2008).

6.2.2 Estudio del suelo

Sitios de muestreo

Se colectaron un total de 187 muestras a diversas profundidades en una primera etapa y 40 muestras en una segunda etapa a 0.20 m y a profundidad del nivel freático.

La ubicación de sitios de muestreo en etapa I se observa en Figura 17, la localización de sitios de muestreos empleando sistema de coordenadas UTM, Datum NAD 27 para las 2 etapas, se muestran en apéndice A.

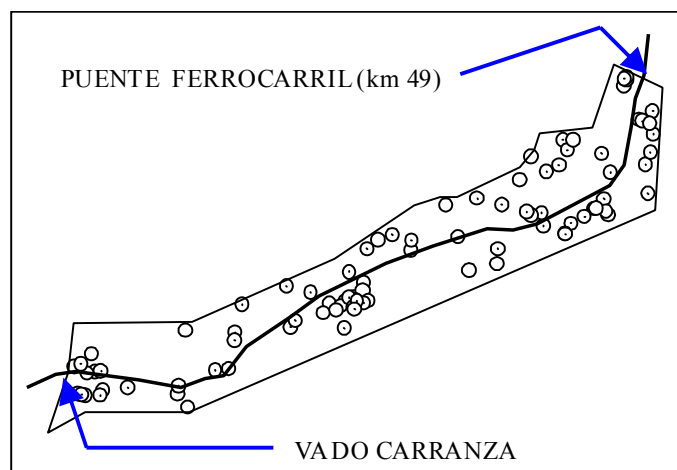


Figura 17. Sitios de muestreo de suelos, etapa I

Potencial Hidrógeno y Conductividad Eléctrica en suelos.

Los resultados físico-químicos de análisis aplicados a muestras de etapa I (la de mayor representatividad de la zona de estudio y número de muestras extraídas) relativos a potencial hidrógeno y conductividad eléctrica se muestran en tabla 6

Tabla 6. Potencial Hidrógeno y Conductividad Eléctrica en muestras de suelos
Profundidades 0.20, 1.0 y mayor a 1 hasta encontrar el nivel freático. (Etapa I)

PROFUNDIDAD 0.20 m														
ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE
0	8.75	6.32	21	8.87	2.61	35		1.56	55	8.86	6.73	70	8.65	0.85
1	8.70	4.34	22	8.98	0.93	36	8.90	4.34	56	8.81	9.49	71	8.25	3.90
2	8.80	9.14	23	8.96	2.82	38	8.97	2.72	57	9.13	6.30	72	8.35	2.25
3	8.95	17.05	24	8.67	15.44	40	8.94	1.84	58	8.87	1.83	74	9.11	8.98
4	8.76	4.80	25	8.82	8.68	42	8.87	6.96	59	8.87	0.57	75	8.67	0.40
5	8.77	3.60	26	8.95	1.42	43	8.81	18.86	60	8.40	5.13	76	9.20	4.12
8	8.70	4.04	27	8.79	5.26	44	8.90	9.91	61	8.38	2.30	79	8.69	14.22
9	8.89	0.67	28	8.80	8.66	47	8.83	14.32	62	8.57	0.55	80	8.83	3.56
11	-	2.30	29	8.68	1.59	49	8.69	1.05	63	8.44	5.97	81	8.77	2.57
12	-	1.37	30	8.79	6.10	50	8.72	20.60	64	8.53	0.41	83	8.81	2.88
13	-	5.52	31	9.14	2.62	51	8.94	5.09	65	8.77	1.48	85	8.84	1.63
15	-	0.80	32	8.78	7.00	52	8.66	9.57	67	8.63	1.88	86	8.85	0.75
17	-	5.00	33	8.78	1.41	53	8.83	2.05	68	8.65	6.05	87	8.72	8.31
18	-	2.30	34	9.04	2.22	54	8.93	1.81	69	8.91	2.05	88	8.80	1.25
PROFUNDIDAD 1 m														
ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE
0	8.70	1.25	23	9.20	2.40	38	8.98	2.15	56	8.63	11.84	74	9.40	10.42
2	8.78	2.92	24	8.83	8.86	40	8.75	6.05	57	8.93	1.86	75	8.46	0.58
3	8.93	7.90	25	8.74	12.59	42	8.32	3.46	58	8.91	0.90	76	8.90	18.58
4	8.86	0.74	26	8.92	0.96	43	8.70	13.62	59	8.84	0.43	79	8.68	6.00
8	8.30	2.90	27	9.16	1.26	44	8.81	4.95	60	8.36	2.63	80	8.67	4.37
9	8.70	1.32	28	8.96	3.74	45	8.75	6.12	61	8.48	0.55	81	8.90	1.26
11	-	3.73	29	8.66	6.29	46	8.93	23.36	63	8.61	2.16	83	8.79	1.86
12	-	1.46	30	8.70	4.50	47	8.76	8.42	64	8.08	0.35	85	8.66	0.54
13	-	1.49	31	9.02	2.61	50	8.93	23.60	65	8.47	0.84	86	8.78	5.20
15	-	2.04	32	8.79	4.48	51	8.86	1.75	68	9.20	10.98	87	8.75	8.43
17	-	2.65	33	8.96	1.05	52	8.76	9.02	69	8.68	0.41	88	8.94	1.05
18	-	1.91	34	9.23	2.53	53	8.93	0.78	70	8.73	1.22			
19	-	11.63	35	9.04	2.77	54	8.44	0.46	71	8.30	3.39			
21	9.10	0.87	36	9.31	19.37	55	8.77	5.73	72	8.90	4.73			
PROFUNDIDAD > 1 m														
ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE	ID	pH	CE
2	8.81	1.26	23	9.08	1.84	43	8.81	7.10	59	8.87	0.84	79	8.59	9.44
3	8.96	6.48	24	8.91	7.15	44	8.76	4.10	60	8.70	1.00	80	8.72	4.76
5	8.90	2.20	25	8.90	5.08	45	8.60	9.83	65	8.57	1.56	81	8.97	1.63
12	-	4.60	28	8.69	11.40	46	8.45	5.82	68	9.36	28.20	83	8.70	11.50
13	-	3.51	29	8.93	3.67	47	8.91	15.27	70	8.10	10.42	86	8.62	3.30
15	-	11.80	31	9.00	3.48	51	8.33	3.53	71	8.63	1.88	87	8.66	4.58
17	-	4.75	34	9.09	2.83	53	8.96	15.60	74	8.72	1.04	88	9.11	1.51
18	-	9.74	35	9.09	2.42	55	8.79	4.50	75	8.70	1.01			
19	-	9.37	36	10.6	9.71	56	8.75	6.05	76	8.32	3.52			
21	8.95	1.91	40	8.85	1.91	57	8.82	6.71	78	8.74	2.15			

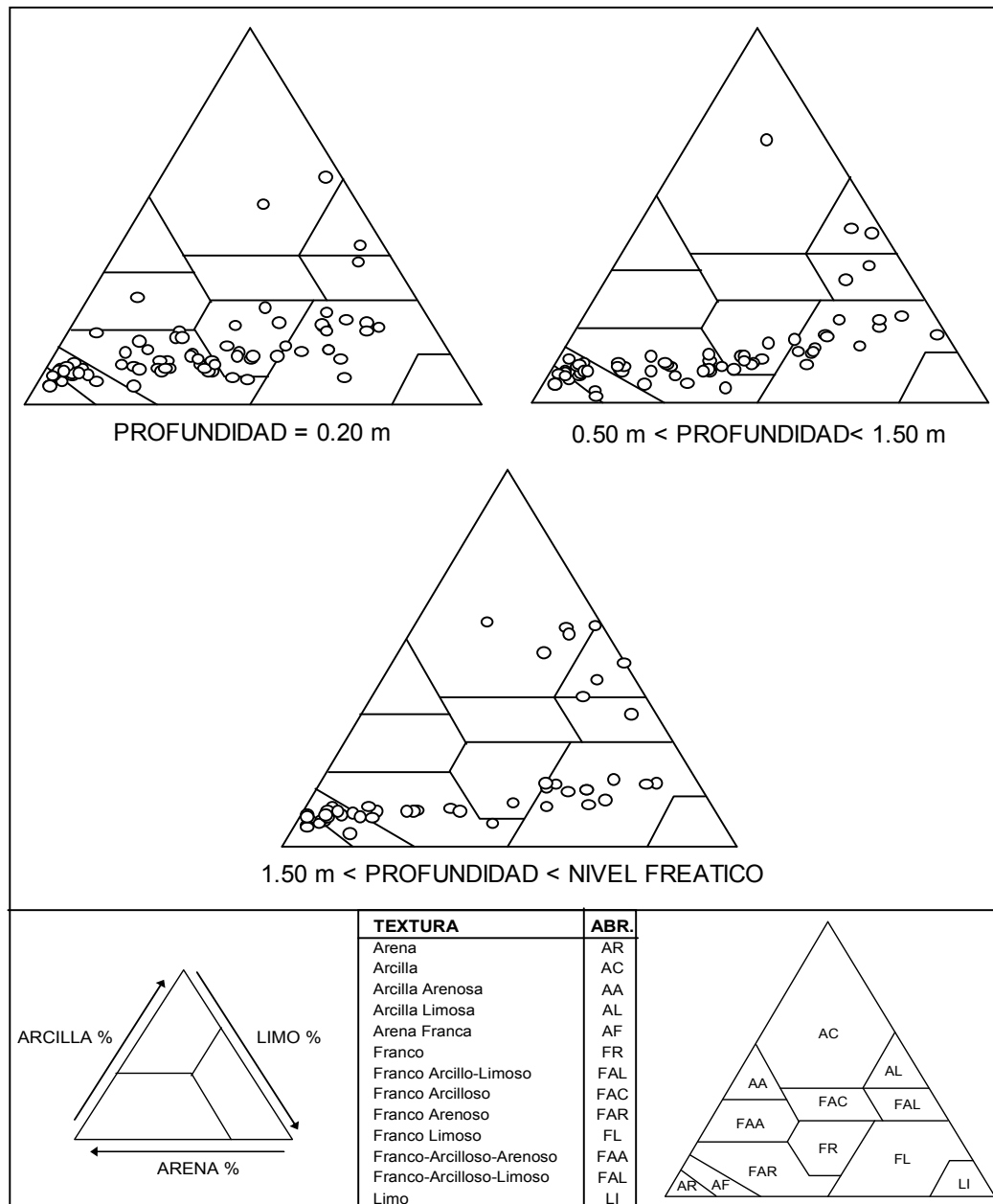
*CE (μS / cm)

Análisis de textura

La textura del suelo se describe utilizando el triángulo de texturas para estudios edafológicos (De la Peña, 1987) en el cual se describe la composición porcentual de arena-limo-arcilla con base en su ubicación dentro del triángulo de texturas. En las figuras 18 y 19 se muestran los resultados para las etapas I y II

Los resultados promedios en contenido de arena, limo y arcilla en la totalidad de 187

muestras extraídas a diferentes profundidades de Etapa I se muestran en tabla 7



Los triángulos de la parte inferior son la explicación de las zonas del triángulo

Figura 18. Ubicación de muestras de suelo de etapa I en triángulo de texturas para su caracterización..

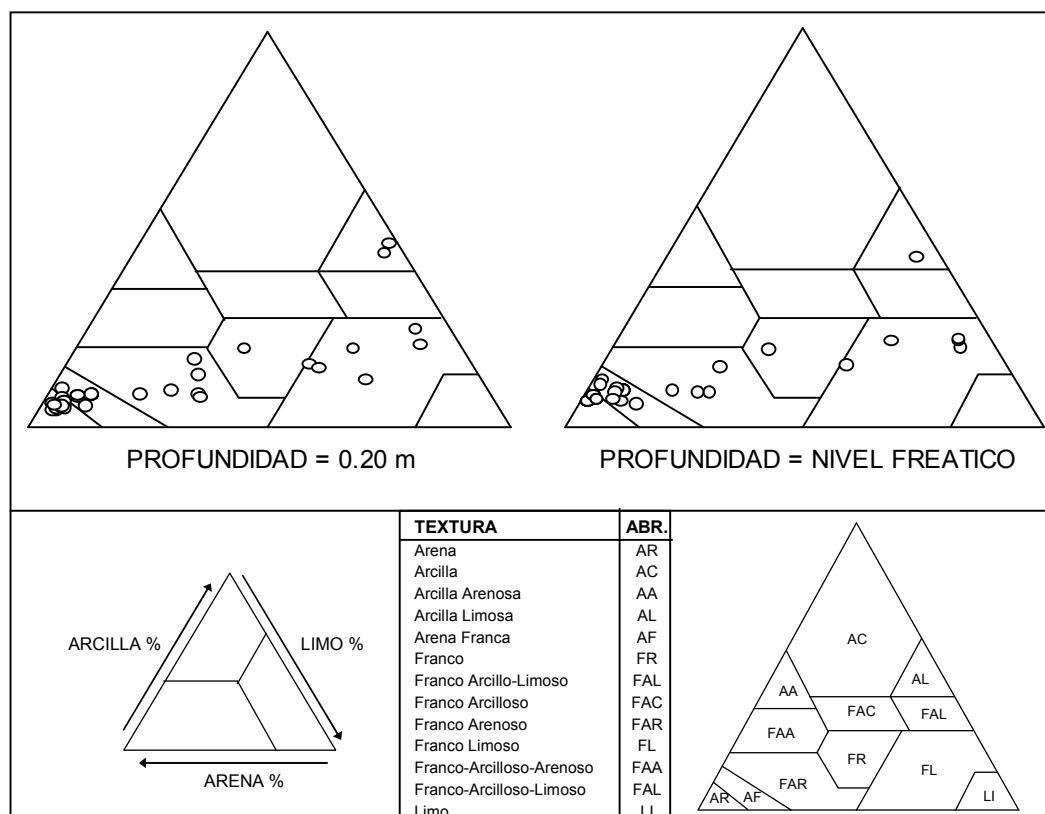


Figura 19. Ubicación de muestras de etapa II en triángulo de texturas para su caracterización

Tabla 7. Resultados promedio en muestras analizadas (Etapa I)

PROFUNDIDAD (m)	%		
	ARENA	LIMO	ARCILLA
0.20	53.99	31.50	14.51
0.50 - 0.88	77.48	13.76	8.76
1	51.52	34.13	14.35
1.32 - 2.47	70.85	21.18	7.97
2.50 - 3.14	45.31	34.06	20.63
3.40 - 4.00	47.1	33.38	19.52

Los resultados de muestras provenientes de distintas profundidades relativos a la caracterización de las muestras de suelos analizados utilizando triángulo de texturas para

estudios edafológicos (De la Peña, 1987) se muestran en tabla 8, 9 y 10 mostrando los resultados para las muestras de 0 a 30, 31 a 60 y 61 a 88, respectivamente.

Tabla 8. Clasificación de muestras de suelos ID 0-30 de Etapa I

ID	PROFUNDIDAD		
	< 1.00 m	1.00 m	> 1.00 m
0	Arcillo Limoso	Arena Franca	
1	Arena Franca		
2	Franco	Franco	Franco Arenoso
3	Franco	Franco	Franco Arenoso
4	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
5	Franco Limoso		Franco Limoso
8	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
9	Franco Limoso	Franco Arenoso	
11	Arena	Arena	
12	Franco Arenoso-Arcilloso	Arena	Arena
13	Arcilla	Franco	Franco Arenoso
15	Franco	Franco Arenoso	Franco Limoso
17	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Arcilla
18	Franco	Franco Arenoso	Franco Limoso
19	Franco Arenoso	Franco	Arena Franca
21	Arena Franca	Franco arenoso	Arena Franca
22	Franco Arenoso		
23	Arena Franca	Arena Franca	Arena Franca
24	Franco Limoso	Franco Limoso	Arcilla
25	Franco Arenoso	Franco Limoso	Arena Franca
26	Franco	Franco Arenoso	
27	Franco	Franco Arenoso	
28	Franco Arenoso	Arena Franca	Arcillo Limoso
29	Franco Arenoso	Franco	Franco Arenoso
30	Arena	Arena	

Tabla 9. Clasificación de muestras de suelos ID 31-60 de Etapa I)

ID	PROFUNDIDAD		
	< 1.00 m	1.00 m	> 1.00 m
31	Arena	Arena	Arena
32	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
33	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
34	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Arena
35	Arena	Arena	Arena
36	Franco Arenoso	Franco Limoso	Franco Limoso
38	Arena	Arena	
40	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Limoso
42	Franco Arenoso	Franco	
43	Franco Arenoso	Franco Limoso	Franco
44	Franco	Franco	Arcillo Limoso
45	Franco Limoso	Franco Limoso	Arcilla
46	Franco Limoso	Arcillo Limoso	Franco
47	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcillo-Limoso
49	Franco Arcillo-Limoso		
50	Arcilla	Arcillo Limoso	
51	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Limoso
52	Franco Limoso	Franco Limoso	
53	Franco Limoso	Arena Franca	Franco Arenoso
54	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
55	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Arena Franca
56	Franco Arenoso	Franco Limoso	Franco Arenoso
57	Franco Arenoso	Arena Franca	Franco Arenoso
58	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
59	Arena Franca	Arena	Arena
60	Franco Limoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Tabla 10. Clasificación de muestras de suelos ID 61-88 de Etapa I

ID	PROFUNDIDAD		
	< 1.00 m	1.00 m	> 1.00 m
61	Franco	Franco Arenoso	
62	Arena Franca		
63	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
64	Arena Franca	Arena Franca	
65	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Arena
67	Franco Arenoso		
68	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Arcillo-Limoso
69	Franco	Franco Arenoso	
70	Franco	Franco Limoso	Franco Limoso
71	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
72	Franco Arenoso	Franco Arenoso	
74	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Arenoso
75	Franco Limoso	Franco Limoso	Arcilla
76	Franco Arenoso	Franco Arcillo-Limoso	Franco Limoso
			Franco Arenoso
79	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Arenoso
80	Franco Limoso	Franco	Franco Limoso
81	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
83	Franco Limoso	Franco Limoso	Arcilla
85	Franco Arenoso	Arena Franca	
86	Franco Arenoso	Arcilla	Franco Limoso
87	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Limoso
88	Franco	Franco	Franco Arenoso

Un resumen total de resultados en la caracterización de las 187 muestras colectadas, de acuerdo a los análisis de textura obtenidos en laboratorio, se muestra en tabla 11

Tabla 11. Resumen de resultados de texturas en % (Etapa I)

TEXTURA	PROFUNDIDAD						SUMA	%
	< 1 m	%	1.00 m	%	>1.00 m	%		
Arcilla	2	2.7	1	1.5	5	10.6	8	4.3
Arcillo Limoso	1	1.4	2	3.0	2	4.3	5	2.7
Arena	5	6.8	7	10.4	6	12.8	18	9.6
Arena Franca	6	8.2	7	10.4	5	10.6	18	9.6
Franco	10	13.7	10	14.9	2	4.3	22	11.8
Franco Arcillo-Limoso	1	1.4	1	1.5	2	4.3	4	2.1
Franco Arcilloso	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Franco Areno-Arcilloso	1	1.4	0	0	0	0	1	0.5
Franco Arenoso	32	43.8	25	37.3	14	29.8	71	38.0
Franco Limoso	15	20.5	14	20.9	11	23.4	40	21.4
	73		67		47		187	

La composición individual de muestras en relación al contenido de arena, limo y arcilla (%) y su caracterización en triángulo de textura para estudios edafológicos (De la Peña, 1987) de muestras de etapa II se presentan en tablas 12 y 13

Tabla 12. Resultados en muestras a profundidad 0.20 m (Etapa II)

ID	%			Clasificación
	Arena	Limo	Arcilla	
91	92.04	2.72	5.24	Arena
98	60.04	30.72	9.24	Franco Arenoso
101	58.04	28.72	13.24	Franco Arenoso
103	84.04	8.72	7.24	Arena Franca
104	60.04	30.72	9.24	Franco Arenoso
110	84.04	8.72	7.24	Arena Franca
111	92.04	2.72	5.24	Arena
113	88.04	2.72	9.24	Arena
114	22.04	58.72	19.24	Franco Limoso
115	58.04	26.72	15.24	Franco Arenoso
117	8.04	70.72	21.24	Franco Limoso
118	90.04	4.72	5.24	Arena
119	74.04	18.72	7.24	Franco Arenoso
122	66.04	24.72	9.24	Franco Arenoso
123	2.04	52.72	45.24	Arcillo Limoso
125	82.04	8.72	9.24	Arena Franca
126	8.04	68.72	23.24	Arcillo Limoso
129	34.04	50.72	15.24	Franco Limoso
131	24.04	64.72	11.24	Franco Limoso
133	84.04	8.72	7.24	Arena Franca
134	6.04	52.72	41.24	Arcillo Limoso
136	46.04	34.72	19.24	Franco
137	32.04	52.72	15.24	Franco Limoso
139	90.04	4.72	5.24	Arena
140	86.04	6.72	7.24	Arena Franca
145	92.04	2.72	5.24	Arena
147	82.04	8.72	9.24	Arena Franca
149	90.04	2.72	7.24	Arena
151	90.04	4.72	5.24	Arena
153	90.04	2.72	7.24	Arena
154	90.04	4.72	5.24	Arena
154	90.04	4.72	5.24	Arena
155	92.04	2.72	5.24	Arena
157	86.04	8.72	5.24	Arena Franca
159	92.04	2.72	5.24	Arena
160	90.04	4.72	5.24	Arena
164	90.04	4.72	5.24	Arena
165	92.04	2.72	5.24	Arena
166	86.04	6.72	7.24	Arena Franca
168	86.04	6.72	7.24	Arena Franca
169	86.04	6.72	7.24	Arena Franca

Tabla 13. Resultados en muestras a profundidad del nivel freático (Etapa II)

ID	%			Clasificación
	Arena	Limo	Arcilla	
91	92.04	2.72	5.24	Arena
98	66.04	24.72	9.24	Franco Arenoso
101	92.04	2.72	5.24	Arena
103	84.04	8.72	7.24	Arena Franca
104	92.04	2.72	5.24	Arena
110	86.04	8.72	5.24	Arena Franca
111	92.04	2.72	5.24	Arena
113	88.04	2.72	9.24	Arena
114	20.04	58.72	21.24	Franco Limoso
115	60.04	24.72	15.24	Franco Arenoso
117	8.04	72.72	19.24	Franco Limoso
118	90.04	4.72	5.24	Arena
119	74.04	18.72	7.24	Franco Arenoso
122	68.04	22.72	9.24	Franco Arenoso
123	6.04	52.72	41.24	Arcillo Limoso
125	84.04	8.72	7.24	Arena Franca
126	8.04	70.72	21.24	Franco Limoso
129	84.04	8.72	7.24	Arena Franca
131	34.04	50.72	15.24	Franco Limoso
133	86.04	6.72	7.24	Arena Franca
134	8.04	70.72	21.24	Franco Limoso
136	48.04	32.72	19.24	Franco
137	92.04	2.72	5.24	Arena
139	92.04	2.72	5.24	Arena
140	84.04	8.72	7.24	Arena Franca
145	92.04	2.72	5.24	Arena
147	86.04	6.72	7.24	Arena Franca
149	90.04	2.72	7.24	Arena
151	90.04	4.72	5.24	Arena
153	90.04	2.72	7.24	Arena
155	92.04	2.72	5.24	Arena
157	88.04	6.72	5.24	Arena Franca
159	92.04	2.72	5.24	Arena
160	92.04	2.72	5.24	Arena
164	90.04	4.72	5.24	Arena
165	92.04	2.72	5.24	Arena
166	90.04	2.72	7.24	Arena
168	82.04	10.72	7.24	Arena Franca
169	84.04	8.72	7.24	Arena Franca

Análisis de permeabilidad

La conductividad hidráulica de los suelos se ha determinado en laboratorio en muestras provenientes de una profundidad mayor a 1 m, utilizando permeámetro de carga constante en 15 muestras de suelos con contenidos de arena mayor a 50%. Estos análisis se realizaron con el objetivo de corroborar los rangos de valores de conductividad en suelos

imperantes en zona de estudio. Estos resultados se muestran en tabla 14

Tabla 14. Resultados de análisis de laboratorio, composición, textura y conductividad hidráulica.

ID	%			TEXTURA SUELO	K (m/s)
	ARENA	LIMO	ARCILLA		
57	54.6	35.44	9.96	FRANCO ARENOSO	1.99E-07
3	58.0	32.00	9.96	FRANCO ARENOSO	2.37E-07
56	64.6	25.44	9.96	FRANCO ARENOSO	2.05E-06
88	79.3	12.68	8.00	FRANCO ARENOSO	1.21E-06
2	80.0	10.00	9.96	FRANCO ARENOSO	1.55E-06
13	84.0	6.00	9.96	FRANCO ARENOSO	2.75E-06
53	84.6	7.44	7.96	FRANCO ARENOSO	1.06E-05
19	86.0	6.00	7.96	ARENA FRANCA	1.19E-05
55	86.6	5.44	7.96	ARENA FRANCA	4.19E-06
34	87.3	4.72	7.96	ARENA	1.63E-05
29	87.3	6.72	5.96	FRANCO ARENOSO	1.30E-05
35	89.3	2.72	7.96	ARENA	9.61E-06
12	90.0	2.00	7.96	ARENA	1.15E-05
59	90.6	3.44	5.96	ARENA	2.72E-05
31	91.3	2.72	5.96	ARENA	2.11E-05

Estudio conductividad hidráulica-contenido de arena

Los resultados obtenidos en conductividad hidráulica en laboratorio determinan un comportamiento tipo logarítmico respecto al parámetro contenido de arena. Regresión lineal logarítmica de base 10 fue aplicada a resultados obteniéndose la ecuación $y = 0.0509x - 4.5448$,

Donde:

$y =$ El logaritmo base 10 de la conductividad hidráulica en (m/día)

$x =$ Es el porcentaje de arena de la muestra analizada (%)

Con un factor $r^2 = 0.818$. Estos resultados se muestran en Figura 20

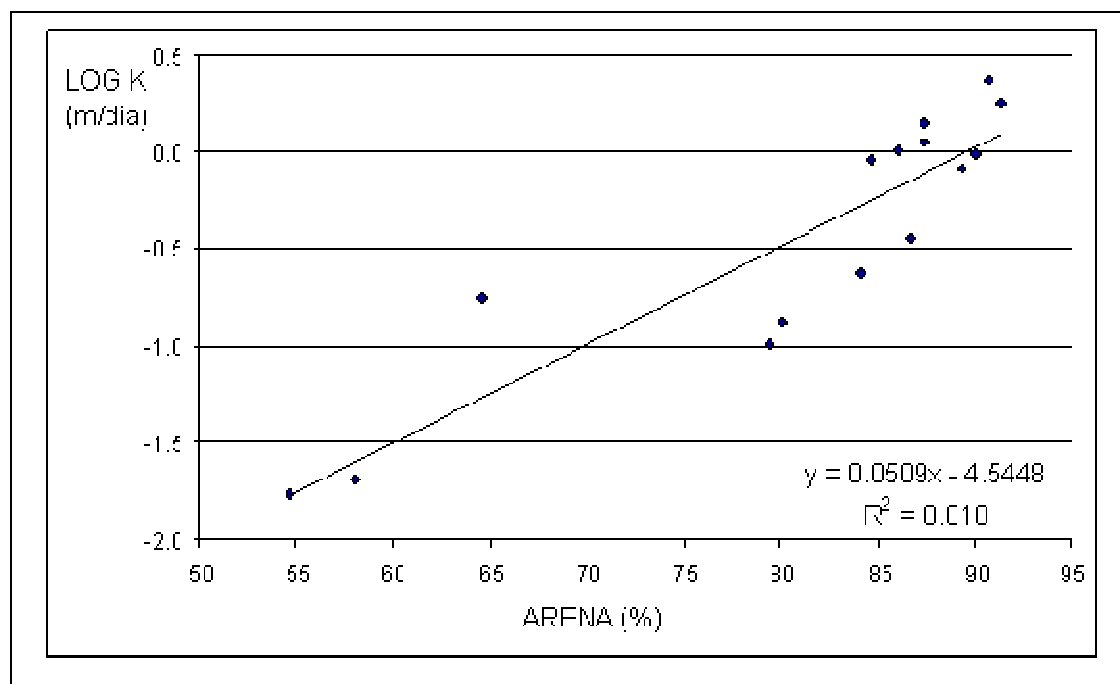


Figura 20. Regresión lineal aplicada en el porcentaje del contenido de arena versus logaritmo de la conductividad (m/día)

Tabla 15. Intervalos de variación de los valores de conductividad hidráulica reportados en la literatura

VALORES DE PERMEABILIDAD K (m/seg)												
MATERIAL	FUENTE	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹
ARCILLA	De Marsily, 1981	◀										
	Canales, 1989											
	Custodio et. al., 1983	◀										
	Linsey et.al., 1986			♦								
	Ven Te Chow, 1993											
	Mijailov L., 1989											
	UACH, 1987											
	Monsalve, 1999					♦						
ARCILLA DEBIL-ARENOSA	Mijailov L., 1989											
ARCILLA ARENOSA	Mijailov L., 1989						♦					
ARENA ARCILLOSA	Mijailov L., 1989							♦				
LIMO	Ven Te Chow, 1993											
	De Marsily, 1981											
	Custodio et. al., 1983							♦				
ARENAS FINAS	Canales, 1989											
	De Marsily, 1981											
	Custodio et. al., 1983											
ARENA LIMOSA	Custodio et. al., 1983							♦				
ARENA GRANO LIMPIO	Mijailov L., 1989								♦			
ARENA LIMPIA FINA	Davis et. al., 1966											
ARENA DE GRANO MEDIO	Mijailov L., 1989									♦		
ARENA LIMPIA	Hornberguer et. al., 1998											
ARENA	Ven Te Chow, 1993											
	UACH, 1987											
	Monsalve, 1999									♦		
	Linsey et.al., 1986									♦		
ARENISCA	Hornberguer et. al., 1998											
	UACH, 1987											
	Linsey et.al., 1986								♦			
	Monsalve, 1999									♦		
MEZCLA DE ARENA	Custodio et. al., 1983											
GRAVA Y ARENA	UACH, 1987											
	De Marsily, 1981											
	Monsalve, 1999									♦		
	Linsey et.al., 1986										♦	
GRAVA	Ven Te Chow, 1993											
	UACH, 1987											
	Canales, 1989											
	Monsalve, 1999										♦	
	Linsey et.al., 1986											♦
	Davis et. al., 1966											
GRAVAS GRUESAS	De Marsily, 1981											
GRAVA LIMPIA	Custodio et. al., 1983											▶
Fuente: Las citadas*												♦ Valor promedio

6.3 Interrelación RC-acuífero

6.3.1 Flujos existentes

Después de haber realizado un análisis del comportamiento del nivel freático en la zona de estudio para cada fecha de mediciones en los 27 piezómetros de observación

establecidos por el lapso de tiempo de 2 años, se han elegido con base en las elevaciones máximas y mínimas, 4 fechas principales, las cuales son las siguientes:

- 1) Día 11 de Abril de 2006, como fecha aproximada en que se presentaron las mayores elevaciones del nivel freático en el transcurso del primer año de estudio.
- 2) Día 8 de Julio de 2006, inicio del segundo año de estudio con una ocurrencia de elevaciones medias del nivel freático.
- 3) Día 12 de Octubre de 2006, fecha entre los días en que se presentan las mínimas elevaciones del nivel freático.
- 4) Día 26 de Marzo de 2007, como fecha aproximada en que se presentan las mayores elevaciones del nivel freático en segundo año de estudio.

El gradiente hidráulico entre las parejas de piezómetros de observación a lo largo de cada una de las 13 líneas establecidas (ver localización de las líneas de flujo, figura 14) fueron obtenidas cuantificando las diferencias de la elevación del nivel estático entre cada piezómetro y la distancia entre ellos, para cada una de las fechas elegidas. Este gradiente permitió establecer la dirección y el sentido del movimiento del agua. La magnitud del flujo entre ambos piezómetros requiere establecer el área de flujo y la conductividad hidráulica, según la Ley de Darcy. Estos resultados se presentan en tabla 16, los valores de estos gradientes esquematizados por grosor de línea se presentan en figura 21

En la figura 21 se dividió el valor del gradiente hidráulico en cuatro intervalos que se representan por el grosor de la flecha y se indica el sentido del gradiente por la punta de la flecha. El primero corresponde a las líneas que presentan gradiente cero, es decir no se observan diferencias en el nivel estático entre los piezómetros que conforman la línea. Estos se indican con líneas sin punta de flecha, es decir el agua no se mueve en ninguna dirección. El segundo grupo incluye los gradientes hasta 0.0002 (m/m). El tercer grupo desde 0.00021 hasta 0.002. El cuarto grupo las líneas que presentan un gradiente desde 0.0021 hasta 0.003 en el que se incluye el gradiente mayor observado.

Tabla 16. Direcciones de flujos existentes en 4 fechas principales

Las flechas en la columna 5 indican el sentido del flujo de cada lado del cauce principal

FECHA	LINEAS	N.E. en pozos (m.s.n.m.)		GRAD	FLUJOS			GRAD	N.E. en pozos (m.s.n.m.)	
		margen der.			EXISTENTES	margen izq.				
11 ABRIL 2006	1, 2	11.08	10.55	0.00191	→	C	←	0.00117	10.29	10.45
	3, 4	10.10	9.86	0.00074	→	A	←	0.00202	10.07	11.10
	5, 6	9.78	9.60	0.00027		U	→	-0.00029	9.67	9.62
	7, 8	9.02	9.04	-0.00016	←	C	→	-0.00014	8.57	8.49
	10					E			8.36	
	9		8.75			↓				
	11, 12	7.47	7.86	-0.00102	←		→	-0.00348	7.85	6.64
	13	5.99	6.07	-0.00012	←	↓				
8 JULIO 2006	1, 2	10.47	10.21	0.00093	→	C	←	0.00058	10.05	10.13
	3, 4	9.43	9.37	0.00018	→	A	←	0.00110	9.74	10.30
	5, 6	8.78	9.12	-0.00052	←	U	→	-0.00152	9.28	9.00
	7, 8	8.14	8.19	-0.00036	←	C	←	0.00008	7.95	7.99
	10					E			7.72	
	9	8.12	7.77	0.00052	→	↓				
	11, 12	6.85	7.13	-0.00073	←		→	-0.00264	7.01	6.09
	13	5.19	5.29	-0.00015	←	↓				
12 OCTUBRE 2006	1, 2	10.39	10.27	0.00042	→	C	←	0.00021	10.15	10.18
	3, 4	9.33	9.41	-0.00026	←	A	←	0.00178	9.97	10.88
	5, 6	8.66	9.08	-0.00065	←	U	→	-0.00146	9.42	9.15
	7, 8	7.43	7.45	-0.00016	←	C	←	0.00020	7.30	7.41
	10					E	←	0.00058	6.90	7.30
	9	6.27	7.00	-0.00113	←	↓				
	11, 12	6.34	6.55	-0.00055	←		→	-0.00268	6.46	5.53
	13	4.80	4.79	0.00003	→	↓				
26 MARZO 2007	1, 2	11.23	10.71	0.00187	→	C	←	0.00132	10.40	10.58
	3, 4	10.30	10.20	0.00030	→	A	←	0.00111	10.48	11.05
	5, 6	9.60	9.65	-0.00008	←	U	→	-0.00072	10.00	9.87
	7, 8	8.94	8.83	0.00069	→	C	→	-0.00002	8.49	8.48
	10					E	←	0.00010	8.25	8.32
	9	7.40	8.71	-0.00201	←	↓				
	11, 12	7.73	7.52	0.00056	→		→	-0.00248	7.13	6.27
	13	5.64	5.59	0.00009	→	↓				

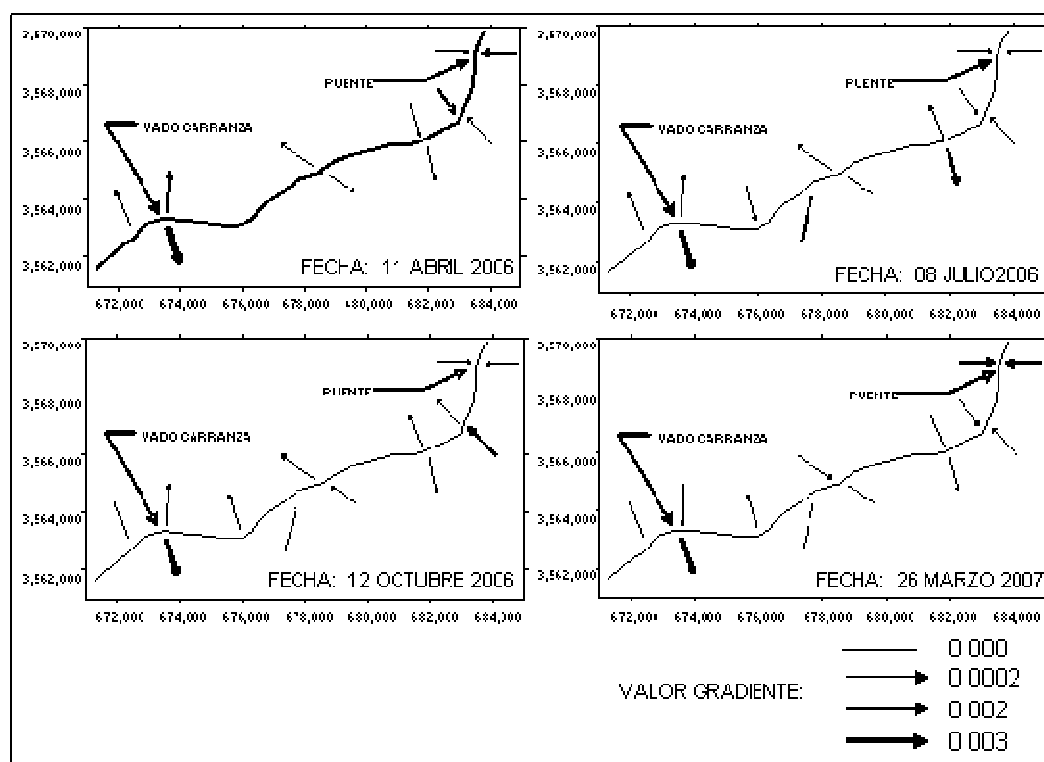


Figura 21. Gradientes y dirección de flujos presentes a lo largo de la zona de estudio

6.3.2 Volúmenes de intercambio cauce del RC-aguas subterráneas

La cuantificación del caudal de intercambio entre cauce y aguas subterráneas se muestra en la figura 22 (gráfico superior), para esta evaluación se ha tomado un valor del parámetro de permeabilidad del suelo constante e igual a 5×10^{-5} m/s, para un estrato superficial de espesor de 4 m. Los volúmenes de intercambio entre cauce del RC y aguas subterráneas son determinados considerando flujos positivos en dirección al cauce del río desde el 8 de junio del 2006 hasta el 13 de junio del 2007. Se presentan los volúmenes de intercambio en cuatro tramos del cauce estudiado. El primer tramo abarca desde el límite aguas arriba de la zona de estudio hasta los primeros 1.5 km, observando que los volúmenes de intercambio en todo el año son positivos (L1). El segundo es el volumen de intercambio en los primeros 6.5 km, en este tramo el RC cede agua al acuífero (L2). El tercer tramo analizado abarca desde los 6.5 km hasta la frontera final (aguas abajo: vado Carranza) en este tramo se observa que el RC pierde agua durante todo el período analizado

(L4).

En la figura 22 (gráfico inferior) se puede observar la elevación promedio del nivel freático de los 27 piezómetros, para cada fecha de mediciones dentro del lapso de tiempo de estas evaluaciones en gráfico inferior el promedio de la elevación del nivel estático de los piezómetros se presenta en metros sobre el nivel del mar. En gráfico superior, se muestran los volúmenes de intercambio cauce-aguas subterráneas desde junio del 2006 a junio del 2007, los números positivos indican que el agua entra al cauce del RC (río ganador) y los negativos que el agua sale del cauce del RC hacia el acuífero (río perdedor).

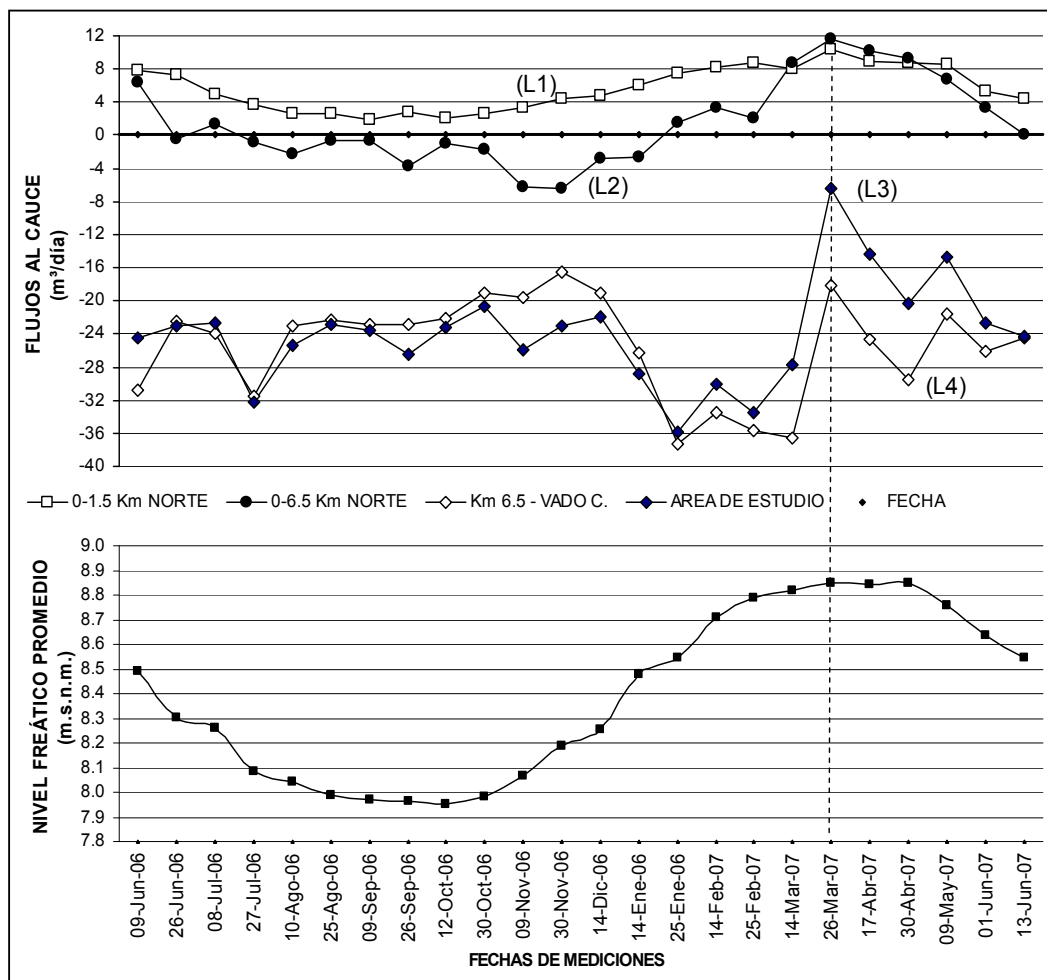


Figura 22. Volúmenes de intercambio entre cauce y aguas subterráneas

6.4 Determinación de caudal ecológico

6.4.1 Perímetro mojado en secciones

Los resultados de la simulación hidráulica del RC obtenida del Hec-Ras (ver apartado 6.1.2), así como la aplicación del programa elaborado, permitió obtener el perímetro mojado de todas las secciones utilizadas. En este apartado se presentan estos resultados para 12 secciones elegidas considerando que presentan cambios mínimos en su topografía actual (datos topográficos de estas 12 secciones se muestran en apéndice B), en Tabla 17 se presentan de forma tabular los valores del perímetro mojado obtenido para cada una de estas secciones bajo los diferentes caudales estudiados. Para esta tabulación ver la relación entre el número ID de cada sección con su ubicación en la zona de estudio en Tabla 3. (Perímetro mojado en la totalidad de las 25 secciones disponibles para el estudio, para caudales de 0.10 a 10 m³/s se presentan en apéndice C)

Tabla 17. Perímetro mojado (en metros) en 12 secciones seleccionadas

Q (m ³ /s)	SECCIONES (ID)											
	2	3	4	5	6	10	12	13	15	18	22	23
0.10	65.05	47.84	28.38	23.98	13.09	89.12	22.18	17.36	44.85	31.69	73.67	59.66
0.20	65.29	49.93	28.60	25.54	13.68	94.08	23.99	17.50	44.96	31.82	74.25	62.80
0.25	65.37	50.57	28.67	26.09	13.90	95.93	25.23	17.54	45.02	31.88	74.48	64.02
0.30	65.46	51.21	28.74	26.53	14.09	97.31	26.47	17.60	45.07	31.94	74.66	65.03
0.40	65.59	52.17	28.87	27.38	14.36	99.73	29.34	17.70	45.17	32.05	75.00	66.86
0.50	65.71	53.13	28.96	28.12	14.59	101.57	31.44	17.78	45.24	32.14	75.30	68.48
0.60	65.80	53.77	29.06	28.83	14.78	103.19	33.72	17.86	45.32	32.22	75.55	69.83
0.70	65.88	54.41	29.13	29.38	14.95	104.11	35.82	17.94	45.39	32.30	75.79	71.14
0.80	65.96	55.04	29.21	29.93	15.13	105.96	37.73	18.02	45.47	32.39	76.00	72.28
0.90	66.05	55.68	29.29	30.40	15.27	107.22	39.54	18.08	45.53	32.45	76.19	121.35
1.00	66.13	56.32	29.34	30.86	15.41	108.38	41.17	18.13	45.58	32.52	76.60	121.36
2.00	66.72	66.02	36.00	37.15	16.67	118.64	53.38	18.71	46.17	33.11	77.22	127.33
3.00	67.77	68.10	44.61	39.00	17.65	127.86	61.49	19.19	46.66	33.62	77.77	132.70
4.00	68.71	69.96	49.18	40.48	18.63	137.30	67.50	19.63	47.09	34.06	78.28	137.52
5.00	69.65	71.83	53.75	42.14	82.33	140.95	182.17	20.04	47.53	34.47	78.76	142.03
6.00	70.17	72.86	55.78	43.07	84.59	143.03	190.62	20.42	47.94	34.85	79.18	146.15
7.00	70.69	73.90	58.32	43.81	86.86	145.11	197.48	20.82	48.34	35.21	79.59	150.03
8.00	71.11	74.73	60.35	44.55	88.37	146.15	204.33	21.18	48.75	35.57	79.96	153.53
9.00	71.53	75.56	62.38	45.29	90.63	147.19	211.18	21.55	49.11	35.91	80.31	185.51
10.00	72.15	98.16	134.9	59.54	92.14	148.24	215.75	21.91	49.51	36.25	80.65	185.85
PERIMETRO MOJADO (m)												

En las figuras 23 y 24 se muestran los gráficos caudal versus perímetro mojado de cada una de las 12 secciones. En estas figuras se muestra el caudal ecológico resultante para cada sección con líneas verticales y de manera horizontal el perímetro mojado correspondiente.

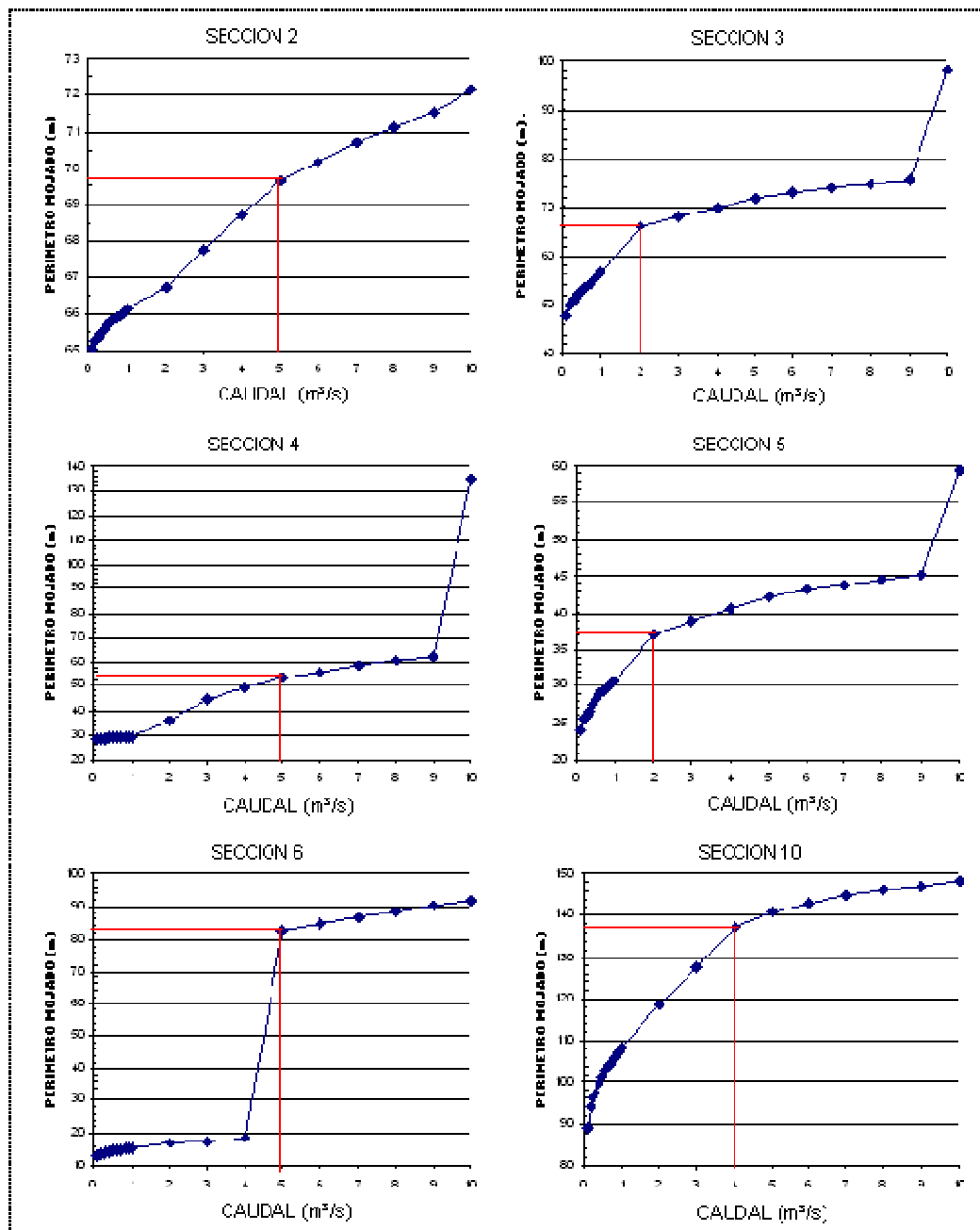


Figura 23. Gráficas caudal-perímetro mojado en secciones 2, 3, 4, 5, 6 y 10

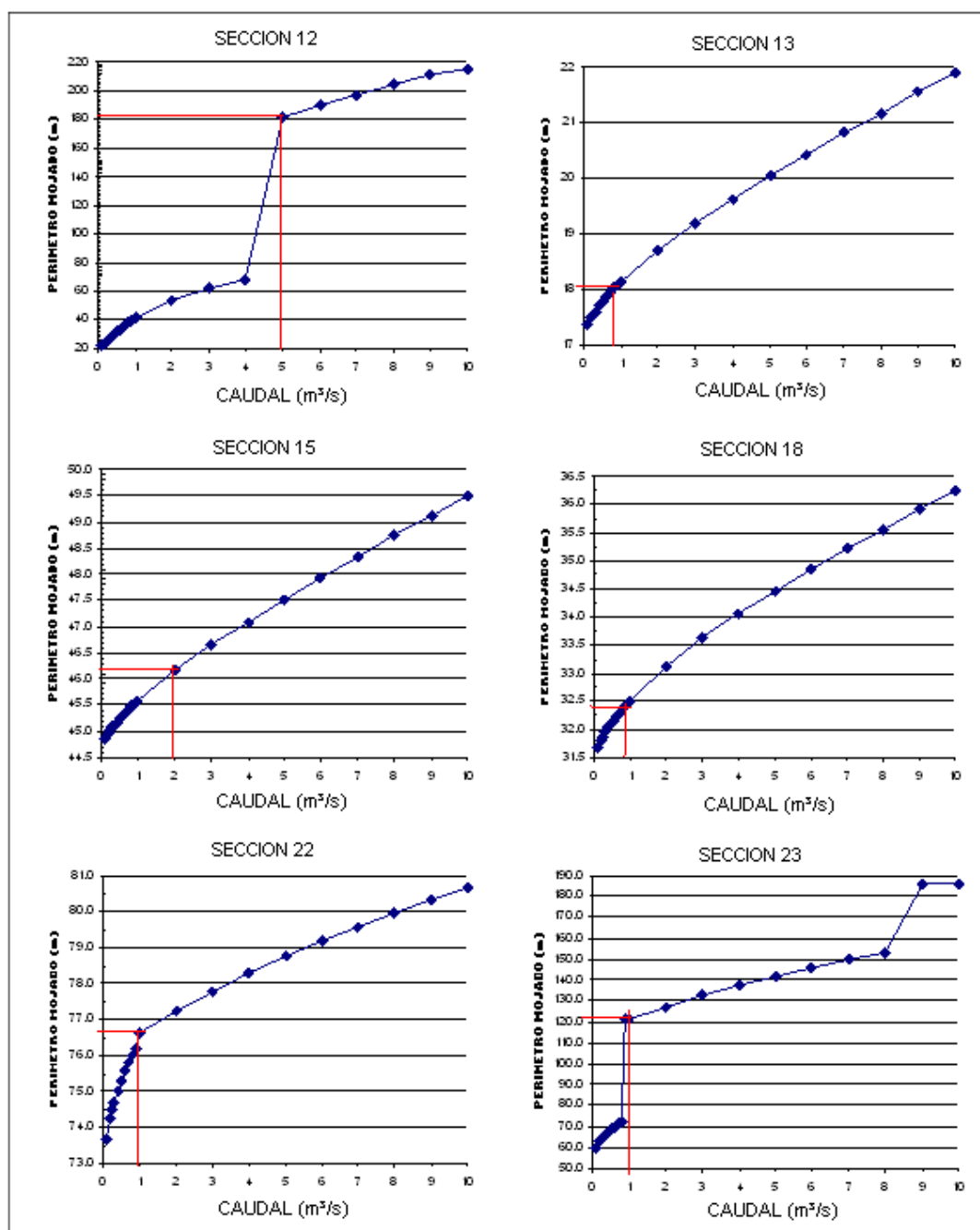


Figura 24. Gráficas caudal-perímetro mojado en secciones 12, 13, 15, 18, 22 y 23

6.4.2 Caudales ecológicos obtenidos

Con base en el método hidráulico del perímetro mojado, referido en capítulo 4 (4.4.5.1), se determinaron los caudales ecológicos en las 12 secciones previamente establecidas, estos resultados se muestran en tabla 19

Tabla 18. Caudales ecológicos evaluados en las 12 secciones seleccionadas

SECCION	Km	Q.E. OBTENIDO m³/s	PERIM. MOJADO (m)	NIVEL m.s.n.m.	TIRANTES MAX. (m) CANALES			
ID					1	2	3	4
2	41+800.00	5.00	69.65	11.320	3.820			
3	42+218.21	2.00	66.02	11.040	1.040			
4	42+200.00	5.00	53.75	11.320	2.220	0.320		
5	42+322.99	2.00	37.15	11.040	0.540	0.540		
6	42+850.00	5.00	82.33	11.100	0.100	0.600		
10	44+947.00	4.00	137.30	11.010	0.510	0.510		
12	46+060.00	5.00	182.17	10.543	0.043	0.543		
13	46+700.00	0.80	18.02	10.044	0.544			
15	48+500.00	0.80	45.47	10.044	1.094			
18	50+200.00	0.80	32.39	10.040	0.544			
22	52+860.00	1.00	76.60	8.554	2.054			
23	53+240.00	0.90	121.35	8.503	0.003	0.503	0.003	1.030
Q.E.= CAUDAL ECOLOGICO								
CAUDAL ECOLOGICO MEDIO 2.59 m³/s								

En apéndice C se presentan las 25 secciones para caudales de 0.10 m³/s a 10 m³/s, conteniendo cada una de ellas para cada caudal: Perímetro mojado, ancho del agua superficial (la suma en caso de varios canales), nivel del agua en esa sección (m.s.n.m.), tirante máximos para cada canal contenido en esa sección. Además se agrega el gráfico correspondiente caudal versus perímetro mojado, determinación del caudal ecológico con base al método del perímetro mojado y se anexa una figura de cada sección indicando el nivel alcanzando para gastos de 0.10, 1.00 y 10 m³/s

CAPÍTULO 7

Discusión

7 Discusión

7.1 Estudio de hidrología superficial

7.1.1 Simulación hidráulica con Hec-Ras

Partiendo de los resultados obtenidos por medio de la simulación hidráulica empleando el programa Hec-Ras para determinar niveles del agua para cada caudal de estudio se deduce que en la totalidad de las 25 secciones utilizadas dentro de la zona de estudio la diferencia promedio de altura de nivel obtenido con incrementos de $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ en flujos de 0.10 a $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ es de 0.021 m con una desviación estándar de 0.005 en las primeras 12 secciones y diferencia promedio de 0.016 m en secciones restantes. El aumento promedio de altura de nivel de espejo de agua obtenido con incrementos de caudal de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ desde 1 hasta $10 \text{ m}^3/\text{s}$ es de 0.054 m en las secciones de la 1 a la 12 con una desviación estándar de 0.011 , mientras que las diferencias en altura de espejo de agua, por cada incremento de caudal de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, de 0.036 m en las secciones topográficas de la número 13 a la 25. A partir de resultados obtenidos por medio de la simulación hidráulica empleando el programa Hec-Ras se obtienen superficies de inundación para flujos de 1 a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ mayores a 567.33 has , lo cual representa un mínimo de 30.8% del área de estudio.

7.1.2 Áreas de inundación

Los resultados obtenidos por medio de la simulación hidráulica empleando el programa Hec-Ras y del programa elaborado para calcular la ubicación de puntos extremos de longitud del agua para cada sección estableciendo una sumatoria de canal principal y secundarios relativos a áreas de inundación para caudales de 1 a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ mostraron diferencias importantes. Estas variaciones estriban en la forma de calcular la superficie inundada. Utilizando programa elaborado permitió efectuar cálculos de áreas de inundación con una mayor precisión. Este estudio comparativo se resume en tabla 20 donde se presentan áreas inundadas para estos flujos, detectándose diferencias mayores a un 300% en estas cuantificaciones.

Tabla 19. Estudio comparativo de áreas inundadas a diferentes caudales

Q m³/s	ESTUDIO ÁREA Has	ZONA ESTUDIO %	HECRAS ÁREA Has	ZONA ESTUDIO %	INCREM. %
1	137.54	7.5	567.33	30.8	412.5
2	143.40	7.8	573.25	31.2	399.8
3	148.22	8.1	575.78	31.3	388.5
4	153.00	8.3	579.22	31.5	378.6
5	169.15	9.2	631.47	34.3	373.3
6	182.65	9.9	614.50	33.4	336.4
7	185.97	10.1	633.74	34.4	340.8
8	188.28	10.2	634.80	34.5	337.2
9	191.48	10.4	742.66	40.4	387.8
10	196.03	10.7	744.67	40.5	379.9

7.2 Estudio de hidrología subterránea

7.2.1 Comportamiento del nivel freático

A partir de resultados obtenidos en las diversas labores desarrolladas en el presente estudio, en lapso de tiempo de abril 1 de 2006 a 31 de marzo de 2007 en la toma periódica de lecturas en piezómetros se obtienen los indicadores siguientes:

- El mayor promedio anual de altura del nivel freático se presentó en piezómetro 1, con una altura promedio de 10.71 m.s.n.m., presentándose en este mismo la mayor altura de los 27 instalados, a fines del mes de marzo, con un nivel 11.23 m.s.n.m. Este resultado era de esperarse ya que se encuentra aguas arriba de la dirección de flujo regional del acuífero y también es parte de la sección más al norte. Por otro lado, la fecha en la que se muestra el nivel más alto corresponde al inicio del riego de las parcelas con cultivo de algodón y los últimos riegos del trigo. No obstante, se esperaría que esta nivel fuera mayor hacia el mes de mayo en que se esta dando el ultimo riego al trigo y todo el algodón esta sembrado.
- El menor promedio de altura del nivel freático se ubicó en piezómetro 24, con una altura promedio anual de 5.24 m.s.n.m., presentándose en este mismo la menor altura, a fines del mes de octubre, con un nivel de 4.78 m.s.n.m. De igual forma que el nivel del piezómetro discutido anteriormente

el piezómetro que registró el nivel mínimo es el esperado, ya que se encuentra en la zona más aguas abajo del acuífero en la dirección del flujo subterráneo. La diferencia de altura alcanza los 6.55 m creando el gradiente correspondiente. A fecha de registro de este nivel mínimo es la esperable ya que el cultivo de algodón llegó a su fin y aún no se siembra el trigo.

- Los 27 piezómetros instalados en la zona de estudio arrojaron un nivel promedio anual del nivel freático de 8.39 m.s.n.m. Este nivel medio es ligeramente superior al nivel medio registrado entre el piezómetro con altura máxima (No.1) y el de altura mínima (No.2) que sería de 8.05 m.s.n.m. Como se observó este nivel medio depende tanto de la aplicación de riegos en las zonas aledañas a la zona riparia como a la presencia de agua en el cauce del RC por el vertido de escurrimientos extraordinarios en su cauce.
- El piezómetro 17 presentó en ese estudio anual el mayor rango de variabilidad en su nivel (3.06 m). Los dos procesos reseñados en el párrafo anterior son los responsables de que estas variaciones en los niveles del acuífero sean tan variables y se observen intervalos de variación amplios como es el caso del piezómetro 17, el cual se encuentra muy alejado del canal principal del RC pero también de la zona agrícola ya que en este margen a la altura de este pozo, la zona agrícola se encuentra ligeramente más alejada.
- Piezómetro 3 presentó la menor variación anual (0.12 m), coincidentemente este pozo presentó la mayor altura de brocal, (15.272 m.s.n.m.). Por su parte este piezómetro está ubicado en el margen izquierdo del RC aguas arriba de la vía del ferrocarril y más próximo al canal principal del RC que el piezómetro 4 de esta misma sección. La variación en este piezómetro es mínima porque el canal del RC en esta zona siempre está inundado y su nivel en general permanece constante.
- El mayor promedio de alturas del nivel estático de la totalidad de los 27 piezómetros se presentó a principios del mes de abril, con 8.911 m.s.n.m. Esta fecha corresponde al inicio de los riegos del cultivo de algodón y los

riegos finales de trigo, es de esperar que en este mes se observe un aumento en el nivel freático en todo el Valle de Mexicali.

Partiendo del estudio de las 8 secciones (figura 13), conformadas por los 27 piezómetros, en un lapso de tiempo comprendido en este estudio, es importante anotar que los niveles máximos en las 8 secciones se presentaron en fechas muy similares entre los últimos días del mes de abril y los primeros del mes de marzo. No obstante, la altura mínima del nivel piezométrico fue más variable en cada uno de los piezómetros, mostrándose de la manera siguiente:

Secciones 1 y 2 a inicios del mes de agosto. Estas secciones se encuentran aguas arriba de la zona de estudio y son las primeras en reducir la elevación del nivel freático. Por su parte las secciones 3 y 5 reducen su nivel de agua subterránea al mínimo durante el mes de septiembre. Finalmente las secciones 6,7 y 8 en el mes de octubre. Esto muestra que la reducción del nivel freático se desplaza paulatinamente en dirección del flujo de agua del acuífero. Este comportamiento no se cumple para la sección 4 que se adelanta en reducir su nivel de agua a la sección 5 reduciéndolo el mes de octubre.

7.2.2 Estudio del suelo

El análisis de 187 muestras extraídas en una primera etapa de estudio, en la que la elección de los sitios fue de forma totalmente aleatoria, los suelos imperantes en la zona de estudio mostraron que 38 % correspondieron a suelos franco-arenosos, un 21.4 % Franco-limosos y 50.6 % son de diversa clasificación. La composición promedio mostró que los suelos, poseen en promedio un 54 % de arena, 31 % limos y 15 % de arcillas. Esto nos indica que se trata de suelos formados con mediana energía y poseen permeabilidades altas.

La segunda etapa de recolección de muestras de suelo, colectadas en zonas con intereses de restauración o conservación se observa que: El primer estrato estudiado (profundidad de 0.20 m) posee una composición promedio de 69 % arena, 20 % limos y 11 % arcillas. Mientras que las obtenidas a la profundidad del nivel freático se observó una composición promedio de 74 % arena, 16 % limos y 10 % arcillas. Es decir a mayor profundidad el porcentaje de arenas aumentó.

El valor de permeabilidad asignado a estos suelos necesaria para la aplicación de la

Ley de Darcy (De Marcily, 1981), fue de 5×10^{-5} m/s, el cual se ha considerado constante como un promedio de resultados basados en texturas de suelos obtenidas, los ensayos de permeabilidad a carga constante realizados en el laboratorio y en los reportados en la literatura investigada.

7.2.3 Relación acuífero-río

Las mediciones del nivel estático a lo largo de perfiles en la zona riparia del RC en la zona de estudio, el análisis de la textura de suelo y las observaciones del nivel de agua en el cauce del RC a lo largo del cauce estudiado, así como la estimación de los gradientes estimados para cada una de las secciones de piezómetros, se deduce lo siguiente:

- Los gradientes que se presentaron en fecha día 11 de abril (fecha en que se presentó la mayor elevación del nivel freático) en líneas de estudio de flujos subterráneos 1 y 2 (ver figura 14) fueron de 0.00191 y 0.0017, respectivamente. En ambas líneas el sentido fue en dirección al cauce del río, confirmando que el RC estaba siendo alimentado por la percolación del agua de riego de las parcelas adyacentes en la parte norte de la zona de estudio.
- De igual forma en las 3 fechas restantes estas 2 líneas de flujos (1 y 2), se observó gradientes en dirección perpendicular y en sentido al cauce. Los gradientes totales fueron de 0.000151, (8 de julio), 0.00063, (12 de octubre) y 0.00319, (26 de marzo).
- El mismo comportamiento de alimentación directa del RC por la percolación de agua del acuífero se observó en las líneas de flujos 3 y 4 presentaron un gradiente total en dirección y sentido al cauce en cada una de esas fechas, siendo estas sumas respectivamente; 0.0028, 0.0013, 0.0015 y 0.00141.
- Las líneas de estudio de flujos 5 y 6 presentaron una suma de gradientes con resultado negativo con un promedio en esas fechas de 0.00124, con lo cual se deduce que en estas líneas se presentan flujos del cauce hacia las márgenes del río en estas 4 fechas.
- Líneas de estudio de flujos 7 y 8 presentaron una suma de gradientes con

resultado negativo en las 2 fechas primeras con un promedio de 0.0003, presentaron una suma positiva en las 2 fechas restantes con un promedio de 0.00035

- Las líneas de estudio de flujos 11 y 12 presentaron una suma de gradientes con resultado negativo con un promedio en esas fechas de 0.00326, con lo cual se deduce que en estas líneas también se presentan flujos del cauce hacia las márgenes del río en estas 4 fechas. Es decir se trata de un río perdedor que transfiere agua de su cauce al acuífero, con lo cual se observará agua que está siendo conducida por el cauce pero que paulatinamente se percolará en el lecho del RC. Esta zona del RC se observa la mayor parte del tiempo sin agua en su cauce y sólo cuando hay suficiente agua de percolación o bien escurrimientos extraordinarios en el RC se observa agua en su cauce.

En el análisis de esta dependencia de ambos cuerpos de agua, tanto el acuífero como el río se enfocó el estudio, dado que no si bien ya había sido reportado por (Pérez, 2006) no existían estudios que cuantificaran los volúmenes de agua en ese intercambio. Dada la escasa disponibilidad de agua y la creciente reducción de flujos extraordinarios en el RC por el excedente de agua en los Estados Unidos, el aporte de agua desde el acuífero hacia el lecho del RC y la consecuente elevación del nivel freático en la zona riparia son elementos de suma importancia para establecer acciones de restauración en el sitio demostrativo. Con este estudio se demostró que el acuífero constituye un elemento vital en la disponibilidad de agua en la zona de estudio. A su vez, el riego de las parcelas adyacentes al cauce aumenta la disponibilidad de agua en la zona riparia y en la temporada de mayores superficies regadas lo que le da un carácter cíclico semianual.

La determinación de los gradientes de agua subterránea en las parejas de pozos permitió conocer los movimientos del agua en el acuífero en las proximidades del río: por su parte, al aplicar la ley de Darcy (De Marcily, 1981), se consideró gradiente positivo si el flujo era en dirección al cauce y en caso contrario negativo. La diferencia resultante de caudal indica flujo de “ganancia” para el RC gradiente positivo. En la parte norte de la zona de estudio se presentan las mayores entradas de aguas subterráneas al cauce debido a la

existencia de una mayor superficie de siembra en parcelas a ambos márgenes del río. En zona sur el cauce pierde cantidades considerables de agua de su cauce, lo cual puede ser ocasionado por la topografía más baja en ambas márgenes.

7.3 Determinación de caudal ecológico

Ante la imposibilidad de aplicar otras metodologías existentes por la falta de estudios del hábitat ripario natural anterior al control del RC en territorio mexicano se aplicó el método del perímetro mojado. Esta metodología requiere información que pudo ser recopilada en este trabajo y en estudios previos y que pudo ser utilizada con este fin. La consideración de un caudal de 2.59 m³/s como el caudal ecológico promedio obtenido en las 12 secciones topográficas disponibles (ver tabla 24), está basado en el criterio de mayor perímetro mojado con caudal mínimo para las secciones con mayor representatividad y de menores cambios en su geometría. Estas secciones son de la 2 (primera dentro de la zona de estudio), a la 6, así como la 10, 12, 13, 15, 18, 22 y la 23, algunas de estas secciones presentan resultados muy particulares tales como:

- Las secciones 4, 5 y 10 presentaron dos canales de conducción de agua, un canal principal y un secundario de menor sección, para todos los caudales simulados con el HecRas que abarcaron desde 0.10 hasta 10 m³/s.
- En las secciones 6 y 12 a partir del caudal ecológico (5 m³/s) el cauce del río empieza a formar un canal secundario.
- La sección 23 a partir del caudal ecológico (0.90 m³/s), pasa de canal único a formar 3 canales secundarios. Esta sección se ubica aproximadamente en el sitio del Vado Carranza, en dicha zona donde se ha modificado significativamente la topografía del lugar, para la construcción del vado y se ha formado una poza en la que descargan los tubos colocados debajo de la vialidad.
- Las secciones restantes presentaron únicamente un canal principal en su cauce para todos los flujos de trabajo en la evaluación del caudal ecológico.

El caudal ecológico en estas 12 secciones fue obtenido con la utilización del programa Hec-Ras mediante el cual se determinó el perímetro mojado y el nivel del agua

para cada uno de los diferentes flujos estudiados (de 0.10 a 10 m³/s) no obstante, la aplicación del programa de cómputo elaborado en este trabajo permitió afinar la estimación del perímetro mojado dada la superficie inundada y presentar resultados más confiables para la geometría del RC establecida.

CAPÍTULO 8

Conclusiones

8 Conclusiones

Partiendo de los resultados obtenidos y presentados y de su discusión con estudios similares revisados en la literatura se obtuvieron las siguientes conclusiones:

8.1 Hidrología superficial

Se concluye que los flujos existentes en el tramo de cauce estudiado son debidos a la infiltración de los drenajes parcelarios adyacentes en ambas márgenes y de transferencia directa del acuífero a dicho cauce. Esta alimentación ocurre principalmente en la parte norte de la zona de estudio, lo cual se comprueba por gradientes cuantificados en sección de pozos número 1, conformada por los piezómetros 1 al 4, y las líneas de flujo 1 y 2, las cuales presentan gradientes en dirección al cauce con una magnitud promedio de 0.0022 durante el primer año de estudio, (octubre 2005 a septiembre 2006) mientras que durante todo el período de tiempo del estudio (incluyendo hasta octubre de 2007), el gradiente promedio fue de 0.0016.

De igual manera se concluye que el cauce es alimentado por el acuífero en la sección de pozos 2, conformada por los piezómetros 5 al 8, y las líneas de flujo 5 y 6: así mismo, el gradiente es positivo en ambos costados con un valor promedio de 0.0016 durante ese primer año de estudio, (octubre 2005 a septiembre 2006) y un valor de 0.001 para todo el período de estudio.

Para las secciones 3, 4 y 7 el sentido del flujo es desde el cauce del RC hacia el acuífero mostrando una pérdida de agua del río. Esta pérdida de agua se observa en el sitio con la ausencia de agua sobre el cauce la mayor parte del año. El gradiente promedio obtenido para las secciones durante todo el estudio es de -0.0016, -0.0002 y -0.0028 respectivamente.

La información topográfica utilizada en este trabajo corresponde a los años 1993 y 1994, fecha desde la cual no se han obtenido levantamientos topográficos actualizados. Por los cambios que ha sufrido el cauce del río es preciso llevar a cabo un levantamiento topográfico actual para definir con mayor precisión las zonas inundadas actuales. Particularmente en donde se desee efectuar alguna actividad de conservación o restauración de la zona riparia.

8.2 Estudio del suelo

A partir de los resultados obtenidos en lo referente a texturas de los suelos en zona de estudio se concluye que predominan los suelos de textura franco-arcilloso (38 % del total de muestras), disminuyendo con la profundidad. Por su parte los suelos con textura franco-limoso (21.4 % de muestras) son también abundantes sin embargo, estos aumentan con la profundidad.

La composición promedio de los suelos es del 58% de arena, 28 % limos y 14 % de arcilla, por lo que según estudios reportados en la literatura podría asociarse una permeabilidad de 5×10^{-5} m/s (Custodio et. al, 1983).

8.3 Estudio del nivel freático

El comportamiento del nivel freático durante los dos años reportados en los 27 piezómetros instalados en la zona de estudio fue cíclico-anual, presentándose los mayores niveles a fines del mes de marzo, (lapso de tiempo de estudio base, 11 de abril de 2006 a 26 de marzo de 2007), alcanzando un nivel promedio de 10.731 m.s.n.m. en piezómetros ubicados al norte de zona (1 al 4, cercanos al puente ferroviario), y un nivel promedio de 7.297 m.s.n.m. en los 4 piezómetros (22 al 25) ubicados en cercanías del Vado Carranza al sur de la zona de estudio. Presentándose las mínimas elevaciones del nivel freático a mediados del mes de octubre con un nivel medio de 10.249 m.s.n.m. en piezómetros 1 al 4 y un nivel promedio de 6.217 m.s.n.m. en piezómetros 22 al 25 (cercanos al Vado Carranza).

Por estudio realizado para determinar el comportamiento del nivel freático (lapso de tiempo de estudio base, 11 de abril de 2006 a 26 de marzo de 2007), se concluye que en zona donde se ubican piezómetros 1 al 4 (ver figura 12) existe una constante alimentación al cauce dado que estas línea de estudio de flujo (líneas 1 y 2, ver figura 14) presentaron de manera invariable dirección contraria, pero con rumbo al cauce durante ciclo de estudio, presentando promedios de niveles observados en este lapso de tiempo de 10.771, 10.397, 10.197 y 10.295 m.s.n.m. respectivamente con las menores desviaciones estándar de la totalidad (27) piezómetros instalados en esta zona de estudio con valores respectivos de 0.284, 0.169, 0.129 y 0.162, observándose un promedio de 0.457 de desviación estándar en restantes 23 piezómetros.

8.4 Relación aguas subterráneas-cauce

En la interrelación aguas subterráneas-cauce en lo referente a volúmenes de agua en intercambio, se concluye que sin la existencia de un cauce natural alimentador de aguas superficiales al sitio demostrativo y sin este intercambio, el flujo definitivamente sería prácticamente nulo. Las mediciones del nivel piezométrico y nivel de agua en el cauce permite concluir que la presencia de agua en el cauce del RC en la zona de estudio se debe exclusivamente a la aportación de agua desde el acuífero.

El aumento de caudal y niveles del agua superficial en el cauce del RC en fechas coincidentes con los tiempos de riego en parcelas adyacentes en la parte norte de la zona de estudio permiten concluir que existe un drenaje parcelario subterráneo de excedencias de riego natural.

La existencia permanente, durante los 2 años de estudio, de la dirección de flujo subterráneo en dirección al cauce en las secciones denominadas 1 y 2 aún sin existencia de riegos en parcelas cercanas a la zona de estudio se concluye que el caudal se incrementa debido a una alimentación directa proveniente del acuífero en esa porción de área ubicada al norte de zona de estudio.

Se concluye que los volúmenes alimentadores del cauce dentro de la zona de estudio provenientes de demasías en riegos y drenaje parcelario en parcelas agrícolas adyacentes a la zona de estudio, estos volúmenes dependen del tipo de cultivo, de los tiempos de aplicación y de la superficies de siembra, concluyéndose que el comportamiento del manto freático dentro de la zona de estudio depende principalmente de esta alimentación, de cedencia de volúmenes de agua del acuífero al cauce y de extracciones en zonas aledañas por sistemas de pozos instalados, este comportamiento cíclico marca una base para investigaciones posteriores en apoyo a programas de restauración y mantenimiento en el sitio demostrativo.

8.5 Caudal ecológico

Se concluye que el método del perímetro mojado prácticamente es la metodología mas factible a utilizar para la determinación de un caudal ecológico para el sitio demostrativo, debido a la carencia de estudios formales del hábitat natural.

En la determinación de un caudal ecológico base por resultado obtenido de 2.59 m³/s como promedio de 12 principales secciones representativas de la zona de estudio, se

concluye que este flujo relativamente es menor a los determinados con otras metodologías para similares ríos en el mundo. Considerando que la principal problemática del RC en territorio mexicano es la escasez del agua, un caudal pequeño podría ser abastecido con mayor facilidad, el cual cubriría las mínimas expectativas.

CAPÍTULO 9

Referencias

9 Referencias

- Canales, E.A., 1989, Hidrología Subterránea, Instituto Tecnológico de Sonora, Dpto. de Ingeniería Estructural e Hidráulica, Sonora, México, pág. 125
- Chávez, G.R., 1987, Conceptos Básicos Relativos al Estudio del Agua Subterránea. Universidad Autónoma de Chapingo, Imprenta Universitaria, Chapingo, Estado de México.
- Comisión Nacional del Agua, 1995, Levantamiento topográfico de secciones transversales del Río Colorado durante 1993 y 1994. Reporte Interno.
- Custodio E. y Llamas M. R., 1983, Hidrología Subterránea, Tomo I, Ediciones Omega, Barcelona , pág. 471
- Davis, S.N., De Weist, R.J.M., 1966, Hidrogeology, Jhon Wiley & Sons Inc., New Cork-London-Sidney, pág. 164
- De Marsily, G., 1981, Quantitative Hidrogeology, Academic Press, Inc., San Diego California, pág. 78
- Díez-Hernández y Burbano, 2006. Advanced techniques for evaluating instream flows in sustainable watershed management. Ing. Investig. Jan./Apr. 2006, vol.26, no.1
- Díez J.M. y Martínez, A., 2003, directrices para la modelación hidráulica de caudales ambientales mediante la metodología IFIM, Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología, Universidad de Valladolid. ETS. Ingenierías Agrarias, Palencia (España).
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J., 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales Tr. José María Blanch. San José, C.R.: UICN-ORMA. xiv
- Faulkner, T., 1999, Grupos comunitarios marcan la agenda para la conservación del delta del río colorado, Borderlines 52 (volumen 7, número 1, enero 1999)
- Froelich, D., 1998, FESWMS-2DH Finite Element Surface-Water Modeling System: Two-Dimensional Flow in a Horizontal Plane, Kentucky, USA.
- García de J. D. y González del T. M, 2003, El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles, Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Glenn, E.P., 1999. Status of Wetlands Supported by Agricultural Drainage Water in the Colorado River Delta, Mexico. Hortscience, vol. 34(1), February 1999
- Hays, R., 1997. El Delta del Río Colorado: Al Borde de un Futuro Sustentable, borderlines 38, volumen 5, número 8, noviembre 1997.
- Hinojosa, H.O., De Stefano, S., Carrillo, G.Y., Shaw, W.W. y Valdés, C.C., 2004. Waterbird communities and associated wetlands of the Colorado River delta,

- México. Studies in Avian Biology: Vol. 27, No. 1, pp. 52–60.
- Hinojosa, H.O., Carrillo, G.Y, Valdés, C.C., Zamora, A.F., Glenn, E.P. y M. Briggs, M., 2005. Oportunidades de conservación en los humedales del delta del río colorado, Baja California y sonora, México, aimac, ensenada, UABC.
- Instituto Tecnológico de Sonora, (ITSON), 1985, Manual de Apuntes de hidrología superficial, Dpto. de Ingeniería Estructural e Hidráulica.
- Jaime, P.A., 2003. Régimen Ecológico para el Río colorado, Comisión Nacional del Agua.
- Linsey, R.K., 1986. Hidrología para Ingenieros, segunda edición, Mc Graw Hill, México, pág. 164
- List, M.A., 1987. Recolección, Procesamiento e Interpretación de los Datos Relativos a los Niveles de Agua, Universidad Autónoma de Chapingo, Imprenta Universitaria, Chapingo, Estado de México.
- Llamas, J., 1989. Hidrología General, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.
- LLopis, Ll.N., 1970. Fundamentos de Hidrología Cárstica, Editorial Blume, Madrid, España.
- Martínez, C.F., 2002. Preferencias de Microhábitat de *Barbus bocagei*, *Chondrostoma polylepis* y *Leuciscus pyrenaicus* en la cuenca del río Tajo, tesis doctoral, E.T.S. Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Mayo, R.M., 2000. Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos, adaptación del método IFIM-PHABSIM y aplicación a los ríos españoles, tesis doctoral, departamento de ingeniería forestal, Escuela técnica superior de ingenieros de montes, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Mijailov, L., 1989. Hidro-Geología, Editorial MIR Moscú, 1985, Traducción al español por T. Velásquez, pág. 145
- Nagler, P.L., 2004. Regeneración de Árboles Nativos en Presencia de la Invasora *Tamarix ramosissima* en el Delta del Río Colorado, México, Society Conservation Biology.
- Navejas, D.R., 2000. Cuando el agua llegó al valle, Revista Calafia, Volumen X, número 4, enero-junio de 2000
- Nelly, M., 2001. Controversias binacionales sobre el abastecimiento de agua, borderlines 83, volumen 9, número 10, noviembre 2001.
- Pérez G. D., 2006. Variación del nivel freático en la vega del Río Colorado entre el ferrocarril y el vado Carranza, BC, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California.
- Pérez G. D., 2008. Interacción Hidrodinámica del Río Colorado y el Acuífero del Valle de

- Mexicali en el Tramo FFCC. – Vado Col. Carranza, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California.
- Pitt, J., 2003. En Estados Unidos continuarán desarrollándose proyectos hídricos y los flujos al delta seguirán disminuyendo, Sonoran Institute.
- Pulido, C.J., 1978. Hidrogeología Práctica, Urmo S. A. de Ediciones, España.
- Quesada A N., 2007. Simulación hidráulica del río Colorado en el tramo sobre terreno mexicano para estimar su caudal ecológico. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería, UABC.
- Ramírez, H.J., , 2005. Interrelación Hidráulica Acuífero-Río Colorado, México, como base para la restauración de su hábitat ripario, resultados preliminares, Unión Geofísica Mexicana 2005, Inst. de Ingeniería, UABC - Sonoran Institute - Universidad de Alcalá. Pto. Vallarta, México.
- Reyes, J.M., Martínez, D., 2002. El futuro de la vegetación de México, Elementos No. 47, Vol. 9, Septiembre - Noviembre, 2002, Página 45
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (SAGARPA), 2005. Conapesca, normas 2005
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, (SEDUE), 1991. Gaceta Ecológica, Vol. III, No.15, Mayo de 1991
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca-Instituto Nacional de Ecología, (SEMARNAP-INE), 2005. Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), 1987. Geohidrología, Imprenta Universitaria, Chapingo, Estado de México, pág. 10
- Valdés, C.C., Glenn, E.P., Hinojosa, H.O., Carrillo, G.Y., García, H.J., Zamora, A.F., Muñoz, V.M., Briggs, C.M., Chavarría, C.E., Riley, D.J., Baumgartner, y Congdon C., 1998. Wetland management and restoration in the Colorado River delta: the first steps. CECARENA – ITESM Campus Guaymas, Guaymas, Sonora, México.
- Vásquez, O.J., 2003. Modelación Numérica en Hidráulica,
- Ven Te Chow, 1993, Hidrología Aplicada, McGraw-Hill, Colombia.
- Zamora, A.F., Pitt, J., Cornelius, S., Glenn, E., Hinojosa, H., Moreno, M., García, J., Nagler, P., De la Garza, M., Parra I. 2004. Conservation Priorities in the Colorado River delta, Mexico and the United States. Prepared by the Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste Dirección de

- Conservación Sonora, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) and World Wildlife Fund-Gulf of California Program. 103 pp.
- Zamora, A.F., Nagler, P., Briggs, M., Radtke, D., Rodriguez, H., García, J., Valdes, C., Huete, A., y Glenn, E., 2001. Regeneration of native trees in response to flood releases from the United States into the delta of the Colorado River, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 49:163-171. doi:10.1006/jare.2001.0840.

APÉNDICE A

LOCALIZACION DE SITIOS DE MUESTREO (ETAPAS I Y II)

A-1. UBICACIÓN DE MUESTRAS EXTRAÍDAS DE SUELOS

(Sistema UTM, Datum NAD 1927, coordenadas en metros)

ETAPA I

ID	X	Y	ID	X	Y	ID	X	Y
0	3,564,246	677,404	30	3,567,835	683,476	60	3,564,670	678,082
1	3,563,201	674,556	31	3,566,184	682,942	61	3,565,023	678,682
2	3,565,603	681,016	32	3,566,547	683,637	62	3,564,765	678,490
3	3,566,464	682,868	33	3,566,290	682,687	63	3,564,889	678,658
4	3,565,349	681,000	34	3,566,156	682,527	64	3,564,727	678,541
5	3,565,205	678,425	35	3,566,245	682,905	65	3,564,617	678,278
6	3,563,531	676,322	36	3,566,299	682,735	66	3,564,757	678,420
7	3,565,238	680,512	37	3,567,802	683,536	67	3,564,551	678,194
8	3,564,190	675,574	38	3,566,038	682,295	68	3,564,704	678,746
9	3,564,957	677,334	39	3,567,269	683,679	69	3,564,672	678,680
10	3,564,160	676,430	40	3,567,576	683,733	70	3,564,596	678,490
11	3,566,000	681,808	41	3,565,872	682,181	71	3,564,698	678,560
12	3,566,222	681,779	42	3,567,761	683,665	72	3,564,497	677,974
13	3,564,639	676,550	43	3,565,849	682,191	73	3,564,560	678,513
14	3,562,864	675,610	44	3,567,192	681,602	74	3,568,486	683,225
15	3,564,360	677,480	45	3,565,603	678,733	75	3,568,404	683,212
16	3,565,802	680,323	46	3,567,488	682,156	76	3,568,530	683,263
17	3,563,796	673,930	47	3,566,789	681,401	77	3,568,561	683,265
18	3,563,090	675,430	48	3,566,362	681,084	78	3,568,542	683,221
19	3,566,920	682,979	49	3,565,758	678,925	79	3,563,069	673,821
20	3,564,028	676,422	50	3,565,843	679,173	80	3,563,102	673,698
21	3,563,238	675,443	51	3,567,298	682,233	81	3,563,167	674,132
22	3,565,581	679,499	52	3,565,752	679,503	82	3,563,072	674,085
23	3,564,853	677,750	53	3,566,469	680,658	83	3,563,087	673,753
24	3,563,510	676,087	54	3,566,357	680,109	84	3,563,477	673,991
25	3,567,242	682,826	55	3,566,935	681,868	85	3,563,486	674,095
26	3,564,230	678,336	56	3,567,487	682,332	86	3,563,571	673,628
27	3,566,176	681,600	57	3,566,241	681,520	87	3,563,458	673,846
28	3,567,976	683,720	58	3,567,048	682,078	88	3,563,618	673,740
29	3,567,052	683,593	59	3,564,699	678,351			

A-2. UBICACIÓN DE MUESTRAS EXTRAÍDAS DE SUELOS

(Sistema UTM, Datum NAD 1927, coordenadas en metros)

ETAPA II

ID	X	Y	ID	X	Y
91	3,566,610	680,682	134	3,566,617	680,586
98	3,566,636	680,554	136	3,566,579	680,718
101	3,566,689	680,614	137	3,566,554	680,526
103	3,566,671	680,826	139	3,566,662	680,577
104	3,566,581	680,861	140	3,566,541	683,076
110	3,566,795	680,797	145	3,566,554	683,130
111	3,566,718	680,670	147	3,566,578	683,089
113	3,566,639	680,710	149	3,566,585	683,321
114	3,566,783	680,668	151	3,566,591	683,402
115	3,566,647	680,868	153	3,566,482	683,005
117	3,566,767	680,795	154	3,566,476	682,944
118	3,566,715	680,768	155	3,566,667	683,382
119	3,566,604	680,803	157	3,566,497	683,005
122	3,566,543	680,576	159	3,566,554	683,278
123	3,566,587	680,649	160	3,566,631	683,294
125	3,566,539	680,808	164	3,566,648	683,348
126	3,566,712	680,544	165	3,566,603	683,184
129	3,566,544	680,673	166	3,566,449	682,965
131	3,566,656	680,501	168	3,566,475	683,071
133	3,566,648	680,680	169	3,566,582	683,249

APÉNDICE B

DATOS TOPOGRÁFICOS SECCIONES SELECCIONADAS PARA DETERMINAR CAUDAL ECOLOGICO

Apéndice B

B-1. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 2

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0	18.93	45	152.68	14.96	89	240.73	8	133	291.35	13	177	467.21	19.5	221	739.38	13.5
2	0.15	18.91	46	152.96	14.97	90	243.54	8.46	134	293.41	13.45	178	467.90	19.50	222	739.50	13.50
3	2.63	18.50	47	153.67	15.00	91	243.77	8.50	135	293.61	13.50	179	476.82	19.50	223	739.55	13.50
4	4.89	18.50	48	156.16	15.00	92	243.98	8.53	136	298.23	13.96	180	479.29	19.50	224	744.05	13.77
5	5.77	18.50	49	171.99	15.00	93	246.81	9.00	137	298.61	14.00	181	481.72	19.50	225	744.45	13.80
6	9.37	18.93	50	172.28	14.90	94	247.06	9.04	138	298.81	14.02	182	481.83	19.50	226	747.85	14.00
7	9.99	19.00	51	173.39	14.50	95	249.84	9.50	139	303.25	14.50	183	488.33	19.00	227	748.16	14.02
8	13.46	19.41	52	174.51	14.10	96	252.63	9.96	140	306.58	14.98	184	488.34	19.00	228	756.16	14.50
9	14.22	19.50	53	174.66	14.05	97	252.88	10.00	141	306.72	15.00	185	490.15	18.50	229	759.83	14.98
10	14.36	19.50	54	174.80	14.00	98	253.49	10.00	142	306.93	15.03	186	490.17	18.50	230	760.02	15.00
11	16.91	19.50	55	175.43	13.98	99	255.66	10.00	143	310.20	15.50	187	492.29	18.00	231	760.13	15.00
12	28.27	19.50	56	175.49	13.98	100	257.55	9.59	144	310.45	15.54	188	492.31	18.00	232	762.36	15.00
13	38.95	19.50	57	199.08	13.58	101	257.99	9.50	145	313.39	16.00	189	494.44	17.50	233	790.56	15.00
14	39.04	19.50	58	203.43	13.50	102	259.94	9.08	146	313.63	16.06	190	499.65	17.01	234	802.63	14.54
15	39.33	19.50	59	203.69	13.42	103	260.32	9.00	147	315.57	16.50	191	499.72	17.00	235	804.02	14.50
16	39.51	19.50	60	204.99	13.00	104	260.62	8.93	148	316.82	16.79	192	507.58	16.50	236	815.52	14.50
17	52.83	19.50	61	206.13	12.63	105	262.45	8.50	149	317.50	16.94	193	507.67	16.50	237	815.79	14.50
18	66.65	19.50	62	206.54	12.50	106	264.10	8.07	150	317.75	17.00	194	515.84	16.00	238	827.95	14.78
19	70.62	19.50	63	206.80	12.41	107	264.38	8.00	151	317.84	17.00	195	515.93	16.00	239	838.99	14.81
20	70.88	19.50	64	208.10	12.00	108	265.25	7.78	152	318.29	17.00	196	516.03	15.99	240	839.19	14.81
21	71.69	19.43	65	210.14	11.58	109	266.32	7.50	153	324.65	17.00	197	524.26	15.50	241	843.58	14.86
22	76.99	19.00	66	210.77	11.50	110	266.36	7.50	154	342.48	17.46	198	532.64	15.01	242	870.51	14.81
23	77.53	18.95	67	213.86	11.08	111	266.54	7.50	155	344.30	17.49	199	532.79	15.00	243	895.87	14.50
24	83.10	18.50	68	214.29	11.00	112	267.77	7.77	156	344.53	17.50	200	546.49	14.50	244	896.22	14.50
25	88.68	18.04	69	214.52	10.89	113	268.84	8.00	157	361.16	17.99	201	546.66	14.50	245	935.88	14.50
26	89.21	18.00	70	215.37	10.50	114	269.17	8.07	158	361.37	18.00	202	578.96	14.00	246	939.77	14.50
27	89.94	17.98	71	215.69	10.35	115	271.15	8.50	159	361.47	18.02	203	579.16	14.00	247	940.42	14.50
28	90.43	17.97	72	216.44	10.00	116	271.43	8.56	160	364.44	18.50	204	654.44	14.00	248	940.58	14.50
29	104.97	17.50	73	216.80	9.83	117	273.45	9.00	161	367.41	18.98	205	654.52	14.00	249	940.87	14.50
30	105.35	17.45	74	217.51	9.50	118	273.70	9.06	162	367.51	19.00	206	655.90	14.00	250	961.27	14.50
31	108.83	17.00	75	218.35	9.17	119	275.75	9.50	163	369.49	19.32	207	656.02	14.01	251	963.83	14.50
32	109.34	16.93	76	218.87	9.00	120	276.18	9.60	164	370.58	19.50	208	656.30	14.01	252	989.03	14.50
33	109.38	16.93	77	221.56	8.57	121	277.65	10.00	165	370.64	19.50	209	658.64	14.04	253	992.82	14.50
34	112.68	16.50	78	222.02	8.50	122	278.29	10.40	166	370.67	19.50	210	691.93	14.45	254	992.86	14.50
35	115.68	16.07	79	224.72	8.07	123	278.46	10.50	167	371.42	19.50	211	692.13	14.45	255	1,014.49	14.50
36	116.15	16.00	80	225.18	8.00	124	279.15	10.93	168	389.35	19.50	212	694.45	14.41	256	1,017.75	14.50
37	116.45	15.95	81	227.98	7.56	125	279.26	11.00	169	389.68	19.50	213	705.93	14.43	257	1,052.35	14.50
38	119.59	15.50	82	228.34	7.50	126	279.42	11.07	170	396.93	19.50	214	716.50	14.07	258	1,055.26	14.52
39	120.01	15.45	83	229.67	7.50	127	280.47	11.50	171	418.92	19.50	215	716.73	14.06	259	1,055.36	14.52
40	123.46	15.00	84	230.29	7.50	128	283.58	11.93	172	420.01	19.50	216	717.67	14.03	260	1,059.40	14.54
41	126.93	14.55	85	237.48	7.50	129	283.99	12.00	173	428.32	19.50	217	718.42	14.00			
42	127.34	14.50	86	237.70	7.50	130	284.74	12.06	174	439.28	19.50	218	722.08	13.52			
43	129.11	14.50	87	240.09	7.89	131	289.94	12.50	175	457.36	19.50	219	722.34	13.50			
44	145.56	14.50	88	240.30	7.93	132	291.20	12.95	176	466.64	19.50	220	728.75	13.50			

B-2. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 3

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	16.57	49	218.73	15.00	97	365.66	10.60	145	619.88	15.00
2	7.10	16.50	50	218.82	15.00	98	367.59	10.65	146	635.91	14.70
3	10.52	16.50	51	222.47	15.00	99	377.66	11.00	147	647.05	14.50
4	11.60	16.36	52	231.49	15.00	100	381.79	11.00	148	648.56	14.45
5	13.87	16.00	53	232.44	15.00	101	382.18	11.00	149	671.18	14.00
6	15.03	15.64	54	233.86	15.00	102	384.50	11.06	150	673.57	14.00
7	15.49	15.50	55	235.35	14.90	103	391.91	11.50	151	675.60	14.00
8	17.12	15.10	56	235.50	14.87	104	394.04	11.57	152	681.73	14.00
9	17.52	15.00	57	235.95	14.81	105	405.70	11.57	153	703.47	14.00
10	20.37	14.94	58	236.95	14.67	106	412.39	11.50	154	704.63	14.20
11	39.92	14.50	59	237.96	14.50	107	421.11	11.50	155	706.26	14.50
12	40.12	14.41	60	244.94	14.50	108	421.23	11.50	156	709.31	14.64
13	41.05	14.00	61	246.05	14.50	109	424.82	11.50	157	712.49	14.78
14	44.98	14.00	62	259.51	14.50	110	432.06	11.65	158	717.57	15.00
15	45.83	14.00	63	261.62	14.74	111	443.65	12.00	159	719.39	15.43
16	46.70	14.05	64	263.89	15.00	112	444.21	12.32	160	719.70	15.50
17	54.67	14.50	65	264.14	15.00	113	444.54	12.50	161	719.95	15.56
18	56.09	14.50	66	265.18	15.00	114	445.21	12.87	162	720.34	15.65
19	62.95	14.50	67	271.06	15.00	115	445.43	13.00	163	721.08	15.82
20	63.08	14.42	68	277.34	15.00	116	446.18	13.42	164	721.83	16.00
21	63.72	14.00	69	277.93	14.93	117	446.33	13.50	165	722.67	16.20
22	71.86	14.00	70	281.38	14.50	118	447.06	13.91	166	723.96	16.50
23	73.28	14.00	71	285.19	14.42	119	447.22	14.00	167	730.53	16.50
24	87.24	14.46	72	305.42	14.00	120	447.33	14.06	168	737.25	16.50
25	88.63	14.50	73	305.77	13.89	121	448.11	14.50	169	738.17	16.21
26	90.43	14.53	74	306.49	13.79	122	452.68	14.59	170	738.83	16.00
27	97.93	15.00	75	308.43	13.50	123	459.49	14.73	171	739.14	15.90
28	98.54	15.00	76	310.49	13.25	124	462.90	14.80	172	740.41	15.50
29	106.15	15.00	77	312.17	13.00	125	463.67	14.79	173	741.22	15.31
30	106.85	15.00	78	312.88	12.78	126	464.82	14.79	174	742.60	15.00
31	107.20	15.00	79	313.80	12.50	127	474.27	15.00	175	750.30	14.64
32	125.62	15.00	80	314.36	12.30	128	509.97	15.00	176	759.55	14.50
33	125.81	15.00	81	315.17	12.00	129	519.13	15.00	177	772.84	14.50
34	128.88	14.97	82	315.65	11.82	130	519.68	15.00	178	783.26	14.50
35	129.15	14.97	83	316.48	11.50	131	545.06	15.00	179	789.71	14.50
36	154.97	14.84	84	317.01	11.32	132	547.50	15.05	180	800.66	14.50
37	165.53	14.78	85	317.97	11.00	133	549.91	15.16	181	812.08	14.50
38	166.09	14.78	86	318.71	10.83	134	557.39	15.50	182	816.09	14.50
39	179.16	14.72	87	320.13	10.50	135	558.91	15.66	183	818.69	14.50
40	180.77	14.69	88	324.13	10.17	136	562.02	16.00	184	824.18	14.50
41	191.69	14.69	89	326.67	10.00	137	562.31	16.00	185	824.40	14.50
42	200.02	14.93	90	328.65	10.00	138	572.15	15.65	186	824.53	14.50
43	200.17	14.94	91	336.35	10.00	139	574.71	15.56	187	833.07	14.57
44	202.78	14.95	92	340.01	10.00	140	576.09	15.50	188	842.04	14.77
45	205.95	15.00	93	342.38	10.06	141	578.96	15.47	189	859.71	14.72
46	207.63	15.00	94	352.14	10.50	142	593.45	15.30	190	870.06	14.80
47	209.73	15.00	95	362.02	10.50	143	619.16	15.00	191	902.95	14.91
48	211.58	15.00	96	363.74	10.55	144	619.60	15.00	192	911.78	14.92

B-3. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 4 (X = dist a origen, Y = altura m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	16.63	50	299.32	13.50	99	461.94	11.00	148	614.37	12.85
2	5.71	16.52	51	302.98	13.32	100	464.99	11.00	149	615.17	12.97
3	7.13	16.50	52	308.99	13.00	101	465.96	11.00	150	615.91	13.00
4	11.30	16.07	53	309.56	12.72	102	466.09	11.03	151	617.17	13.05
5	11.35	16.06	54	309.99	12.50	103	468.27	11.50	152	618.77	13.11
6	11.81	16.00	55	310.77	12.11	104	468.37	11.54	153	619.48	13.13
7	11.98	15.95	56	310.99	12.00	105	469.65	12.00	154	621.55	13.20
8	13.46	15.50	57	311.21	11.89	106	470.03	12.14	155	622.46	13.23
9	13.95	15.35	58	312.00	11.50	107	470.98	12.50	156	623.70	13.27
10	15.12	15.00	59	312.43	11.28	108	471.28	12.61	157	625.09	13.32
11	26.70	14.67	60	312.98	11.00	109	472.31	13.00	158	626.28	13.40
12	31.55	14.53	61	313.45	10.67	110	472.83	13.16	159	626.65	13.43
13	32.85	14.50	62	313.69	10.50	111	479.19	13.23	160	628.63	13.50
14	33.08	14.41	63	314.02	10.27	112	481.94	13.32	161	634.27	13.70
15	34.17	14.00	64	314.41	10.00	113	484.27	13.40	162	634.86	14.00
16	42.49	14.00	65	315.51	9.83	114	487.44	13.50	163	635.15	14.15
17	43.69	14.00	66	316.56	9.66	115	487.95	13.64	164	635.81	14.50
18	43.97	14.00	67	317.59	9.50	116	492.95	14.00	165	636.19	14.70
19	44.84	14.00	68	319.97	9.31	117	495.55	14.19	166	636.76	15.00
20	45.42	14.00	69	323.51	9.10	118	499.84	14.50	167	641.23	15.00
21	77.14	14.00	70	327.06	9.12	119	505.74	14.50	168	646.41	15.00
22	78.06	14.00	71	331.47	9.31	120	506.77	14.50	169	654.49	14.53
23	79.47	14.00	72	335.04	9.42	121	507.26	14.50	170	656.31	14.52
24	83.18	14.00	73	336.60	9.50	122	513.15	14.42	171	664.43	14.50
25	84.94	14.34	74	337.68	9.68	123	545.06	14.00	172	669.75	14.50
26	85.77	14.50	75	339.17	9.87	124	546.90	13.69	173	671.70	14.50
27	86.89	14.53	76	340.22	10.00	125	548.05	13.50	174	676.78	14.91
28	87.66	14.53	77	340.75	10.28	126	550.38	13.14	175	678.56	15.00
29	109.50	14.85	78	341.14	10.50	127	551.33	13.00	176	682.92	15.42
30	115.26	14.86	79	341.79	10.85	128	554.29	13.00	177	683.42	15.47
31	147.55	14.50	80	342.07	11.00	129	558.73	12.80	178	683.59	15.46
32	163.02	14.50	81	342.43	11.08	130	566.99	12.59	179	684.29	15.41
33	180.02	14.50	82	344.31	11.50	131	569.21	12.53	180	684.58	15.46
34	182.97	14.58	83	345.54	11.75	132	570.55	12.50	181	688.90	15.11
35	220.27	14.94	84	346.77	12.00	133	572.76	12.39	182	695.18	15.17
36	224.72	14.97	85	351.67	12.00	134	575.34	12.20	183	703.47	15.50
37	225.66	14.98	86	356.01	12.00	135	578.06	12.00	184	704.65	15.50
38	227.91	14.97	87	365.49	11.60	136	578.18	12.00	185	707.46	15.50
39	232.71	15.00	88	367.98	11.50	137	578.41	12.00	186	708.41	15.76
40	250.85	15.00	89	368.07	11.50	138	581.85	12.13	187	709.27	16.00
41	251.48	15.00	90	369.84	11.50	139	587.44	12.34	188	710.07	16.22
42	252.37	14.84	91	374.27	11.50	140	590.31	12.34	189	711.08	16.50
43	254.30	14.50	92	392.47	11.50	141	593.24	12.34	190	713.36	16.50
44	254.61	14.50	93	407.39	11.50	142	599.12	12.34	191	713.92	16.50
45	259.63	14.50	94	411.55	11.50	143	602.14	12.33	192	714.45	16.50
46	288.05	14.17	95	417.64	11.50	144	607.94	12.33	193	717.22	16.07
47	295.92	14.08	96	438.58	11.50	145	612.14	12.50	194	717.65	16.00
48	296.59	14.00	97	451.86	11.15	146	612.42	12.54	195	717.74	16.00
49	298.53	13.65	98	458.84	11.07	147	612.68	12.58			

B-4. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 5

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	14.90	37	312.87	10.50	73	426.49	12.00
2	21.54	14.56	38	315.17	10.50	74	426.57	12.08
3	23.41	14.53	39	316.46	10.50	75	426.98	12.50
4	24.04	14.52	40	317.78	10.66	76	427.74	12.56
5	25.35	14.50	41	320.45	11.00	77	430.99	12.82
6	25.84	14.50	42	321.44	11.19	78	433.05	13.00
7	43.66	14.50	43	323.14	11.50	79	433.13	13.00
8	43.93	14.50	44	326.90	11.81	80	438.93	13.40
9	57.53	14.50	45	329.14	12.00	81	440.39	13.50
10	101.05	14.50	46	342.10	12.00	82	448.58	13.93
11	103.44	14.50	47	344.01	12.00	83	449.84	14.00
12	216.79	14.50	48	345.44	12.00	84	458.96	14.46
13	218.65	14.50	49	346.23	12.00	85	459.80	14.50
14	223.47	14.50	50	347.47	12.00	86	464.10	14.59
15	225.50	14.50	51	348.41	12.00	87	482.65	14.96
16	226.63	14.48	52	355.81	11.94	88	484.70	15.00
17	250.74	14.00	53	405.69	11.50	89	485.19	15.00
18	251.92	13.98	54	406.39	11.38	90	487.37	15.00
19	271.78	13.50	55	408.49	11.00	91	529.85	15.00
20	273.14	13.46	56	409.75	10.78	92	564.94	15.00
21	274.51	13.41	57	411.29	10.50	93	566.73	15.00
22	278.72	13.28	58	411.91	10.50	94	579.47	15.00
23	287.91	13.00	59	412.60	10.50	95	609.45	15.00
24	288.75	12.90	60	413.17	10.79	96	618.82	15.00
25	291.37	12.50	61	413.59	11.00	97	620.00	15.00
26	293.82	12.10	62	414.76	11.00	98	640.69	15.00
27	294.40	12.00	63	416.40	11.00	99	642.07	15.00
28	297.90	11.58	64	417.12	10.80	100	644.49	15.00
29	298.57	11.50	65	418.21	10.50	101	677.29	15.00
30	300.95	11.07	66	421.51	10.50	102	679.46	15.04
31	301.34	11.00	67	424.33	10.50	103	703.13	15.50
32	303.52	10.57	68	425.39	10.93	104	709.49	15.96
33	303.89	10.50	69	425.58	11.00	105	710.03	16.00
34	305.71	10.50	70	425.92	11.38	106	713.82	16.13
35	310.83	10.50	71	426.02	11.50			
36	311.56	10.50	72	426.08	11.56			

B-5. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 6

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	16.50	47	285.42	13.49	93	391.63	11.37	139	621.61	13.69
2	6.10	16.50	48	291.05	13.00	94	391.97	11.00	140	634.13	13.50
3	6.54	16.50	49	291.15	12.96	95	392.12	10.83	141	635.32	13.50
4	6.76	16.45	50	292.31	12.50	96	392.42	10.50	142	635.43	13.50
5	7.20	16.35	51	293.44	12.05	97	399.97	10.50	143	636.87	13.90
6	8.72	16.00	52	293.56	12.00	98	402.06	10.50	144	637.24	14.00
7	10.70	15.56	53	296.83	11.53	99	404.09	10.50	145	638.85	14.45
8	10.95	15.50	54	297.03	11.50	100	404.98	10.57	146	639.04	14.50
9	11.20	15.44	55	303.88	11.02	101	410.43	11.00	147	639.10	14.51
10	13.18	15.00	56	304.00	11.01	102	413.18	11.43	148	641.86	14.75
11	14.35	14.85	57	304.14	11.00	103	413.64	11.50	149	644.66	15.00
12	15.76	14.68	58	327.77	11.00	104	419.04	11.93	150	663.32	15.00
13	15.93	14.65	59	328.31	11.00	105	419.89	12.00	151	669.57	15.00
14	17.21	14.50	60	350.60	11.00	106	428.29	12.00	152	670.81	15.00
15	89.61	14.50	61	351.45	11.00	107	429.95	12.00	153	672.44	15.00
16	96.09	14.50	62	360.67	11.00	108	433.16	12.00	154	723.96	15.00
17	96.88	14.50	63	365.31	11.09	109	450.65	12.00	155	821.10	15.00
18	97.46	14.50	64	376.68	11.31	110	453.73	12.41	156	825.18	15.00
19	98.60	14.50	65	386.45	11.50	111	454.41	12.50	157	835.28	15.00
20	100.84	14.50	66	386.58	11.68	112	458.12	12.89	158	864.05	14.72
21	106.25	14.50	67	386.70	11.85	113	459.06	13.00	159	894.48	14.59
22	106.74	14.26	68	386.80	12.00	114	464.40	13.16	160	900.53	14.50
23	107.28	14.00	69	387.00	12.29	115	474.95	13.50	161	901.90	14.39
24	107.83	13.74	70	387.15	12.50	116	475.39	13.72	162	903.41	14.27
25	108.32	13.50	71	387.40	12.86	117	475.96	14.00	163	906.71	14.00
26	119.94	13.50	72	387.50	13.00	118	476.53	14.28	164	909.45	14.00
27	122.49	13.50	73	387.76	13.36	119	476.97	14.50	165	910.28	14.00
28	123.73	13.50	74	387.85	13.50	120	532.25	14.50	166	912.20	14.00
29	124.05	13.50	75	388.19	13.97	121	546.29	14.50	167	917.55	14.00
30	174.09	13.98	76	388.21	14.00	122	549.62	14.50	168	923.03	14.00
31	174.84	14.00	77	388.23	14.03	123	555.14	14.50	169	924.12	14.00
32	176.70	14.00	78	388.56	14.50	124	556.38	14.44	170	925.52	14.00
33	176.94	14.00	79	388.69	14.50	125	558.41	14.34	171	926.24	14.17
34	196.45	14.00	80	388.80	14.50	126	565.33	14.00	172	927.67	14.50
35	197.25	14.00	81	389.07	14.20	127	569.72	13.78	173	929.70	14.97
36	198.05	14.00	82	389.25	14.00	128	575.52	13.50	174	929.82	15.00
37	239.53	14.00	83	389.37	13.87	129	576.94	13.50	175	929.92	15.02
38	239.57	14.01	84	389.70	13.50	130	578.02	13.50	176	931.97	15.50
39	241.69	14.50	85	389.97	13.20	131	582.82	13.81	177	933.82	15.50
40	245.59	14.50	86	390.16	13.00	132	585.87	14.00	178	935.47	15.50
41	245.67	14.50	87	390.40	12.73	133	592.12	14.40	179	937.77	15.50
42	274.54	14.00	88	390.61	12.50	134	593.72	14.50	180	938.60	15.17
43	274.58	14.00	89	390.81	12.28	135	595.41	14.50	181	939.03	15.00
44	274.60	14.00	90	391.06	12.00	136	598.62	14.50	182	940.66	15.00
45	276.97	13.89	91	391.28	11.76	137	600.74	14.18	183	941.25	15.00
46	285.27	13.50	92	391.51	11.50	138	601.87	14.00			

B-6. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 10

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	16.50	38	340.67	11.50	75	538.43	10.50	112	1063.98	15.00
2	0.08	16.50	39	344.10	11.03	76	543.05	10.62	113	1067.92	15.00
3	6.32	16.13	40	344.35	11.00	77	558.99	11.00	114	1069.76	15.00
4	11.15	16.00	41	344.61	10.99	78	563.38	11.13	115	1072.43	15.00
5	20.93	15.76	42	351.57	10.68	79	566.03	11.20	116	1086.75	15.00
6	30.33	15.50	43	363.24	10.50	80	576.55	11.50	117	1095.59	15.00
7	34.69	15.30	44	392.48	10.50	81	581.03	11.62	118	1096.55	15.00
8	38.59	15.11	45	419.74	10.50	82	622.45	12.00	119	1098.53	15.00
9	40.76	15.00	46	429.68	10.50	83	622.62	12.00	120	1100.29	15.00
10	60.04	14.76	47	433.45	10.86	84	623.32	12.00	121	1109.06	14.96
11	68.48	14.66	48	434.58	11.00	85	644.67	12.14	122	1113.64	14.95
12	76.91	14.58	49	435.68	11.40	86	680.77	12.50	123	1114.17	14.95
13	84.82	14.50	50	435.96	11.50	87	685.32	12.50	124	1163.78	14.68
14	87.07	14.50	51	438.86	11.69	88	687.75	12.50	125	1191.97	14.69
15	90.49	14.50	52	441.95	11.89	89	748.37	12.80	126	1227.09	14.63
16	95.47	14.50	53	443.74	12.00	90	781.54	12.92	127	1262.42	14.50
17	102.26	14.50	54	444.23	12.00	91	789.40	12.94	128	1288.91	14.50
18	110.07	14.50	55	448.11	12.00	92	794.58	13.00	129	1297.78	14.50
19	112.34	14.50	56	449.18	12.00	93	825.21	13.38	130	1327.85	14.50
20	141.65	14.50	57	453.51	12.00	94	834.54	13.50	131	1345.91	14.50
21	174.28	14.50	58	474.72	11.81	95	836.96	13.50	132	1373.42	14.50
22	228.02	14.50	59	507.45	11.53	96	837.82	13.52	133	1408.98	14.98
23	281.88	14.50	60	509.20	11.51	97	852.63	13.85	134	1410.38	15.00
24	284.95	14.50	61	510.30	11.50	98	859.01	14.00	135	1435.79	15.00
25	285.61	14.28	62	510.90	11.35	99	874.79	14.36	136	1475.35	15.49
26	286.46	14.00	63	512.38	11.00	100	880.96	14.50	137	1476.16	15.50
27	288.41	13.54	64	513.87	10.64	101	897.77	14.78	138	1476.29	15.53
28	288.58	13.50	65	514.45	10.50	102	903.20	14.85	139	1476.42	15.56
29	293.53	13.11	66	514.75	10.50	103	908.47	14.91	140	1478.27	16.00
30	294.32	13.00	67	515.79	10.50	104	916.29	15.00	141	1478.42	16.00
31	297.57	12.93	68	517.84	10.85	105	934.11	15.00	142	1479.49	16.00
32	307.60	12.73	69	518.76	11.00	106	980.26	15.00	143	1482.71	16.00
33	318.47	12.50	70	524.66	11.00	107	987.67	15.00	144	1483.14	16.00
34	336.76	12.03	71	525.59	11.00	108	1012.44	15.00	145	1485.70	16.00
35	337.69	12.00	72	526.52	10.92	109	1017.24	15.00			
36	338.12	11.93	73	531.20	10.50	110	1031.63	14.94			
37	339.27	11.74	74	533.59	10.50	111	1044.97	14.94			

B-7. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 12

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	11.50	42	494.79	11.00	83	788.76	14.26	124	1335.87	13.50
2	5.13	11.50	43	494.85	11.00	84	800.85	14.00	125	1375.31	13.74
3	5.16	11.50	44	495.18	11.00	85	800.96	14.00	126	1416.95	13.51
4	5.20	11.51	45	510.58	11.25	86	801.17	14.00	127	1417.09	13.51
5	7.82	12.00	46	518.88	11.38	87	810.09	14.00	128	1417.45	13.50
6	8.80	12.18	47	522.28	11.43	88	813.37	14.00	129	1417.56	13.47
7	10.48	12.50	48	526.42	11.50	89	814.77	13.60	130	1419.45	13.00
8	19.93	12.50	49	572.64	11.97	90	815.11	13.50	131	1420.02	13.00
9	41.33	12.50	50	576.04	12.00	91	819.08	13.50	132	1424.14	13.00
10	42.37	12.24	51	586.15	12.00	92	820.19	13.50	133	1424.29	13.12
11	43.36	12.00	52	646.65	12.00	93	822.65	13.92	134	1424.73	13.50
12	45.36	11.70	53	647.60	11.92	94	823.15	14.00	135	1424.98	13.71
13	46.65	11.50	54	652.80	11.50	95	834.96	14.00	136	1425.32	14.00
14	53.52	11.50	55	658.02	11.07	96	836.14	14.00	137	1425.66	14.28
15	99.88	11.09	56	658.95	11.00	97	837.18	14.00	138	1425.91	14.50
16	108.76	11.00	57	661.89	10.86	98	884.77	13.58	139	1429.41	14.50
17	111.48	11.00	58	669.01	10.50	99	890.71	13.52	140	1430.56	14.50
18	114.31	11.00	59	696.45	10.13	100	891.08	13.52	141	1430.84	14.50
19	116.83	11.00	60	706.34	10.00	101	893.28	13.50	142	1431.15	14.50
20	120.82	11.14	61	709.93	10.00	102	916.79	13.50	143	1444.59	14.50
21	136.44	11.50	62	725.40	10.00	103	917.53	13.50	144	1445.12	14.50
22	143.62	11.56	63	727.04	10.00	104	919.36	13.52	145	1449.15	14.98
23	167.86	11.55	64	728.30	10.06	105	1051.45	13.51	146	1449.36	15.00
24	190.26	11.51	65	737.07	10.50	106	1051.53	13.51	147	1449.82	15.05
25	190.66	11.51	66	741.30	10.94	107	1051.60	13.51	148	1453.60	15.50
26	191.59	11.50	67	741.80	11.00	108	1052.80	13.50	149	1457.36	15.94
27	210.73	11.50	68	750.52	11.45	109	1053.97	13.49	150	1457.85	16.00
28	226.56	11.50	69	751.51	11.50	110	1102.85	13.00	151	1465.81	16.00
29	248.79	11.19	70	752.69	11.56	111	1116.62	12.51	152	1466.49	16.00
30	291.79	11.00	71	761.22	12.00	112	1116.89	12.50	153	1470.61	16.00
31	295.86	10.92	72	763.94	12.14	113	1158.55	12.50	154	1471.06	16.00
32	316.86	10.50	73	770.28	12.50	114	1158.99	12.50	155	1472.03	16.00
33	404.45	10.50	74	771.74	12.93	115	1159.95	12.50	156	1476.43	16.00
34	421.81	10.50	75	771.98	13.00	116	1186.44	12.99	157	1476.76	15.86
35	426.04	10.53	76	772.21	13.07	117	1186.98	13.00	158	1477.65	15.50
36	427.20	10.54	77	773.67	13.50	118	1213.43	13.49	159	1478.12	15.31
37	429.27	10.55	78	774.08	13.62	119	1214.00	13.50	160	1478.86	15.00
38	431.69	10.57	79	775.37	14.00	120	1321.38	13.50	161	1478.96	15.00
39	436.49	10.60	80	775.99	14.18	121	1324.90	13.50	162	1479.08	15.00
40	450.60	10.70	81	777.07	14.50	122	1324.96	13.50	163	1479.86	15.28
41	477.51	10.88	82	777.49	14.50	123	1335.81	13.50	164	1480.32	15.44

B-8. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 13

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	11.72	45	387.32	14.50	89	719.47	9.50	133	867.40	13.50	177	1370.37	13.04	221	1569.88	14.00
2	4.09	12.00	46	387.60	14.50	90	719.81	9.50	134	873.60	13.97	178	1378.83	13.29	222	1570.17	13.98
3	5.06	12.07	47	396.68	14.94	91	726.55	9.50	135	874.03	14.00	179	1391.31	13.50	223	1578.77	13.50
4	11.27	12.50	48	397.83	15.00	92	726.89	9.52	136	874.39	14.00	180	1391.71	13.50	224	1579.22	13.50
5	11.73	12.53	49	398.34	15.02	93	734.12	10.00	137	894.18	14.00	181	1391.94	13.50	225	1591.75	13.50
6	16.22	12.68	50	408.07	15.50	94	734.46	10.02	138	894.41	13.99	182	1392.47	13.50	226	1592.39	13.56
7	23.91	13.00	51	426.38	15.50	95	741.21	10.50	139	894.90	13.98	183	1399.91	13.97	227	1592.72	13.61
8	25.23	13.00	52	427.22	15.50	96	741.53	10.54	140	895.65	13.97	184	1400.32	14.00	228	1594.98	14.00
9	26.62	13.00	53	427.93	15.47	97	745.16	11.00	141	916.07	13.50	185	1401.03	14.00	229	1595.29	14.11
10	47.87	13.00	54	439.67	15.00	98	749.02	11.46	142	931.07	13.50	186	1401.27	14.00	230	1596.39	14.50
11	48.56	13.00	55	440.07	15.00	99	749.33	11.50	143	932.39	13.50	187	1404.11	14.00	231	1596.47	14.50
12	63.81	13.00	56	443.04	15.00	100	753.24	11.97	144	936.58	13.50	188	1405.36	14.00	232	1,596.72	14.50
13	65.00	13.00	57	444.23	15.45	101	753.49	12.00	145	964.72	13.50	189	1408.59	14.00	233	1,597.08	14.40
14	70.69	13.00	58	444.36	15.50	102	753.71	12.03	146	973.69	13.50	190	1432.75	14.00	234	1,598.52	14.00
15	71.01	13.00	59	452.85	15.96	103	757.65	12.50	147	976.59	13.50	191	1446.68	14.00	235	1,598.74	14.00
16	72.26	12.99	60	453.82	16.00	104	761.60	12.97	148	976.93	13.50	192	1455.83	14.46	236	1,599.89	14.00
17	118.18	12.50	61	463.66	16.00	105	761.82	13.00	149	977.19	13.50	193	1456.99	14.50	237	1,600.90	14.07
18	118.22	12.50	62	464.26	16.00	106	779.15	13.00	150	1004.57	13.50	194	1463.13	14.50	238	1,606.42	14.50
19	161.00	12.50	63	470.90	15.53	107	779.66	13.00	151	1032.99	13.50	195	1463.52	14.50	239	1,606.70	14.58
20	196.88	12.44	64	471.41	15.50	108	780.13	12.97	152	1033.16	13.50	196	1465.31	14.04	240	1,608.27	15.00
21	220.00	12.41	65	478.24	15.02	109	788.25	12.50	153	1033.41	13.50	197	1465.47	14.00	241	1,608.55	15.08
22	258.81	12.41	66	478.55	15.00	110	798.11	12.15	154	1071.67	13.50	198	1473.73	13.55	242	1,610.12	15.50
23	287.60	12.50	67	478.82	14.98	111	801.73	12.03	155	1074.08	13.50	199	1474.65	13.50	243	1,610.37	15.57
24	332.35	12.25	68	485.69	14.50	112	802.46	12.00	156	1074.74	13.50	200	1481.38	13.05	244	1,611.97	16.00
25	351.34	12.50	69	497.14	14.02	113	802.65	11.98	157	1075.22	13.50	201	1482.22	13.00	245	1,612.53	16.00
26	351.59	12.52	70	497.57	14.00	114	807.50	11.50	158	1123.72	13.50	202	1489.59	12.53	246	1,616.45	16.00
27	351.84	12.53	71	497.92	13.99	115	807.78	11.47	159	1164.53	13.50	203	1490.03	12.50	247	1,619.99	15.57
28	358.83	13.00	72	527.27	13.50	116	812.53	11.00	160	1174.51	13.50	204	1500.61	12.50	248	1,620.54	15.50
29	359.06	13.07	73	527.29	13.50	117	814.73	11.00	161	1235.81	13.50	205	1501.31	12.50	249	1,621.10	15.50
30	360.57	13.50	74	529.20	13.49	118	840.56	11.00	162	1236.53	13.50	206	1501.49	12.66	250	1,628.74	15.50
31	362.08	13.93	75	669.18	13.00	119	840.73	11.09	163	1236.55	13.50	207	1501.86	13.00	251	1,629.38	15.63
32	362.31	14.00	76	669.38	12.99	120	841.53	11.50	164	1237.50	13.51	208	1502.21	13.31	252	1,631.22	16.00
33	367.29	14.46	77	679.55	12.50	121	842.33	11.91	165	1238.18	13.50	209	1502.42	13.50	253	1,634.95	16.00
34	367.70	14.50	78	679.84	12.49	122	842.50	12.00	166	1312.89	13.02	210	1502.63	13.69	254	1,636.17	16.00
35	373.76	14.97	79	689.92	12.00	123	842.65	12.08	167	1314.08	13.01	211	1502.97	14.00	255	1,636.62	15.95
36	374.22	15.00	80	700.00	11.51	124	843.47	12.50	168	1314.80	13.00	212	1503.07	14.08	256	1,640.88	15.50
37	374.59	15.03	81	700.30	11.50	125	844.29	12.92	169	1315.46	12.95	213	1503.53	14.50	257	1,641.37	15.45
38	380.73	15.50	82	700.78	11.48	126	844.44	13.00	170	1321.29	12.50	214	1504.97	14.50	258	1,641.86	15.40
39	381.01	15.50	83	710.67	11.00	127	852.13	13.00	171	1328.85	12.50	215	1505.45	14.50	259	1,645.59	15.00
40	383.42	15.50	84	710.86	10.98	128	852.77	13.00	172	1343.66	12.50	216	1505.68	14.50	260	1,645.85	15.00
41	383.63	15.43	85	714.66	10.50	129	853.48	13.00	173	1361.44	12.50	217	1505.80	14.50			
42	384.90	15.00	86	714.78	10.47	130	853.86	13.00	174	1363.82	12.50	218	1505.97	14.50			
43	385.19	14.90	87	717.06	10.00	131	860.77	13.00	175	1369.06	12.93	219	1508.76	14.50			
44	386.37	14.50	88	719.34	9.53	132	861.20	13.03	176	1369.93	13.00	220	1568.55	14.01			

B-9. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 15

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	13.65	37	134.31	11.50	73	624.13	11.61	109	859.26	10.50	145	1060.50	12.00	181	1400.37	11.93
2	10.40	13.50	38	148.01	11.50	74	657.50	11.81	110	861.35	10.79	146	1067.23	12.00	182	1402.85	12.00
3	30.75	13.21	39	197.58	11.50	75	690.88	12.00	111	862.83	11.00	147	1073.90	12.00	183	1414.24	12.00
4	45.71	13.00	40	202.18	11.50	76	699.78	12.00	112	863.72	11.21	148	1079.94	12.00	184	1422.23	12.00
5	77.12	13.00	41	205.24	11.50	77	702.57	12.00	113	865.07	11.50	149	1086.18	12.42	185	1440.59	12.00
6	79.52	13.00	42	211.01	11.86	78	707.71	12.00	114	871.66	11.73	150	1087.38	12.50	186	1450.92	12.00
7	79.73	13.07	43	213.35	12.00	79	717.73	12.00	115	879.45	12.00	151	1089.48	12.50	187	1454.25	12.00
8	80.90	13.50	44	214.81	12.00	80	718.00	11.89	116	891.13	12.00	152	1090.25	12.50	188	1457.63	12.00
9	82.22	13.98	45	218.78	12.00	81	718.89	11.50	117	893.60	12.00	153	1096.61	12.21	189	1459.13	12.14
10	82.28	14.00	46	219.04	12.00	82	719.89	11.13	118	894.73	11.91	154	1101.89	12.00	190	1469.85	12.50
11	82.37	14.00	47	219.10	11.98	83	720.25	11.00	119	900.65	11.50	155	1108.61	12.00	191	1473.77	12.50
12	87.25	14.00	48	219.64	11.82	84	720.82	10.84	120	906.93	11.12	156	1125.86	12.00	192	1,502.06	12.50
13	87.79	13.77	49	220.67	11.50	85	722.00	10.50	121	908.90	11.00	157	1133.52	12.00	193	1,502.86	12.44
14	88.43	13.50	50	220.86	11.44	86	723.32	10.18	122	909.70	11.00	158	1142.44	12.00	194	1,504.67	12.29
15	89.17	13.19	51	222.30	11.00	87	724.07	10.00	123	913.10	11.00	159	1144.83	12.00	195	1,508.51	12.00
16	89.61	13.00	52	224.57	11.00	88	725.67	9.63	124	913.27	11.04	160	1146.76	12.00	196	1,508.88	11.84
17	90.34	12.69	53	228.63	11.00	89	726.23	9.50	125	915.20	11.50	161	1169.35	12.00	197	1,509.66	11.50
18	90.79	12.50	54	229.96	11.10	90	728.29	9.02	126	918.55	11.50	162	1197.63	12.00	198	1,510.68	11.05
19	93.52	12.36	55	234.83	11.50	91	728.39	9.00	127	920.27	11.50	163	1208.32	12.00	199	1,510.80	11.00
20	99.18	12.00	56	289.89	11.50	92	728.53	8.99	128	920.28	11.50	164	1211.78	12.00	200	1,510.93	10.94
21	99.39	12.00	57	340.86	11.50	93	750.28	8.95	129	920.97	11.62	165	1219.26	12.00	201	1,511.94	10.50
22	103.38	12.00	58	367.33	11.50	94	750.30	8.95	130	921.66	11.74	166	1228.08	11.94	202	1,512.99	10.50
23	108.97	12.00	59	385.94	11.50	95	751.51	9.00	131	923.09	12.00	167	1265.44	11.72	203	1,521.69	10.50
24	114.93	12.00	60	388.43	11.50	96	759.29	9.41	132	923.75	12.00	168	1301.46	11.50	204	1,522.98	10.59
25	115.10	12.00	61	388.52	11.50	97	761.11	9.50	133	925.68	12.00	169	1301.52	11.50	205	1,524.26	10.68
26	115.18	12.00	62	401.11	11.44	98	761.92	9.55	134	928.92	12.00	170	1309.84	11.50	206	1,527.23	11.00
27	115.36	12.00	63	428.70	11.32	99	768.57	10.00	135	933.72	12.00	171	1321.17	11.45	207	1,528.31	11.23
28	115.37	12.00	64	483.23	11.17	100	774.09	10.39	136	966.18	12.00	172	1352.26	11.46	208	1,529.52	11.50
29	115.40	12.00	65	524.94	11.19	101	775.67	10.50	137	987.00	12.00	173	1353.78	11.50	209	1,530.08	11.62
30	115.92	11.81	66	583.21	11.42	102	781.71	10.50	138	989.35	12.00	174	1361.34	11.69	210	1,532.39	11.62
31	116.77	11.50	67	601.64	11.50	103	785.74	10.50	139	992.84	12.00	175	1371.89	11.58	211	1,537.50	11.84
32	117.71	11.15	68	601.97	11.50	104	790.38	10.50	140	1014.20	12.00	176	1377.40	11.59			
33	118.13	11.00	69	602.04	11.50	105	808.58	10.50	141	1026.59	12.00	177	1382.67	11.60			
34	122.27	11.00	70	603.32	11.50	106	820.48	10.50	142	1047.24	12.00	178	1385.41	11.57			
35	124.46	11.00	71	606.74	11.50	107	822.34	10.50	143	1050.43	12.00	179	1387.97	11.66			
36	130.62	11.31	72	610.60	11.50	108	828.24	10.50	144	1056.00	12.00	180	1393.62	11.93			

B-10. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 18

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	11.00	47	399.73	9.50	93	778.12	13.50	139	1,196.82	13.00
2	1.69	11.00	48	401.05	9.50	94	781.36	13.50	140	1,200.37	13.00
3	4.13	11.00	49	413.96	9.85	95	781.47	13.50	141	1,203.70	13.00
4	5.35	11.27	50	419.72	10.00	96	824.84	13.98	142	1,204.41	12.85
5	6.42	11.50	51	421.83	10.12	97	826.20	13.99	143	1,205.82	12.55
6	9.08	11.94	52	428.17	10.50	98	827.10	14.00	144	1,206.06	12.50
7	9.42	12.00	53	429.36	10.88	99	836.06	14.00	145	1,208.08	12.07
8	10.15	12.19	54	429.74	11.00	100	836.09	14.00	146	1,208.43	12.00
9	11.29	12.50	55	434.19	11.00	101	839.60	13.95	147	1,210.11	11.65
10	11.47	12.50	56	435.44	11.00	102	866.05	13.56	148	1,210.86	11.50
11	12.51	12.50	57	444.64	10.55	103	870.45	13.50	149	1,211.62	11.36
12	14.02	12.29	58	445.56	10.50	104	870.75	13.50	150	1,213.54	11.00
13	16.18	12.00	59	448.11	10.50	105	871.07	13.50	151	1,215.09	11.00
14	19.82	12.00	60	515.49	10.50	106	875.50	13.50	152	1,217.30	11.00
15	22.55	12.00	61	516.03	10.54	107	875.63	13.50	153	1,223.42	11.33
16	27.66	12.00	62	516.49	10.58	108	876.58	13.50	154	1,226.48	11.50
17	51.34	12.00	63	521.41	11.00	109	880.25	13.50	155	1,228.04	11.50
18	54.38	11.93	64	521.59	11.10	110	880.83	13.50	156	1,229.50	11.50
19	71.70	11.50	65	522.32	11.50	111	882.82	13.93	157	1,233.74	11.50
20	82.93	11.50	66	522.84	11.90	112	884.46	14.00	158	1,235.96	11.50
21	98.50	11.50	67	522.97	12.00	113	895.28	14.00	159	1,247.94	11.84
22	100.13	11.50	68	523.50	12.40	114	901.09	14.00	160	1,253.22	12.00
23	112.58	11.80	69	523.63	12.50	115	923.63	14.00	161	1,258.55	12.20
24	120.64	12.00	70	525.78	12.50	116	924.93	13.99	162	1,263.17	12.50
25	122.42	12.02	71	563.05	12.50	117	926.47	14.00	163	1,270.47	12.50
26	166.79	12.50	72	563.22	12.50	118	993.70	13.69	164	1,293.03	12.50
27	168.99	12.52	73	564.69	12.50	119	1,037.10	13.50	165	1,299.77	12.50
28	215.25	13.00	74	572.55	12.97	120	1,037.19	13.50	166	1,308.13	12.50
29	217.65	13.00	75	573.09	13.00	121	1,037.40	13.50	167	1,318.26	12.50
30	276.97	13.00	76	573.37	13.00	122	1,040.21	13.50	168	1,326.13	12.50
31	277.16	13.00	77	575.18	13.00	123	1,059.32	13.50	169	1,332.89	12.50
32	279.66	12.98	78	602.47	13.00	124	1,060.76	13.50	170	1,337.20	12.50
33	316.79	12.50	79	602.51	13.00	125	1,111.60	13.50	171	1,341.90	12.50
34	342.85	12.02	80	686.09	12.55	126	1,114.75	13.50	172	1,352.63	12.50
35	343.99	12.00	81	695.35	12.50	127	1,117.87	13.50	173	1,356.99	12.50
36	346.57	11.97	82	695.41	12.50	128	1,120.81	13.50	174	1,363.19	12.50
37	350.54	11.92	83	701.57	12.50	129	1,132.38	13.50	175	1,373.29	12.15
38	381.02	11.50	84	711.04	13.00	130	1,144.99	13.50	176	1,377.80	12.00
39	383.21	11.50	85	711.09	13.00	131	1,149.23	13.50	177	1,379.92	11.65
40	383.53	11.41	86	754.51	13.49	132	1,158.47	13.10	178	1,380.86	11.50
41	384.94	11.00	87	754.98	13.50	133	1,160.40	13.00	179	1,381.80	11.35
42	385.27	10.90	88	755.24	13.51	134	1,169.68	13.00	180	1,383.93	11.00
43	386.61	10.50	89	764.70	14.00	135	1,181.33	12.59	181	1,385.31	10.77
44	387.95	10.10	90	764.72	14.00	136	1,187.34	12.50	182	1,385.68	10.71
45	388.27	10.00	91	767.86	14.00	137	1,190.54	12.50			
46	392.49	9.83	92	777.65	13.52	138	1,194.61	12.81			

Apéndice B

B-11. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 22

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	12.41	51	120.08	10.00	101	527.09	11.00	151	755.30	10.83	201	1,082.05	9.02	251	1362.33	10.50
2	0.94	12.11	52	121.71	10.00	102	555.30	11.00	152	755.90	11.00	202	1,083.41	9.50	252	1362.79	10.50
3	1.28	12.00	53	124.78	10.36	103	615.67	11.00	153	761.60	11.00	203	1,091.37	9.50	253	1362.91	10.50
4	1.98	11.77	54	125.79	10.50	104	622.59	10.54	154	762.69	11.00	204	1,091.73	9.50	254	1380.01	10.50
5	2.84	11.50	55	137.27	10.50	105	623.25	10.50	155	766.24	10.55	205	1,091.86	9.49	255	1380.94	10.50
6	4.23	11.04	56	151.79	10.50	106	625.21	10.50	156	766.71	10.50	206	1,098.81	9.00	256	1382.11	10.50
7	4.36	11.00	57	156.06	10.50	107	632.32	10.50	157	790.59	10.03	207	1,098.90	9.00	257	1383.26	10.50
8	5.52	10.59	58	157.76	10.30	108	644.39	10.50	158	791.96	10.00	208	1,102.67	9.00	258	1398.66	10.50
9	5.77	10.50	59	160.34	10.00	109	644.85	10.56	159	808.75	10.00	209	1,102.86	9.01	259	1399.41	10.39
10	7.07	10.04	60	162.66	10.00	110	648.09	11.00	160	809.36	10.00	210	1,115.92	9.50	260	1402.05	10.00
11	7.19	10.00	61	172.24	10.00	111	648.76	11.00	161	813.15	10.00	211	1,116.17	9.50	261	1402.71	10.00
12	8.55	9.77	62	176.12	10.17	112	652.61	11.00	162	830.67	10.00	212	1,119.57	9.98	262	1,409.62	10.00
13	10.25	9.50	63	179.96	10.33	113	653.48	10.88	163	831.89	10.00	213	1,119.72	10.00	263	1,413.37	9.92
14	30.50	9.10	64	182.22	10.50	114	656.27	10.50	164	838.46	10.00	214	1,119.86	10.03	264	1,416.50	9.50
15	33.36	9.05	65	183.93	10.50	115	657.07	10.37	165	903.57	10.00	215	1,120.26	10.10	265	1,418.82	9.50
16	37.08	9.00	66	184.45	10.50	116	659.36	10.00	166	911.66	10.00	216	1,122.40	10.50	266	1,420.73	9.50
17	50.24	9.00	67	185.01	10.50	117	662.24	9.84	167	911.96	10.00	217	1,122.56	10.50	267	1,422.83	9.50
18	55.26	9.00	68	186.89	10.41	118	668.29	9.50	168	913.82	10.00	218	1,123.11	10.50	268	1,424.78	9.50
19	56.12	9.00	69	189.33	10.31	119	669.10	9.34	169	915.24	10.00	219	1,124.11	10.12	269	1,425.98	9.71
20	56.22	9.00	70	192.11	10.19	120	670.75	9.00	170	944.46	10.00	220	1,124.42	10.00	270	1,427.57	10.00
21	57.49	9.39	71	196.80	10.00	121	671.97	8.75	171	944.79	10.00	221	1,125.20	10.00	271	1,428.62	10.29
22	57.84	9.50	72	197.91	9.68	122	673.21	8.50	172	949.03	10.00	222	1,125.36	10.00	272	1,429.40	10.50
23	58.62	9.61	73	198.52	9.50	123	674.46	8.25	173	952.75	10.00	223	1,127.17	10.44	273	1,430.67	10.74
24	60.08	9.80	74	200.65	9.32	124	675.67	8.00	174	952.79	10.00	224	1,127.44	10.50	274	1,432.06	11.00
25	61.43	10.00	75	204.82	9.00	125	677.31	7.67	175	972.48	9.52	225	1,128.23	10.50	275	1,433.11	11.00
26	79.10	10.40	76	207.59	9.00	126	677.73	7.58	176	973.18	9.50	226	1,128.25	10.50	276	1,433.90	11.00
27	83.04	10.50	77	209.25	9.00	127	678.14	7.50	177	980.08	9.50	227	1,128.31	10.50	277	1,434.19	11.00
28	85.92	10.50	78	214.18	9.00	128	722.77	7.04	178	980.17	9.50	228	1,137.52	10.50	278	1,435.14	10.78
29	87.77	10.50	79	215.62	9.00	129	726.17	7.02	179	1,003.71	10.00	229	1,137.86	10.50	279	1,435.90	10.64
30	94.50	10.50	80	216.39	9.28	130	726.38	7.00	180	1,003.81	10.00	230	1,138.24	10.50	280	1,436.66	10.50
31	94.51	10.49	81	216.99	9.50	131	726.97	6.95	181	1,003.86	10.00	231	1,140.28	10.99	281	1,438.78	10.50
32	94.54	10.47	82	217.28	9.56	132	731.95	6.50	182	1,004.12	10.00	232	1,140.32	11.00	282	1,440.99	10.38
33	95.24	10.00	83	219.62	10.00	133	733.39	6.50	183	1,004.20	10.00	233	1,141.01	11.00	283	1,443.02	10.36
34	95.36	9.92	84	222.14	10.10	134	741.83	6.50	184	1,004.33	10.00	234	1,163.28	11.00	284	1,444.76	10.00
35	95.98	9.50	85	235.54	10.19	135	742.26	6.61	185	1,004.50	10.00	235	1,198.80	11.00	285	1,446.48	10.00
36	96.83	9.50	86	249.90	10.39	136	743.74	7.00	186	1,042.86	10.24	236	1,216.44	11.00	286	1,446.96	10.00
37	100.03	9.50	87	262.54	10.50	137	744.53	7.21	187	1,052.55	10.00	237	1,217.14	11.00	287	1,448.73	10.00
38	104.41	9.50	88	264.16	10.50	138	745.64	7.50	188	1,055.21	9.62	238	1,218.23	10.98	288	1,450.12	10.16
39	106.48	9.50	89	277.21	10.50	139	746.76	7.79	189	1,056.09	9.50	239	1,243.33	10.50	289	1,452.94	10.50
40	106.63	9.50	90	278.78	10.50	140	747.55	8.00	190	1,071.73	9.50	240	1,243.88	10.50	290	1,453.71	10.81
41	106.66	9.50	91	286.17	10.53	141	748.44	8.31	191	1,071.77	9.51	241	1,247.48	10.50	291	1,454.15	11.00
42	106.95	9.50	92	372.98	11.00	142	748.97	8.50	192	1,071.81	9.51	242	1,257.30	10.50	292	1,455.05	11.47
43	107.27	9.92	93	375.52	11.00	143	749.80	8.80	193	1,074.62	10.00	243	1,257.49	10.50	293	1,455.10	11.50
44	107.33	10.00	94	411.00	11.00	144	750.35	9.00	194	1,074.74	10.00	244	1,257.59	10.50	294	1,455.16	11.53
45	107.52	10.09	95	463.38	11.00	145	750.91	9.20	195	1,077.43	9.52	245	1,258.58	10.50	295	1,456.06	12.00
46	108.40	10.50	96	484.01	11.00	146	751.73	9.50	196	1,077.54	9.50	246	1,320.11	10.50	296	1,456.29	12.09
47	110.03	10.50	97	484.36	11.00	147	752.37	9.76	197	1,077.60	9.49	247	1,320.65	10.50	297	1,457.22	12.44
48	113.74	10.50	98	485.40	11.00	148	752.99	10.00	198	1,080.05	9.00	248	1,348.24	10.50			
49	115.02	10.33	99	492.61	11.00	149	753.68	10.32	199	1,080.10	9.00	249	1,349.19	10.50			
50	117.51	10.00	100	511.72	11.00	150	754.08	10.50	200	1,082.01	9.00	250	1,349.89	10.50			

Apéndice B

B-12. DATOS TOPOGRÁFICOS DE SECCION 23

(X = distancia punto origen, Y = altura de punto m.s.n.m.)

P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y	P	X	Y
1	0.00	12.00	51	131.40	10.00	101	596.76	9.32	151	1,013.07	11.00	201	1,297.14	9.47	251	1370.42	10.00
2	0.33	12.00	52	139.82	10.00	102	597.92	9.00	152	1,053.28	11.00	202	1,297.22	9.50	252	1370.48	10.03
3	1.03	12.00	53	142.24	10.40	103	598.99	8.57	153	1,071.48	11.00	203	1,297.35	9.56	253	1371.35	10.50
4	1.86	12.00	54	142.85	10.50	104	599.17	8.50	154	1,072.56	11.00	204	1,298.45	10.00	254	1371.79	10.50
5	3.18	12.00	55	143.34	10.50	105	599.40	8.43	155	1,072.60	11.00	205	1,298.56	10.14	255	1371.82	10.50
6	3.54	11.50	56	146.19	10.50	106	600.84	8.00	156	1,099.42	11.48	206	1,298.82	10.50	256	1375.86	10.50
7	3.87	11.06	57	148.34	10.59	107	603.58	8.00	157	1,099.94	11.50	207	1,298.98	10.86	257	1376.04	10.50
8	3.91	11.00	58	163.45	10.59	108	612.55	8.00	158	1,129.75	11.50	208	1,299.05	11.00	258	1376.20	10.53
9	3.92	10.98	59	164.82	10.50	109	618.02	8.00	159	1,129.97	11.50	209	1,299.22	11.37	259	1378.35	11.00
10	3.93	10.98	60	166.02	10.50	110	619.49	8.09	160	1,130.48	11.49	210	1,299.27	11.50	260	1378.88	11.00
11	3.95	10.95	61	177.56	10.50	111	621.03	8.19	161	1,158.08	11.00	211	1,299.43	11.84	261	1378.92	11.00
12	4.12	10.72	62	198.45	10.50	112	626.29	8.50	162	1,158.45	10.98	212	1,299.50	12.00	262	1,380.68	10.53
13	4.28	10.50	63	199.20	10.50	113	627.24	8.78	163	1,167.97	10.50	213	1,299.55	12.00	263	1,380.78	10.50
14	4.34	10.42	64	199.27	10.50	114	627.96	9.00	164	1,168.19	10.48	214	1,299.57	11.98	264	1,384.26	10.50
15	4.65	10.00	65	199.65	10.50	115	628.54	9.22	165	1,175.08	10.00	215	1,299.79	11.50	265	1,384.37	10.50
16	4.76	9.85	66	210.24	10.50	116	629.30	9.50	166	1,175.13	10.00	216	1,300.09	11.50	266	1,401.10	10.50
17	5.02	9.50	67	210.93	10.50	117	629.87	9.75	167	1,175.65	10.00	217	1,300.18	11.50	267	1,401.54	10.50
18	5.30	9.12	68	214.13	10.50	118	630.45	10.00	168	1,186.32	10.48	218	1,302.05	11.50	268	1,401.74	10.49
19	5.35	9.04	69	216.30	10.56	119	630.96	10.27	169	1,186.77	10.50	219	1,302.14	11.50	269	1,422.58	10.00
20	5.38	9.00	70	230.35	10.50	120	631.40	10.50	170	1,186.94	10.50	220	1,302.23	11.50	270	1,422.64	10.00
21	5.49	9.00	71	278.93	10.50	121	632.92	10.81	171	1,202.30	10.50	221	1,302.59	11.49	271	1,435.30	10.49
22	8.79	9.00	72	285.25	10.43	122	633.47	10.91	172	1,202.67	10.50	222	1,319.19	11.00	272	1,435.62	10.50
23	11.73	9.00	73	313.58	10.12	123	633.87	11.00	173	1,207.90	10.50	223	1,319.20	10.99	273	1,437.21	10.50
24	13.10	8.91	74	345.27	10.14	124	637.75	11.00	174	1,207.95	10.52	224	1,319.21	10.98	274	1,445.15	10.01
25	16.32	8.50	75	395.48	10.44	125	744.35	11.00	175	1,209.08	11.00	225	1,319.23	10.95	275	1,445.38	10.00
26	32.11	8.50	76	405.26	10.50	126	744.66	11.00	176	1,209.15	11.00	226	1,319.64	10.50	276	1,445.50	10.00
27	35.51	8.50	77	406.40	10.63	127	745.99	10.98	177	1,210.65	11.00	227	1,320.05	10.05	277	1,450.07	10.00
28	41.99	8.50	78	409.00	11.00	128	771.42	10.77	178	1,213.49	10.52	228	1,320.09	10.00	278	1,450.23	10.02
29	44.38	8.57	79	411.56	11.00	129	804.71	10.50	179	1,213.62	10.50	229	1,320.14	9.95	279	1,453.91	10.50
30	45.83	8.50	80	413.37	11.00	130	806.19	10.50	180	1,217.08	10.50	230	1,320.55	9.50	280	1,464.05	10.98
31	60.78	8.50	81	418.88	10.79	131	807.29	10.50	181	1,217.25	10.50	231	1,320.96	9.05	281	1,464.63	11.00
32	63.41	8.62	82	424.72	10.57	132	807.76	10.50	182	1,217.66	10.50	232	1,321.00	9.00	282	1,471.39	11.00
33	68.12	9.00	83	426.63	10.50	133	809.63	10.50	183	1,222.77	10.50	233	1,322.28	8.52	283	1,471.58	11.00
34	69.08	9.14	84	476.64	10.50	134	862.00	10.89	184	1,236.15	10.03	234	1,322.31	8.51	284	1,472.04	11.00
35	71.53	9.50	85	480.14	10.50	135	874.46	10.98	185	1,237.15	10.00	235	1,322.33	8.50	285	1,496.16	11.00
36	75.92	9.86	86	483.40	10.53	136	876.40	11.00	186	1,237.42	9.99	236	1,331.13	8.00	286	1,496.61	11.00
37	76.97	10.00	87	532.07	11.00	137	876.74	11.00	187	1,248.93	9.50	237	1,331.20	8.00	287	1,500.39	11.00
38	80.34	10.00	88	532.63	11.00	138	876.91	11.00	188	1,249.03	9.49	238	1,331.24	8.00	288	1,500.54	10.94
39	98.85	9.60	89	540.78	11.00	139	877.26	11.00	189	1,252.89	9.00	239	1,342.08	7.50	289	1,501.80	10.50
40	100.94	9.50	90	542.11	11.00	140	877.81	11.00	190	1,255.88	9.00	240	1,342.70	7.50	290	1,501.99	10.43
41	101.89	9.50	91	557.15	11.00	141	890.05	11.00	191	1,273.04	9.00	241	1,348.45	7.50	291	1,503.21	10.00
42	102.04	9.50	92	562.40	11.00	142	890.46	11.00	192	1,273.22	9.00	242	1,348.49	7.50	292	1,504.42	9.57
43	107.33	9.92	93	567.43	11.00	143	893.90	10.94	193	1,283.29	9.00	243	1,363.54	8.00	293	1,504.62	9.50
44	107.67	10.00	94	592.40	11.00	144	915.28	10.50	194	1,284.49	9.00	244	1,363.58	8.01	294	1,505.34	9.50
45	114.23	10.00	95	593.20	10.64	145	918.08	10.50	195	1,284.63	9.00	245	1,365.94	8.50	295	1,505.65	9.50
46	114.92	10.00	96	593.52	10.50	146	918.43	10.50	196	1,285.01	8.97	246	1,366.00	8.51			
47	115.61	10.00	97	593.84	10.36	147	1,007.06	10.97	197	1,293.15	8.50	247	1,368.56	9.00			
48	119.85	10.00	98	594.64	10.00	148	1,009.50	10.98	198	1,294.00	8.50	248	1,368.59	9.02			
49	125.90	10.00	99	595.19	9.81	149	1,011.00	10.99	199	1,294.10	8.53	249	1,369.49	9.50			
50	128.07	10.00	100	596.12	9.50	150	1,012.96	11.00	200	1,295.78	9.00	250	1,369.53	9.52			

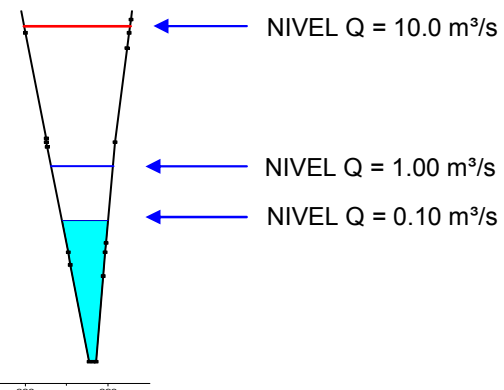
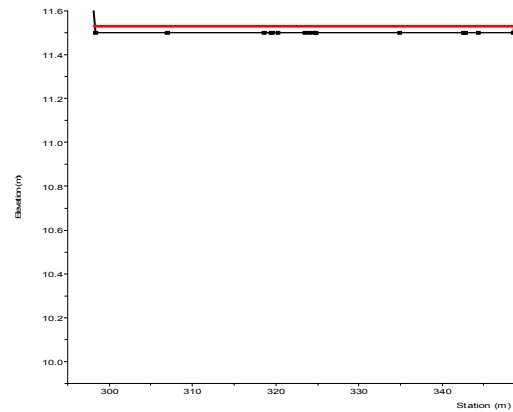
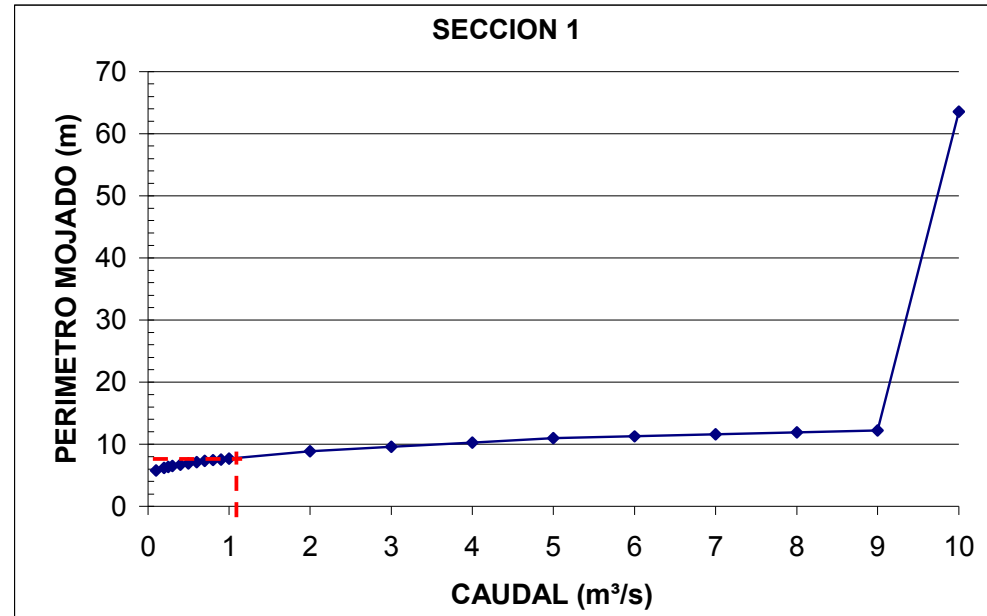
APÉNDICE C

DATOS DE SECCIONES A DIVERSOS CAUDALES

C-1 SECCION 1

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	5.78	5.57	10.604	0.604
2	0.20	6.18	5.96	10.700	0.700
3	0.25	6.35	6.12	10.720	0.720
4	0.30	6.47	6.23	10.736	0.736
5	0.40	6.71	6.47	10.767	0.767
6	0.50	6.92	6.67	10.794	0.794
7	0.60	7.13	6.87	10.820	0.820
8	0.70	7.28	7.02	10.840	0.840
9	0.80	7.44	7.17	10.860	0.860
10	0.90	7.57	7.29	10.876	0.876
11	1.00	7.70	7.42	10.893	0.893
12	2.00	8.85	8.53	11.040	1.040
13	3.00	9.56	9.21	11.130	1.130
14	4.00	10.27	9.89	11.220	1.220
15	5.00	10.97	10.57	11.310	1.310
16	6.00	11.29	10.87	11.350	1.350
17	7.00	11.60	11.17	11.390	1.390
18	8.00	11.91	11.47	11.430	1.430
19	9.00	12.23	11.78	11.470	1.470
20	10.00	63.57	61.94	11.530	1.530

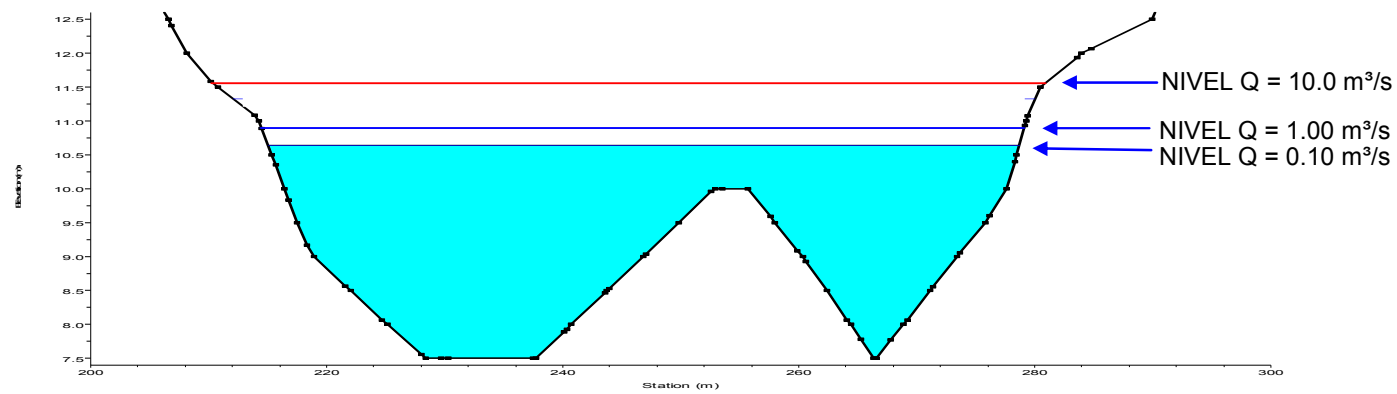
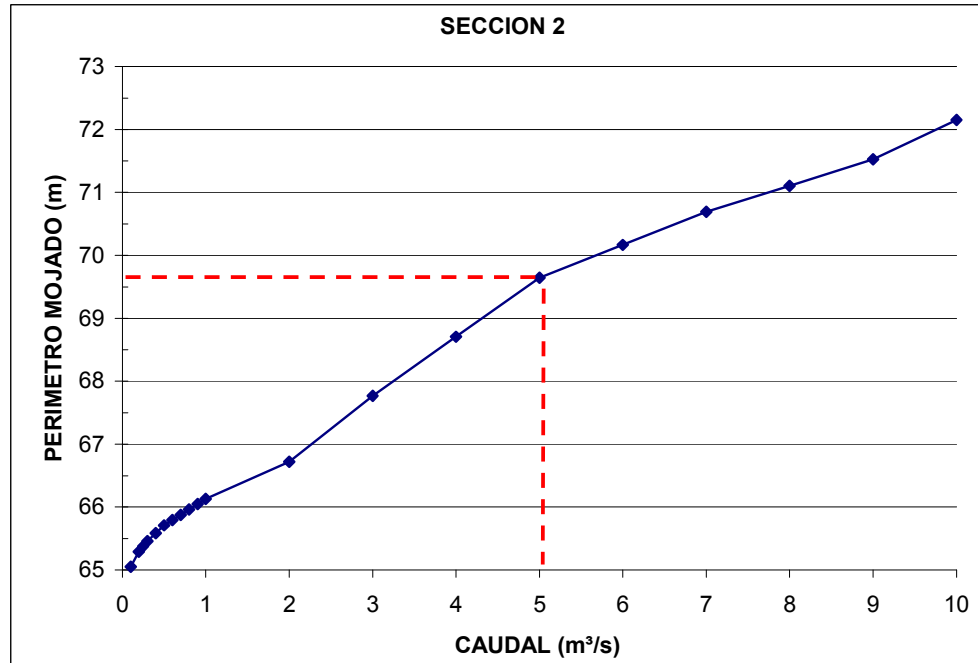
Q.E. = 1 m³/s



C-2 SECCION 2

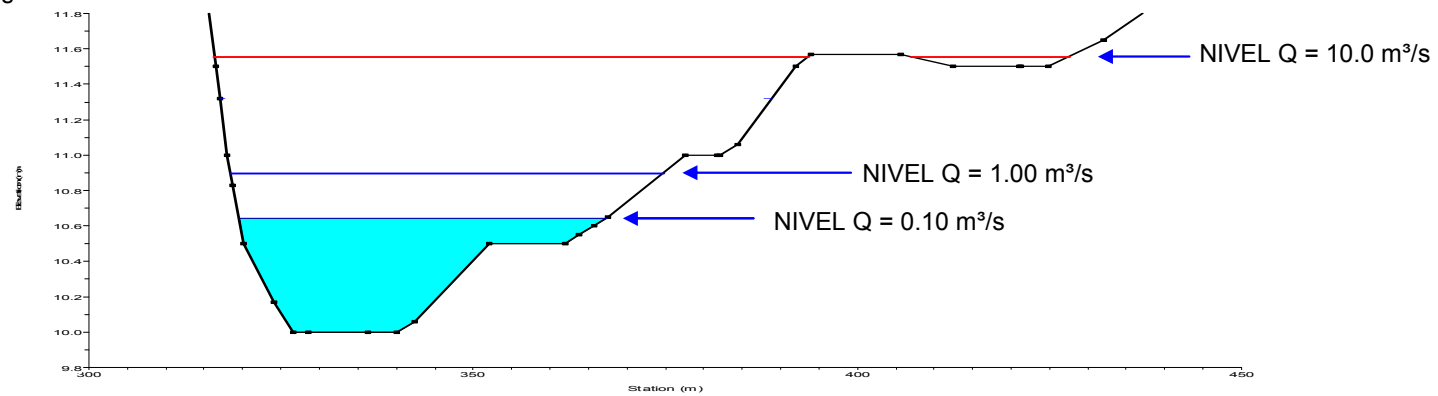
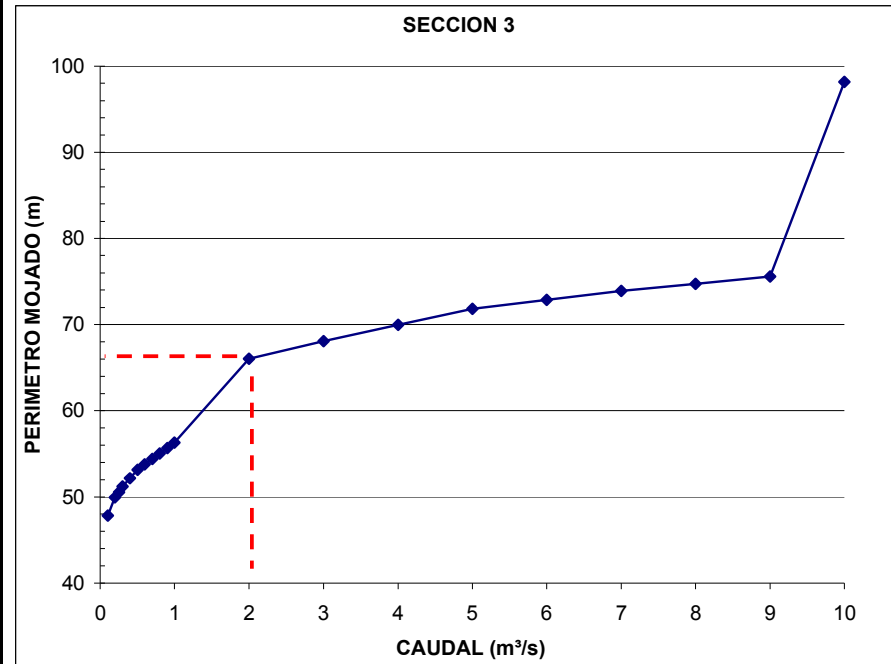
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	65.05	63.63	10.643	3.143
2	0.20	65.29	63.84	10.700	3.200
3	0.25	65.37	63.91	10.720	3.220
4	0.30	65.46	63.99	10.740	3.240
5	0.40	65.59	64.10	10.770	3.270
6	0.50	65.71	64.21	10.800	3.300
7	0.60	65.80	64.28	10.820	3.320
8	0.70	65.88	64.36	10.840	3.340
9	0.80	65.96	64.43	10.860	3.360
10	0.90	66.05	64.51	10.880	3.380
11	1.00	66.13	64.58	10.900	3.400
12	2.00	66.72	65.24	11.040	3.540
13	3.00	67.77	66.26	11.140	3.640
14	4.00	68.71	67.18	11.230	3.730
15	5.00	69.65	68.10	11.320	3.820
16	6.00	70.17	68.61	11.370	3.870
17	7.00	70.69	69.12	11.420	3.920
18	8.00	71.11	69.53	11.460	3.960
19	9.00	71.53	69.94	11.500	4.000
20	10.00	72.15	70.55	11.560	4.060

Q.E. = 5 m³/s



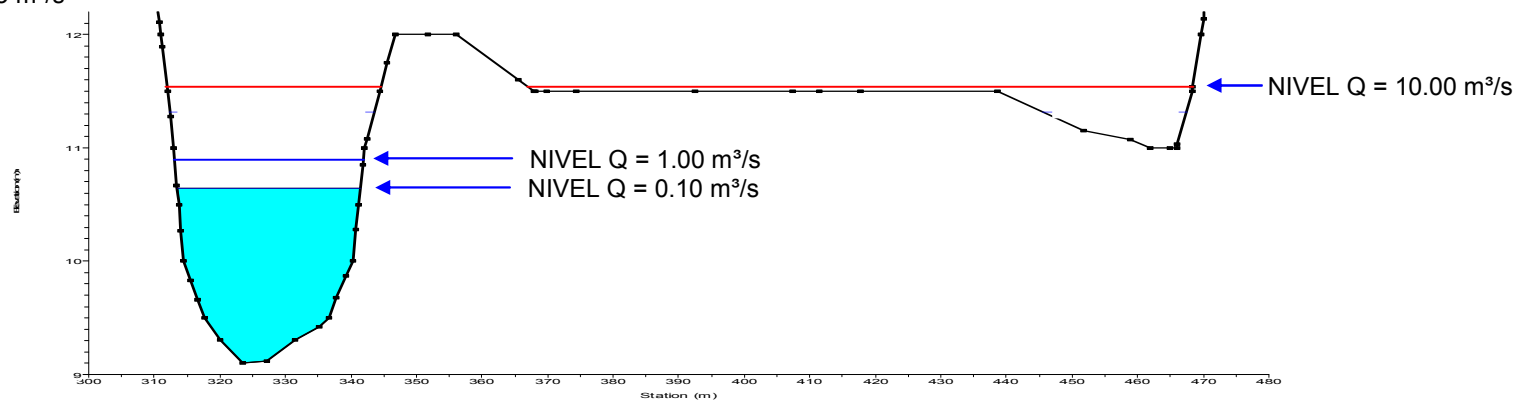
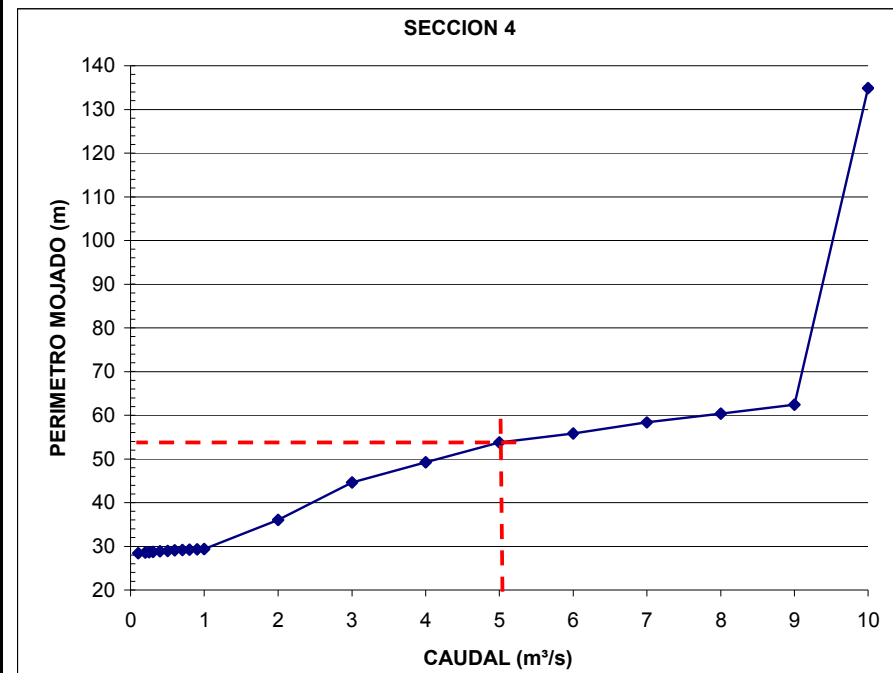
C-3 SECCION 3					TIRANTE Max. (m)	
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES	
					1	2
1	0.10	47.84	47.79	10.634	0.634	0
2	0.20	49.93	49.88	10.700	0.700	0
3	0.25	50.57	50.52	10.720	0.720	0
4	0.30	51.21	51.15	10.740	0.740	0
5	0.40	52.17	52.11	10.770	0.770	0
6	0.50	53.13	53.06	10.800	0.800	0
7	0.60	53.77	53.70	10.820	0.820	0
8	0.70	54.41	54.33	10.840	0.840	0
9	0.80	55.04	54.97	10.860	0.860	0
10	0.90	55.68	55.60	10.880	0.880	0
11	1.00	56.32	56.24	10.900	0.900	0
12	2.00	66.02	65.92	11.040	1.040	0
13	3.00	68.10	67.97	11.140	1.140	0
14	4.00	69.96	69.82	11.230	1.230	0
15	5.00	71.83	71.67	11.320	1.320	0
16	6.00	72.86	72.70	11.370	1.370	0
17	7.00	73.90	73.73	11.420	1.420	0
18	8.00	74.73	74.55	11.460	1.460	0
19	9.00	75.56	75.37	11.500	1.500	0
20	10.00	98.16	97.96	11.560	1.560	0.06

Q.E. = 2 m³/s



C-4 SECCION 4					TIRANTE Max. (m)	
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES	
					1	2
1	0.10	28.38	27.92	10.643	1.543	0
2	0.20	28.60	28.11	10.700	1.600	0
3	0.25	28.67	28.16	10.718	1.618	0
4	0.30	28.74	28.23	10.737	1.637	0
5	0.40	28.87	28.33	10.770	1.670	0
6	0.50	28.96	28.41	10.795	1.695	0
7	0.60	29.06	28.50	10.820	1.720	0
8	0.70	29.13	28.56	10.840	1.740	0
9	0.80	29.21	28.63	10.860	1.760	0
10	0.90	29.29	28.69	10.880	1.780	0
11	1.00	29.34	28.74	10.895	1.795	0
12	2.00	36.00	35.32	11.040	1.940	0.040
13	3.00	44.61	43.88	11.140	2.040	0.140
14	4.00	49.18	48.41	11.230	2.130	0.230
15	5.00	53.75	52.94	11.320	2.220	0.320
16	6.00	55.78	54.95	11.360	2.260	0.360
17	7.00	58.32	57.46	11.410	2.310	0.410
18	8.00	60.35	59.48	11.450	2.350	0.450
19	9.00	62.38	61.49	11.490	2.390	0.490
20	10.00	134.93	134.01	11.540	2.440	0.54

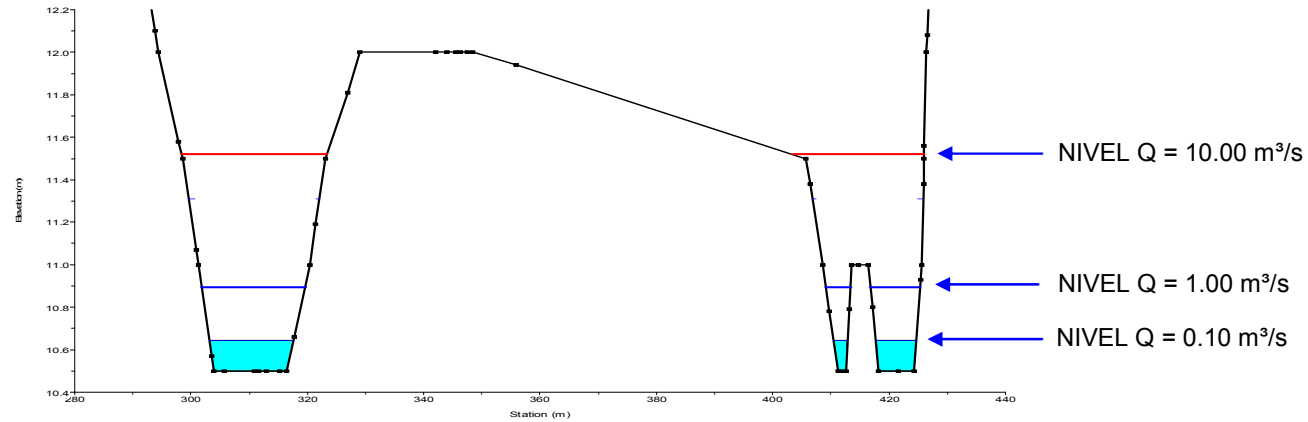
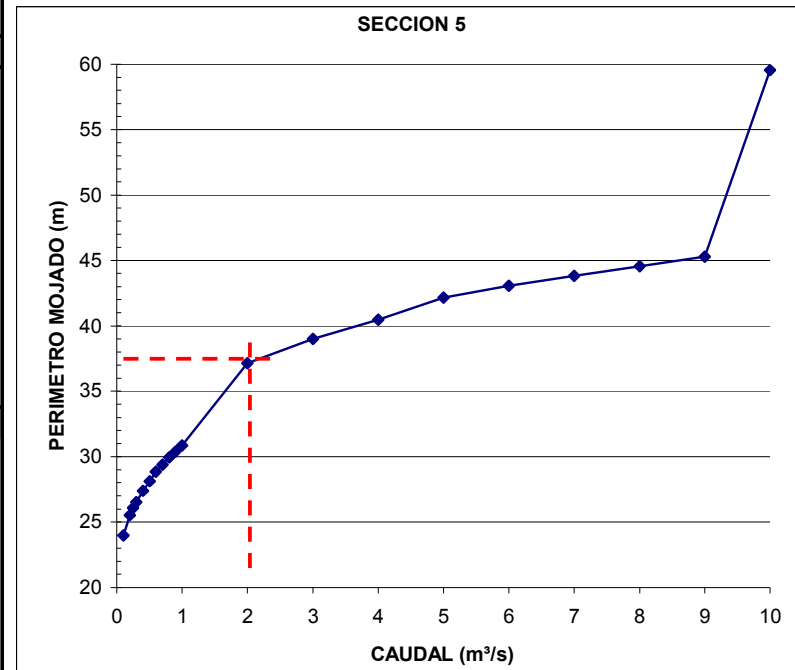
Q.E. = 5 m³/s



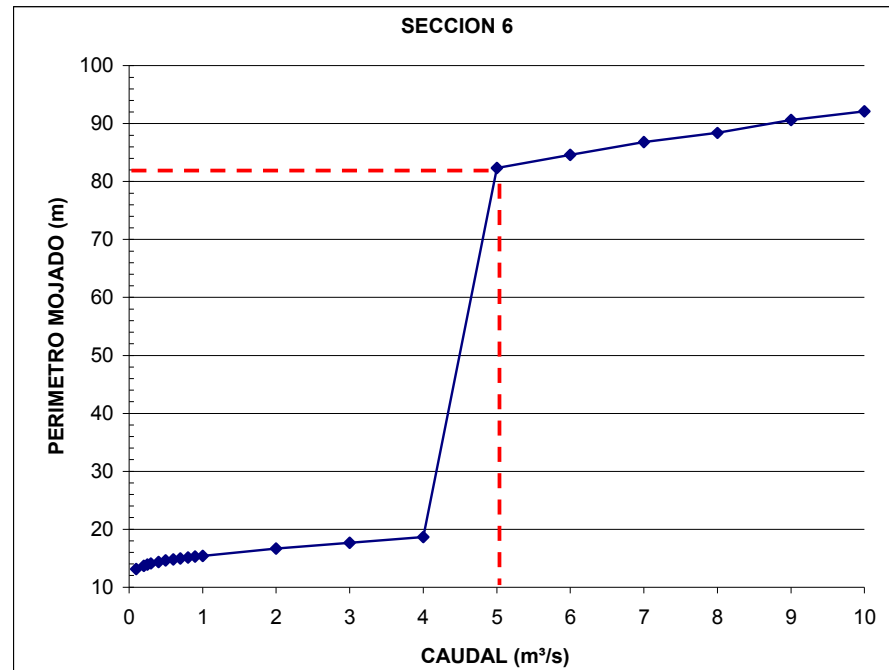
C-5 SECCION 5

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIRANTE Max. (m) CANALES		
					1	2	3
1	0.10	23.98	23.86	10.643	0.143	0.143	0.143
2	0.20	25.54	25.38	10.700	0.200	0.200	0.200
3	0.25	26.09	25.91	10.720	0.220	0.220	0.220
4	0.30	26.53	26.34	10.736	0.236	0.236	0.236
5	0.40	27.38	27.16	10.767	0.267	0.267	0.267
6	0.50	28.12	27.88	10.794	0.294	0.294	0.294
7	0.60	28.83	28.57	10.820	0.320	0.320	0.320
8	0.70	29.38	29.10	10.840	0.340	0.340	0.340
9	0.80	29.93	29.64	10.860	0.360	0.360	0.360
10	0.90	30.40	30.09	10.877	0.377	0.377	0.377
11	1.00	30.86	30.54	10.894	0.394	0.394	0.394
12	2.00	37.15	36.68	11.040	0.540	0.540	0.540
13	3.00	39.00	38.46	11.140	0.640	0.640	0.640
14	4.00	40.48	39.88	11.220	0.720	0.720	0.720
15	5.00	42.14	41.48	11.310	0.810	0.810	0.810
16	6.00	43.07	42.37	11.360	0.860	0.860	0.860
17	7.00	43.81	43.09	11.400	0.900	0.900	0.900
18	8.00	44.55	43.80	11.440	0.940	0.940	0.940
19	9.00	45.29	44.51	11.480	0.980	0.980	0.980
20	10.00	59.54	57.59	11.520	1.020	1.020	1.020

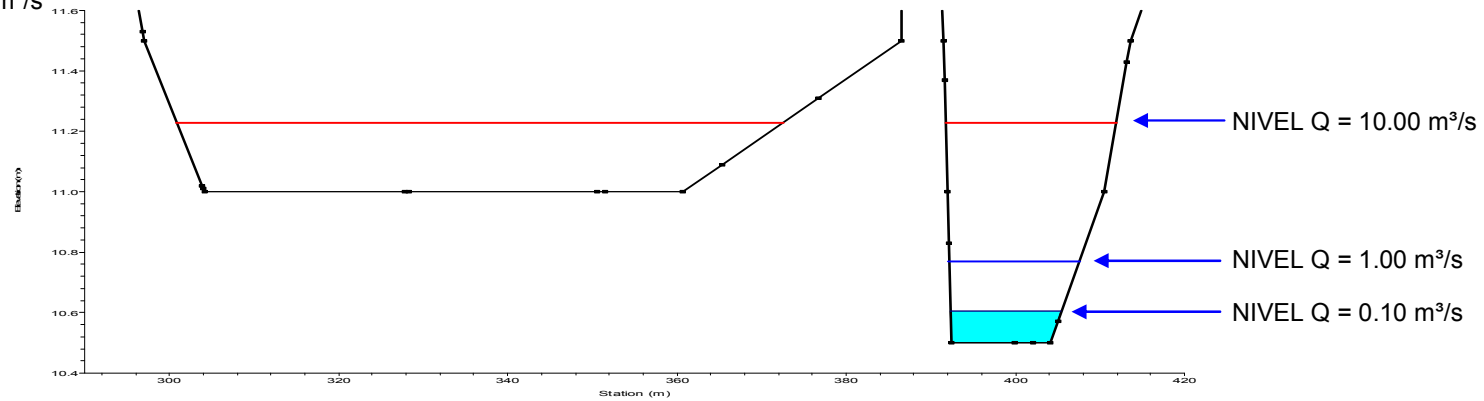
Q.E. = 2 m³/s



C-6 SECCION 6					TIRANTE Max. (m)	
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES	
					1	2
1	0.10	13.09	13.08	10.604	0	0.104
2	0.20	13.68	13.65	10.646	0	0.146
3	0.25	13.90	13.86	10.662	0	0.162
4	0.30	14.09	14.04	10.675	0	0.175
5	0.40	14.36	14.31	10.695	0	0.195
6	0.50	14.59	14.52	10.711	0	0.211
7	0.60	14.78	14.71	10.725	0	0.225
8	0.70	14.95	14.87	10.737	0	0.237
9	0.80	15.13	15.05	10.750	0	0.250
10	0.90	15.27	15.19	10.760	0	0.260
11	1.00	15.41	15.32	10.770	0	0.270
12	2.00	16.67	16.53	10.860	0	0.360
13	3.00	17.65	17.48	10.930	0	0.430
14	4.00	18.63	18.42	11.000	0	0.500
15	5.00	82.33	82.03	11.100	0.100	0.600
16	6.00	84.59	84.28	11.130	0.130	0.630
17	7.00	86.86	86.53	11.160	0.160	0.660
18	8.00	88.37	88.02	11.180	0.180	0.680
19	9.00	90.63	90.27	11.210	0.210	0.710
20	10.00	92.14	91.77	11.230	0.230	0.730



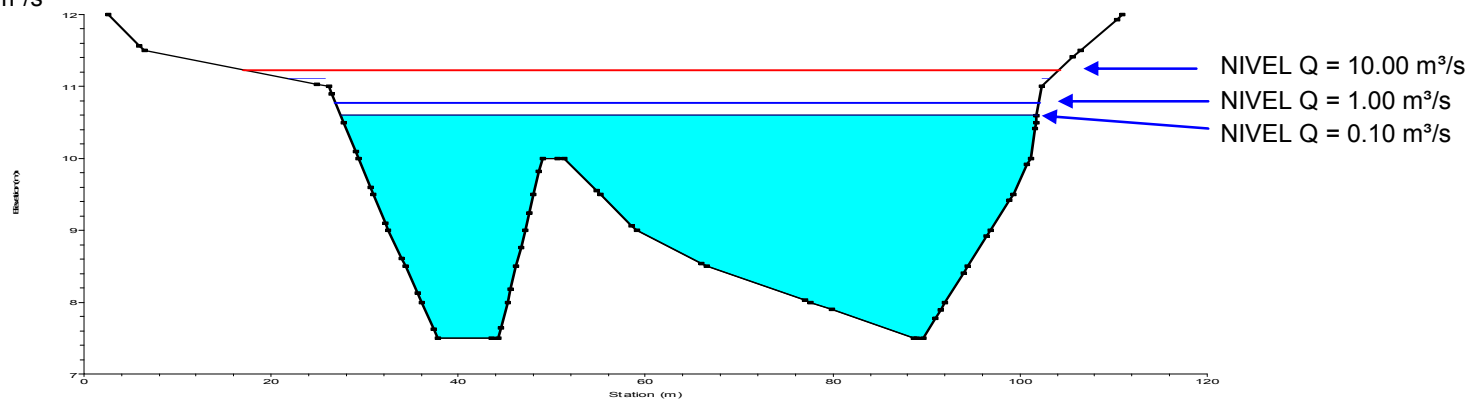
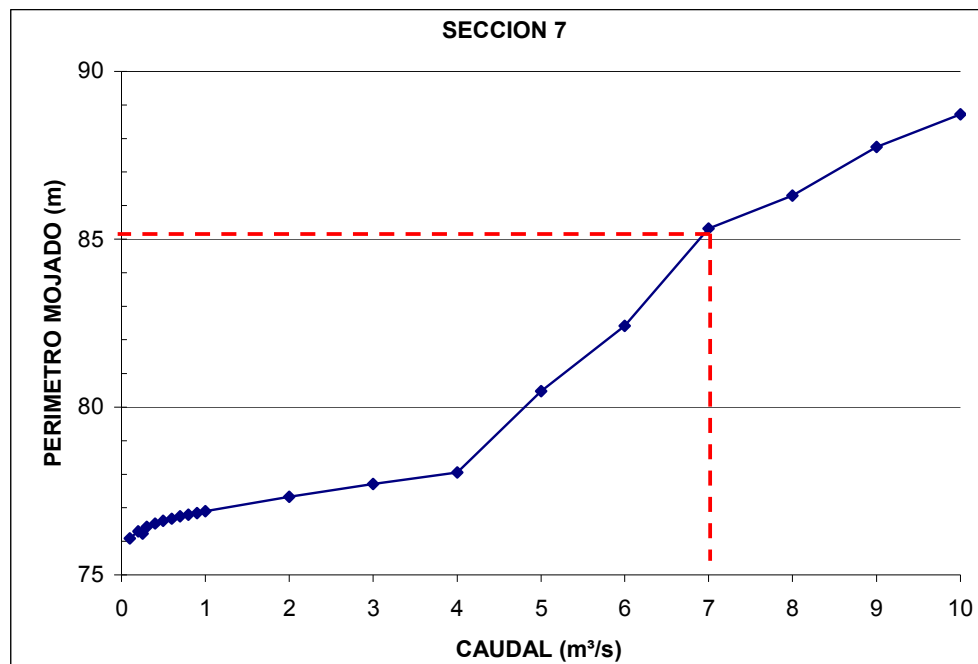
Q.E. = 5 m³/s



C-7 SECCION 7

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	76.08	74.40	10.604	3.104
2	0.20	76.29	74.59	10.647	3.147
3	0.25	76.23	74.53	10.633	3.133
4	0.30	76.43	74.71	10.675	3.175
5	0.40	76.53	74.80	10.696	3.196
6	0.50	76.61	74.87	10.713	3.213
7	0.60	76.68	74.93	10.726	3.226
8	0.70	76.74	74.99	10.740	3.240
9	0.80	76.79	75.03	10.750	3.250
10	0.90	76.85	75.08	10.761	3.261
11	1.00	76.89	75.12	10.771	3.271
12	2.00	77.32	75.50	10.860	3.360
13	3.00	77.71	75.85	10.940	3.440
14	4.00	78.05	76.47	11.010	3.510
15	5.00	80.48	78.89	11.060	3.560
16	6.00	82.41	80.83	11.100	3.600
17	7.00	85.32	83.73	11.160	3.660
18	8.00	86.29	84.70	11.180	3.680
19	9.00	87.75	86.15	11.210	3.710
20	10.00	88.72	87.12	11.230	3.730

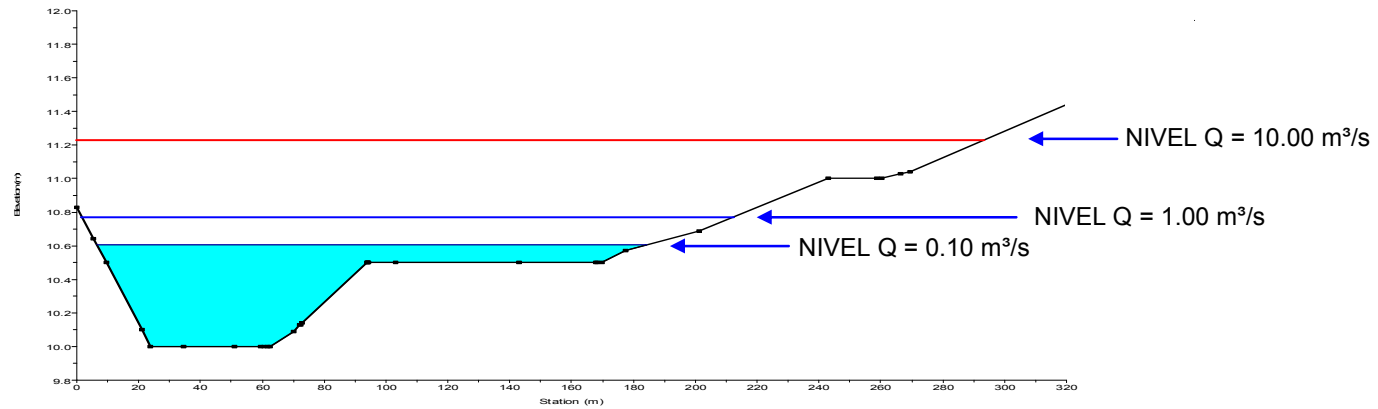
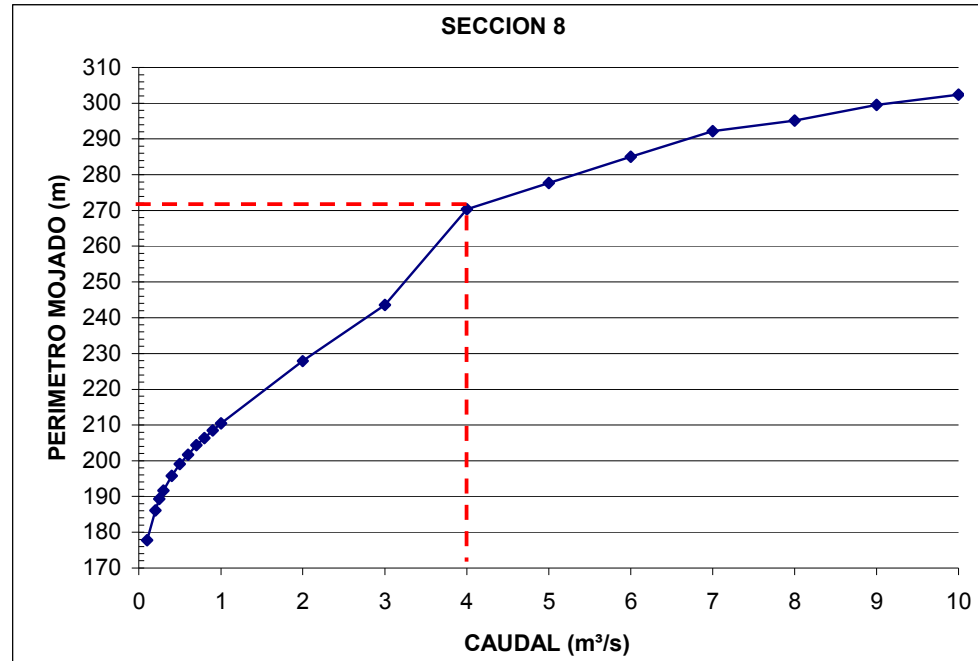
Q.E. = 7 m³/s



C-8 SECCION 8

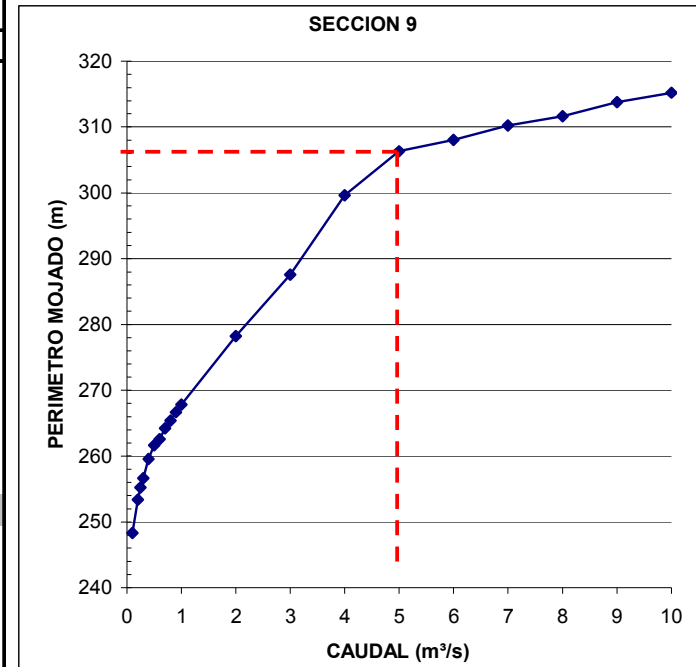
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	177.73	177.71	10.604	0.604
2	0.20	186.15	186.14	10.647	0.647
3	0.25	189.29	189.27	10.663	0.663
4	0.30	191.64	191.63	10.675	0.675
5	0.40	195.76	195.74	10.696	0.696
6	0.50	199.09	199.07	10.713	0.713
7	0.60	201.64	201.62	10.726	0.726
8	0.70	204.38	204.36	10.740	0.740
9	0.80	206.34	206.32	10.750	0.750
10	0.90	208.50	208.48	10.761	0.761
11	1.00	210.46	210.44	10.771	0.771
12	2.00	227.90	227.88	10.860	0.860
13	3.00	243.58	243.56	10.940	0.940
14	4.00	270.37	261.54	11.010	1.010
15	5.00	277.65	268.77	11.060	1.060
16	6.00	285.04	275.50	11.100	1.100
17	7.00	292.22	283.24	11.160	1.160
18	8.00	295.13	286.13	11.180	1.180
19	9.00	299.50	290.47	11.210	1.210
20	10.00	302.41	293.36	11.230	1.230

Q.E. = 4 m³/s

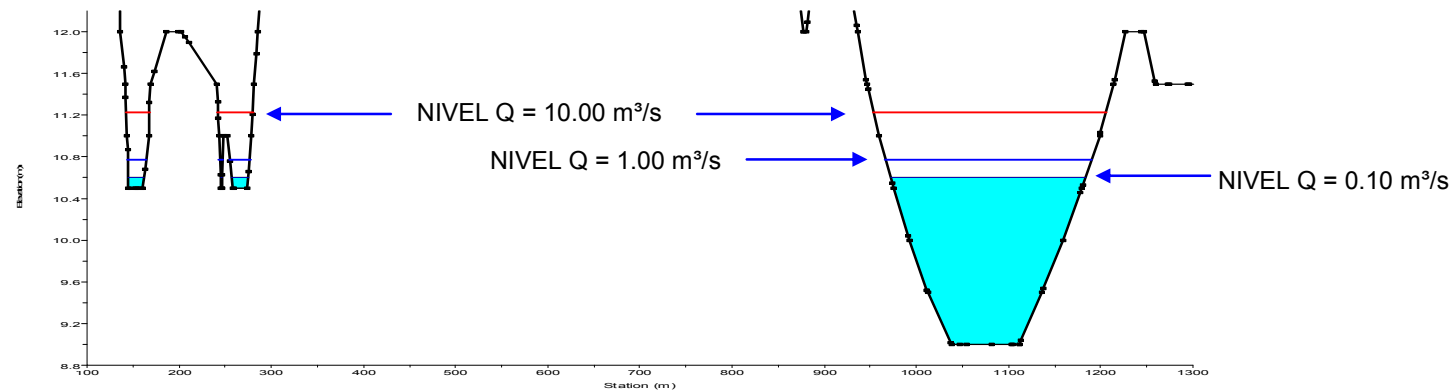


C-9 SECCION 9

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIRANTE Max. (m) CANALES			
					1	2	3	4
1	0.10	248.35	248.25	10.604	0.104	0.104	0.104	1.604
2	0.20	253.37	253.24	10.647	0.147	0.147	0.147	1.647
3	0.25	255.24	255.10	10.663	0.163	0.163	0.163	1.663
4	0.30	256.64	256.49	10.675	0.175	0.175	0.175	1.675
5	0.40	259.56	259.40	10.700	0.200	0.200	0.200	1.700
6	0.50	261.66	261.49	10.718	0.218	0.218	0.218	1.718
7	0.60	262.59	262.42	10.726	0.226	0.226	0.226	1.726
8	0.70	264.22	264.04	10.740	0.240	0.240	0.240	1.740
9	0.80	265.39	265.20	10.750	0.250	0.250	0.250	1.750
10	0.90	266.68	266.48	10.761	0.261	0.261	0.261	1.761
11	1.00	267.84	267.64	10.771	0.271	0.271	0.271	1.771
12	2.00	278.23	277.97	10.860	0.360	0.360	0.360	1.860
13	3.00	287.57	287.26	10.940	0.440	0.440	0.440	1.940
14	4.00	299.59	299.24	11.010	0.510	0.510	0.510	2.010
15	5.00	306.34	305.93	11.105	0.605	0.605	0.605	2.105
16	6.00	308.03	307.86	11.070	0.570	0.570	0.570	2.070
17	7.00	310.24	309.81	11.160	0.660	0.660	0.660	2.160
18	8.00	311.66	311.22	11.180	0.680	0.680	0.680	2.180
19	9.00	313.79	313.33	11.210	0.710	0.710	0.710	2.210
20	10.00	315.21	314.74	11.230	0.730	0.730	0.730	2.230

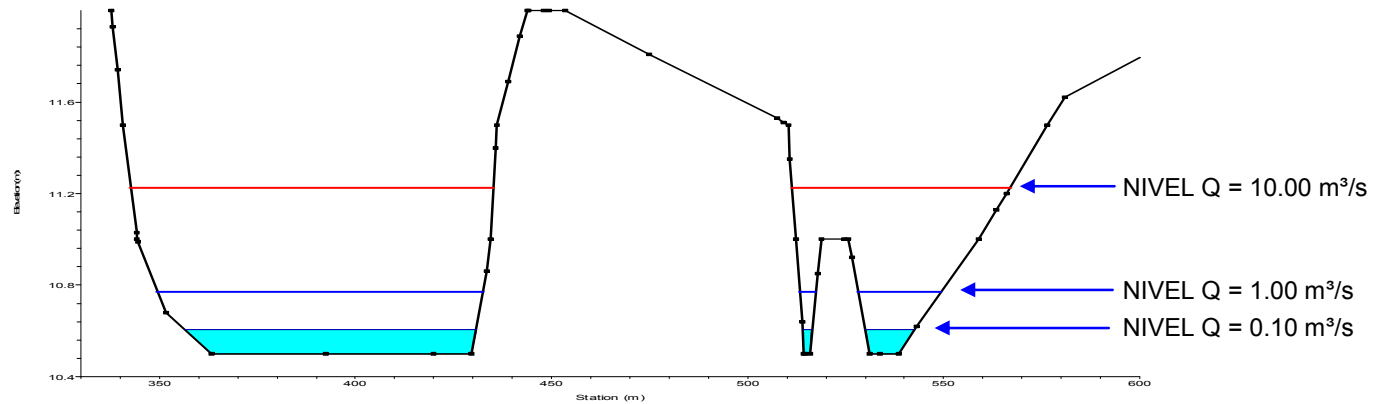
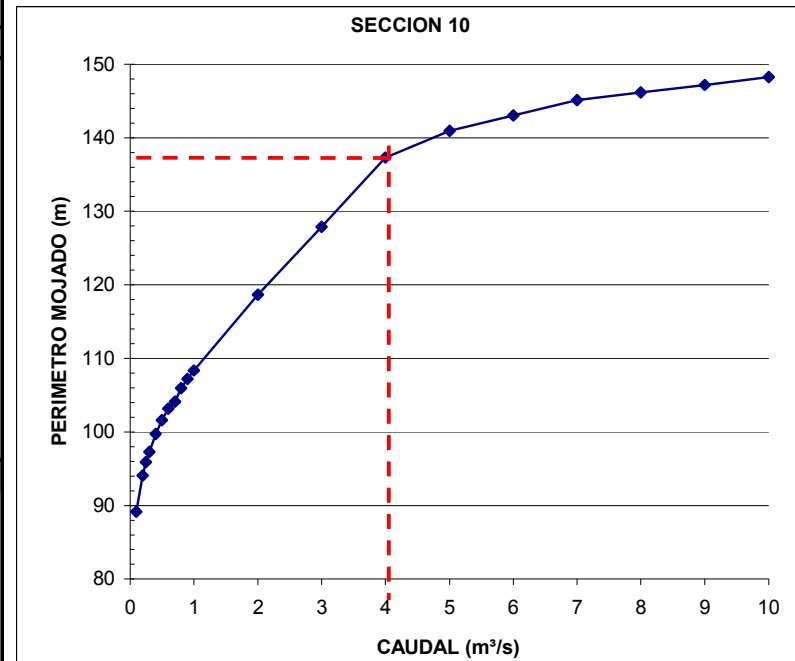


Q.E. = 5 m³/s



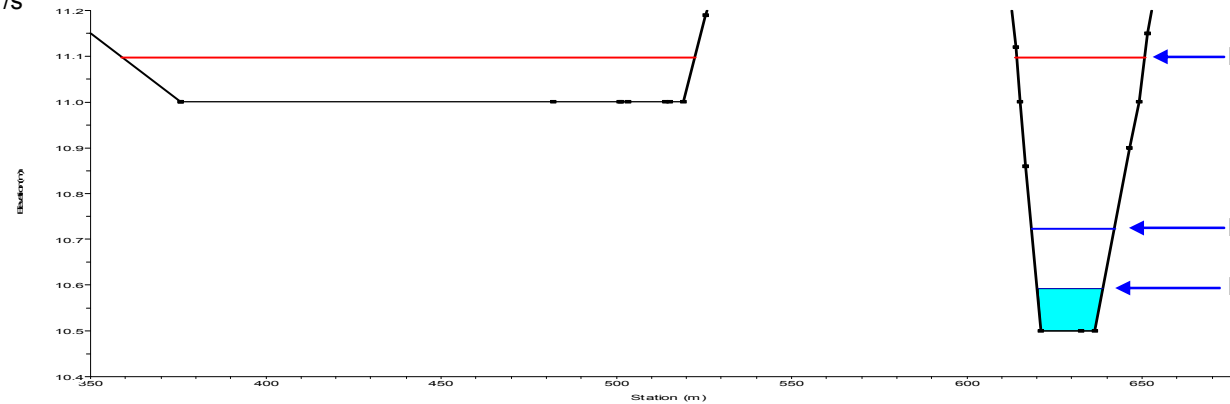
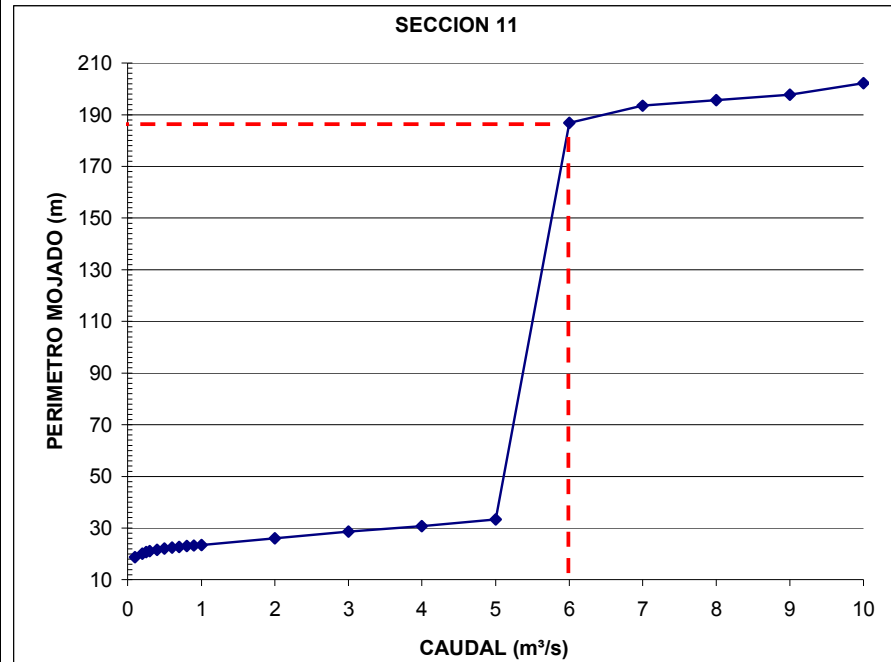
C 10 SECCION 10					TIRANTE Max. (m)		
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES		
					1	2	3
1	0.10	89.12	89.09	10.604	0.104	0.104	0.104
2	0.20	94.08	94.03	10.647	0.147	0.147	0.147
3	0.25	95.93	95.87	10.663	0.163	0.163	0.163
4	0.30	97.31	97.25	10.675	0.175	0.175	0.175
5	0.40	99.73	99.67	10.696	0.196	0.196	0.196
6	0.50	101.57	101.51	10.712	0.212	0.212	0.212
7	0.60	103.19	103.12	10.726	0.226	0.226	0.226
8	0.70	104.11	104.04	10.734	0.234	0.234	0.234
9	0.80	105.96	105.88	10.750	0.250	0.250	0.250
10	0.90	107.22	107.14	10.761	0.261	0.261	0.261
11	1.00	108.38	108.29	10.771	0.271	0.271	0.271
12	2.00	118.64	118.52	10.790	0.290	0.290	0.290
13	3.00	127.86	127.72	10.860	0.360	0.360	0.360
14	4.00	137.30	137.13	11.010	0.510	0.510	0.510
15	5.00	140.95	140.75	11.080	0.580	0.580	0.580
16	6.00	143.03	142.82	11.120	0.620	0.620	0.620
17	7.00	145.11	144.89	11.160	0.660	0.660	0.660
18	8.00	146.15	145.92	11.180	0.680	0.680	0.680
19	9.00	147.19	146.96	11.200	0.700	0.700	0.700
20	10.00	148.24	147.99	11.220	0.720	0.720	0.720

Q.E. = 4 m³/s

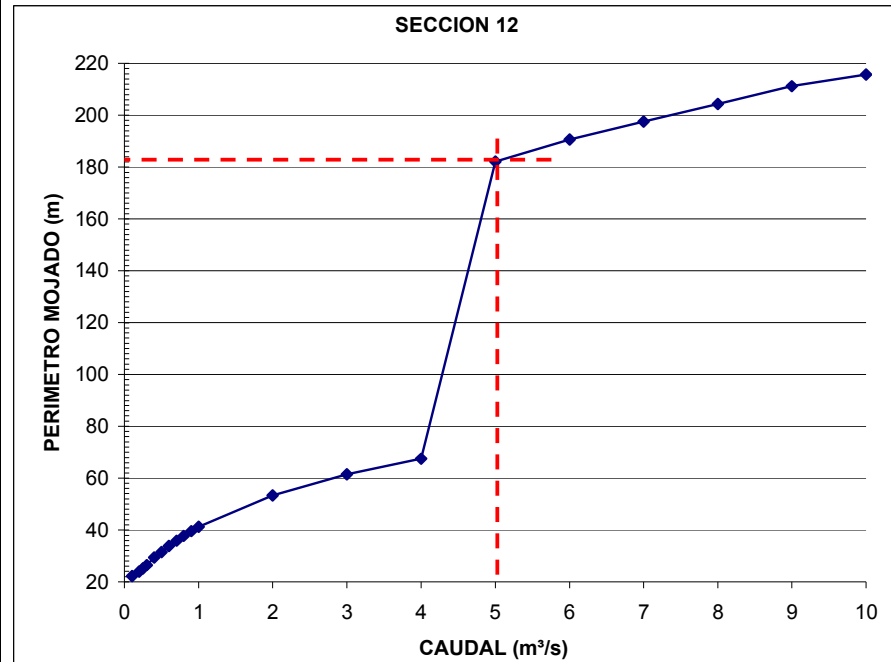


C-11 SECCION 11					TIRANTE Max. (m)	
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES	
					1	2
1	0.10	18.68	18.67	10.592	0	0.092
2	0.20	20.16	20.15	10.632	0	0.132
3	0.25	20.64	20.63	10.645	0	0.145
4	0.30	21.04	21.03	10.656	0	0.156
5	0.40	21.64	21.63	10.672	0	0.172
6	0.50	22.12	22.11	10.685	0	0.185
7	0.60	22.45	22.44	10.694	0	0.194
8	0.70	22.67	22.66	10.700	0	0.200
9	0.80	23.04	23.03	10.710	0	0.210
10	0.90	23.30	23.29	10.717	0	0.217
11	1.00	23.52	23.51	10.723	0	0.223
12	2.00	26.00	25.99	10.790	0	0.290
13	3.00	28.59	28.57	10.860	0	0.360
14	4.00	30.81	30.79	10.920	0	0.420
15	5.00	33.40	33.37	10.990	0	0.490
16	6.00	186.89	184.69	11.030	0.030	0.530
17	7.00	193.47	191.26	11.060	0.060	0.560
18	8.00	195.66	193.46	11.070	0.070	0.570
19	9.00	197.85	195.65	11.080	0.080	0.580
20	10.00	202.24	200.03	11.100	0.100	0.600

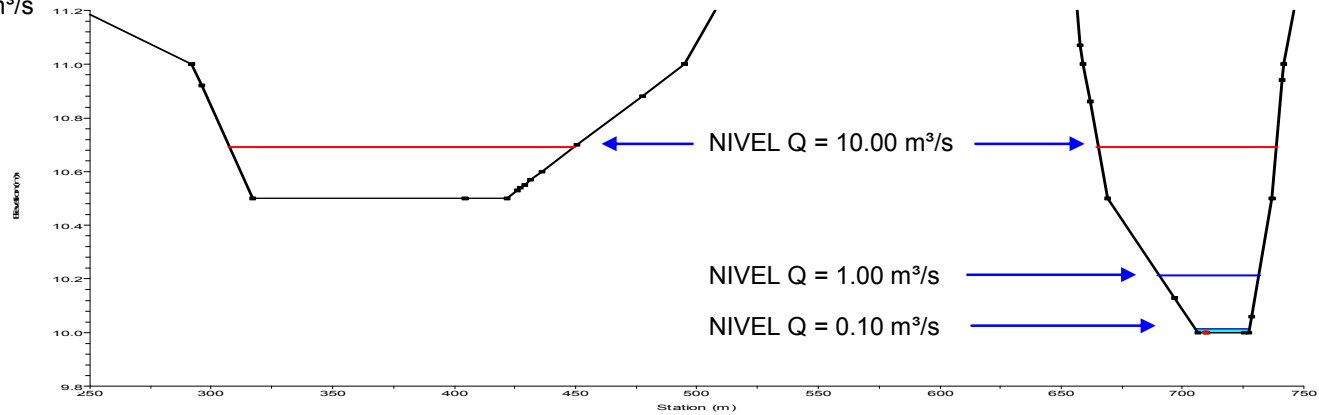
Q.E. = 6 m³/s



C-12 SECCION 12					TIRANTE Max. (m)	
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES	
					1	2
1	0.10	22.18	22.18	10.015	0	0.015
2	0.20	23.99	23.99	10.034	0	0.034
3	0.25	25.23	25.23	10.047	0	0.047
4	0.30	26.47	26.47	10.060	0	0.060
5	0.40	29.34	29.33	10.090	0	0.090
6	0.50	31.44	31.43	10.112	0	0.112
7	0.60	33.72	33.72	10.136	0	0.136
8	0.70	35.82	35.82	10.158	0	0.158
9	0.80	37.73	37.73	10.178	0	0.178
10	0.90	39.54	39.54	10.197	0	0.197
11	1.00	41.17	41.16	10.214	0	0.214
12	2.00	53.38	53.37	10.342	0	0.342
13	3.00	61.49	61.48	10.427	0	0.427
14	4.00	67.50	67.48	10.490	0	0.490
15	5.00	182.17	182.15	10.543	0.043	0.543
16	6.00	190.62	190.60	10.580	0.080	0.580
17	7.00	197.48	197.45	10.610	0.110	0.610
18	8.00	204.33	204.30	10.640	0.140	0.640
19	9.00	211.18	211.15	10.670	0.170	0.670
20	10.00	215.75	215.72	10.690	0.190	0.690



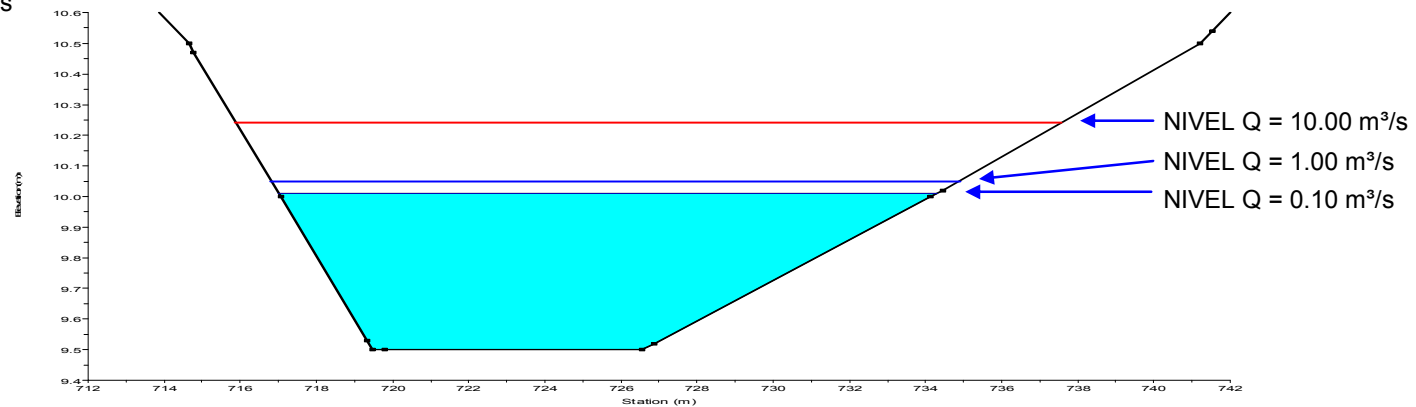
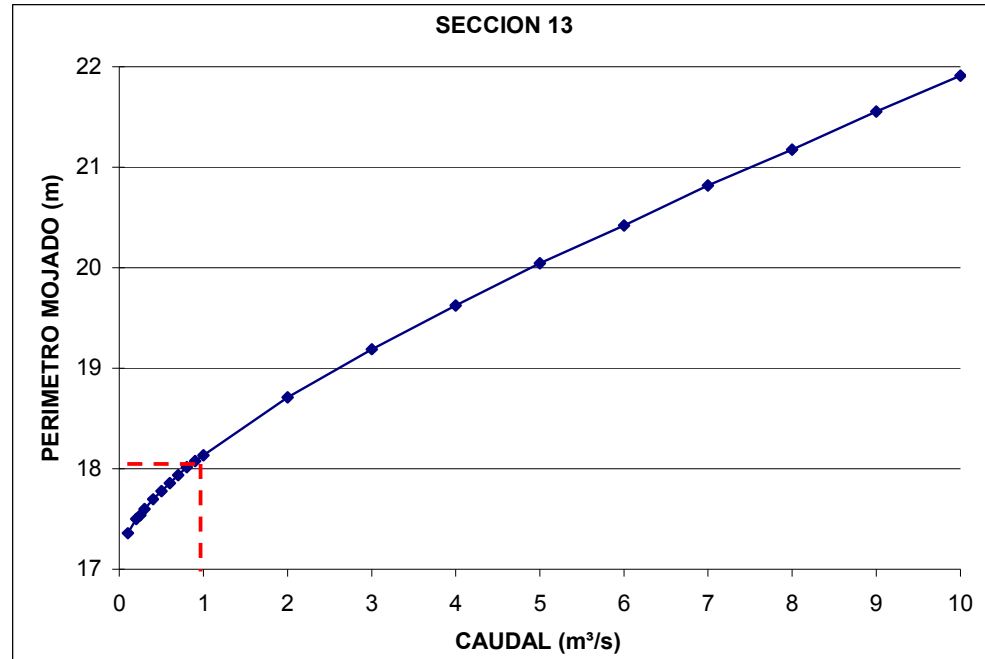
Q.E. = 5 m³/s



C-13 SECCION 13

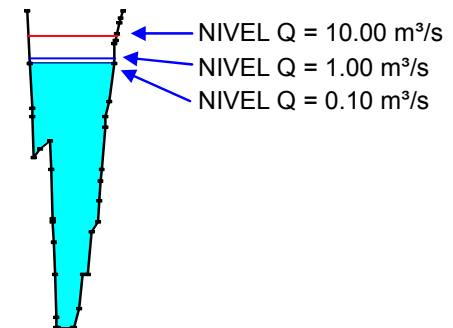
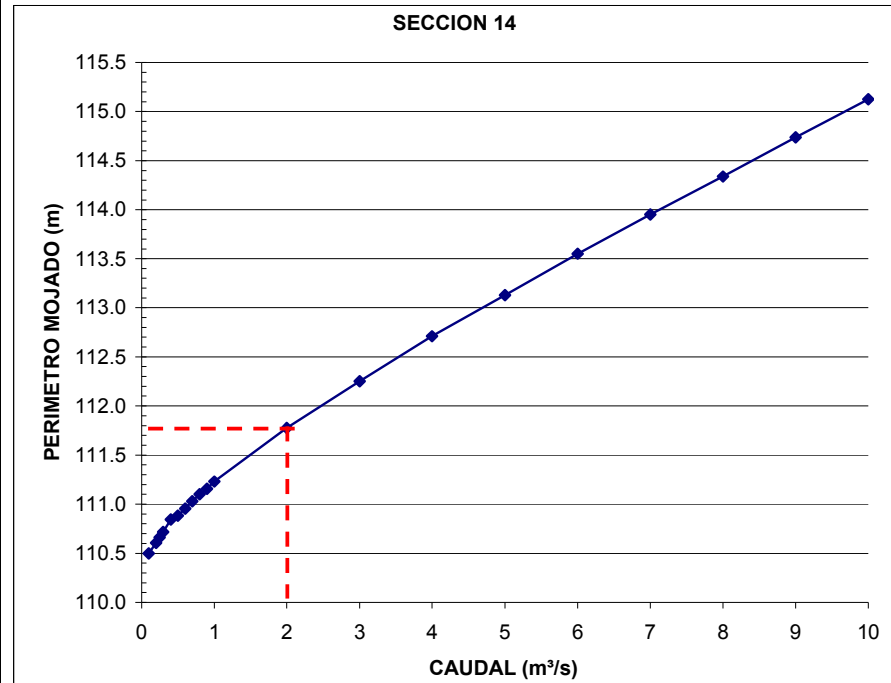
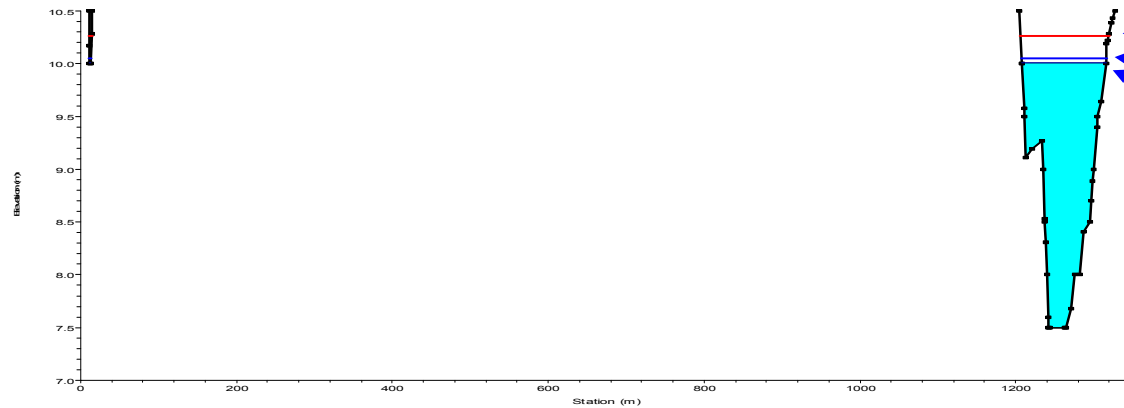
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	17.36	17.29	10.011	0.511
2	0.20	17.50	17.43	10.018	0.518
3	0.25	17.54	17.47	10.020	0.520
4	0.30	17.60	17.53	10.023	0.523
5	0.40	17.70	17.63	10.028	0.528
6	0.50	17.78	17.70	10.032	0.532
7	0.60	17.86	17.78	10.036	0.536
8	0.70	17.94	17.86	10.040	0.540
9	0.80	18.02	17.94	10.044	0.544
10	0.90	18.08	18.00	10.047	0.547
11	1.00	18.13	18.06	10.050	0.550
12	2.00	18.71	18.63	10.079	0.579
13	3.00	19.19	19.11	10.103	0.603
14	4.00	19.63	19.54	10.125	0.625
15	5.00	20.04	19.96	10.146	0.646
16	6.00	20.42	20.33	10.165	0.665
17	7.00	20.82	20.73	10.185	0.685
18	8.00	21.18	21.08	10.203	0.703
19	9.00	21.55	21.46	10.222	0.722
20	10.00	21.91	21.81	10.240	0.740

Q.E. = 0.80 m³/s



C-14 SECCION 14					TIRANTE Max. (m)	
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES	
					1	2
1	0.10	110.50	109.45	10.011	0.011	2.511
2	0.20	110.61	109.56	10.017	0.017	2.517
3	0.25	110.66	109.61	10.020	0.020	2.520
4	0.30	110.72	109.66	10.023	0.023	2.523
5	0.40	110.84	109.79	10.030	0.030	2.530
6	0.50	110.88	109.82	10.032	0.032	2.532
7	0.60	110.95	109.89	10.036	0.036	2.536
8	0.70	111.03	109.96	10.040	0.040	2.540
9	0.80	111.10	110.04	10.044	0.044	2.544
10	0.90	111.16	110.09	10.047	0.047	2.547
11	1.00	111.23	110.16	10.051	0.051	2.551
12	2.00	111.78	110.69	10.081	0.081	2.581
13	3.00	112.25	111.15	10.107	0.107	2.607
14	4.00	112.71	111.60	10.132	0.132	2.632
15	5.00	113.13	112.01	10.155	0.155	2.655
16	6.00	113.55	112.41	10.178	0.178	2.678
17	7.00	113.95	112.80	10.200	0.200	2.700
18	8.00	114.34	113.18	10.221	0.221	2.721
19	9.00	114.74	113.57	10.243	0.243	2.743
20	10.00	115.12	113.94	10.264	0.264	2.764

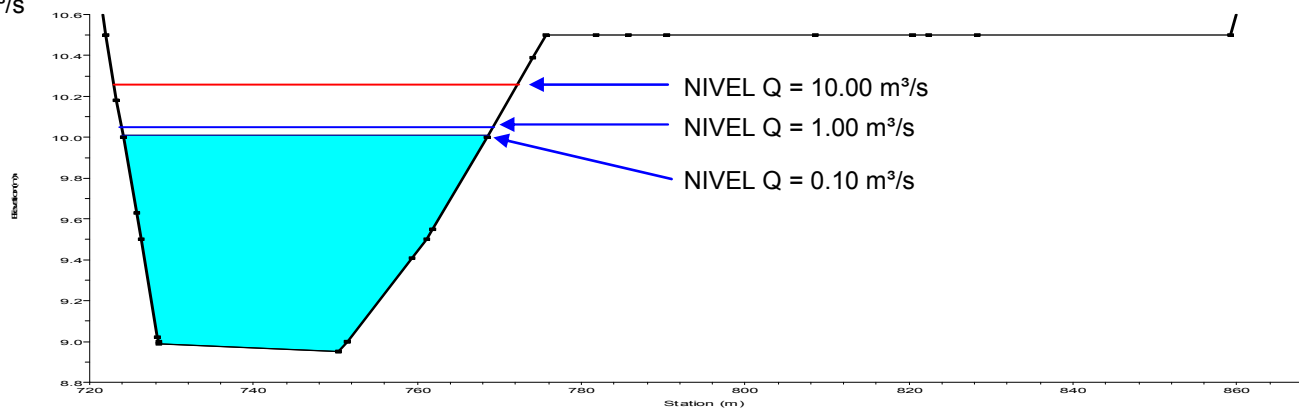
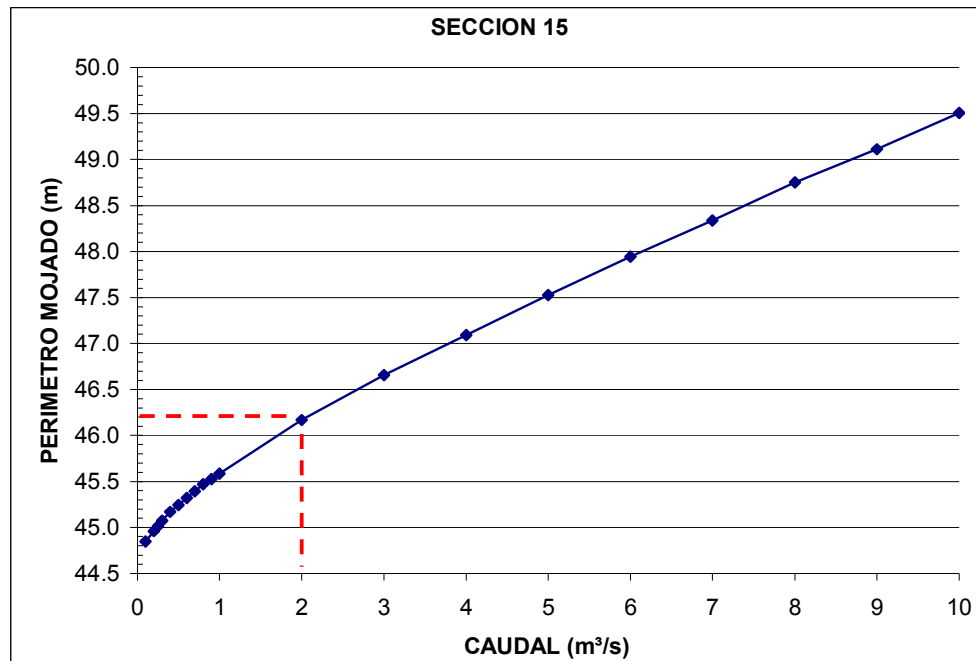
Q.E. = 2 m³/s

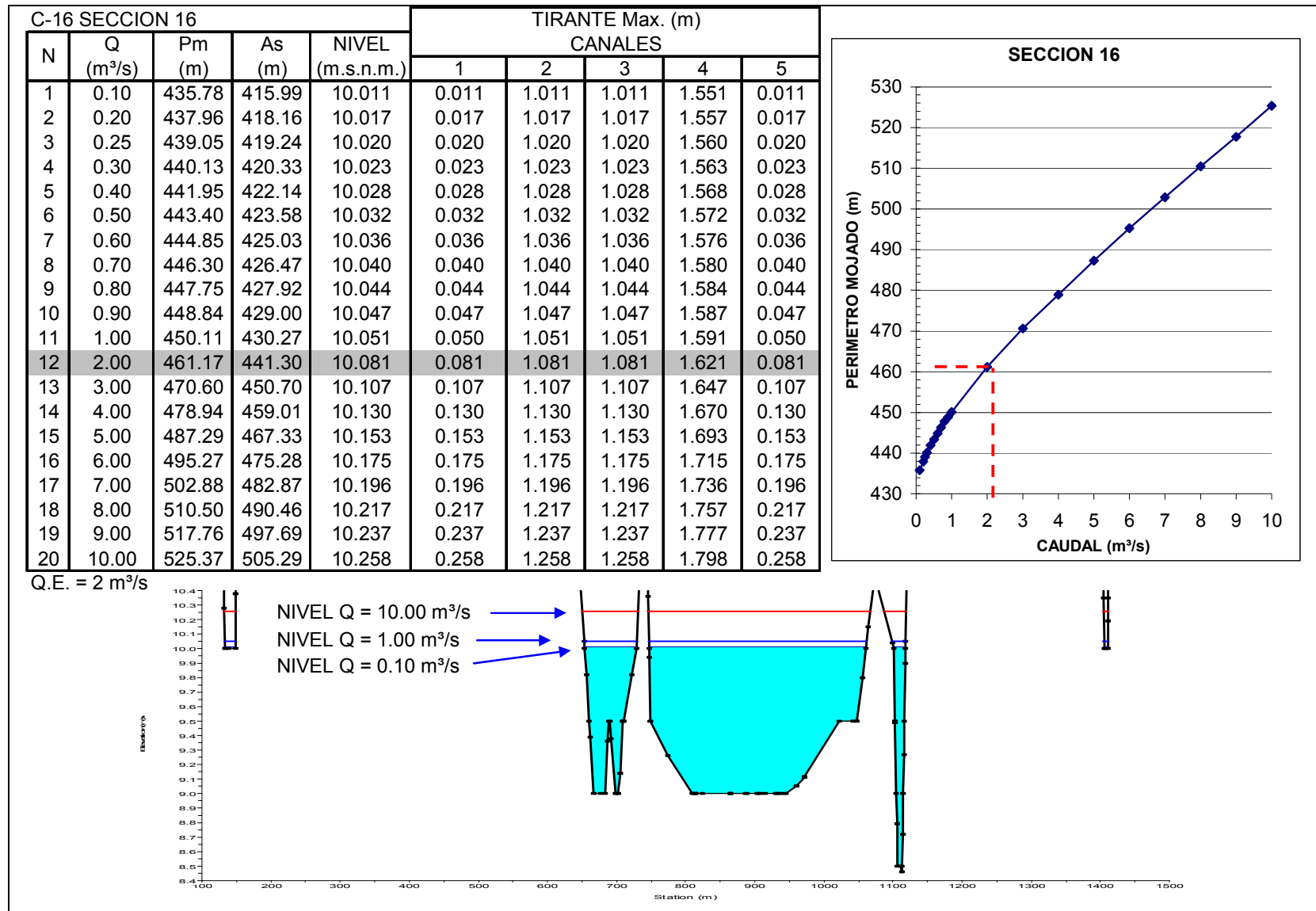


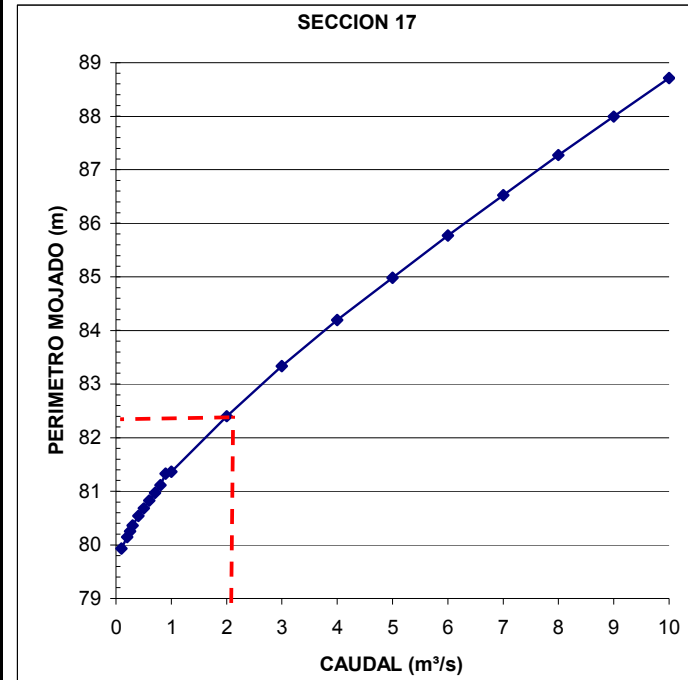
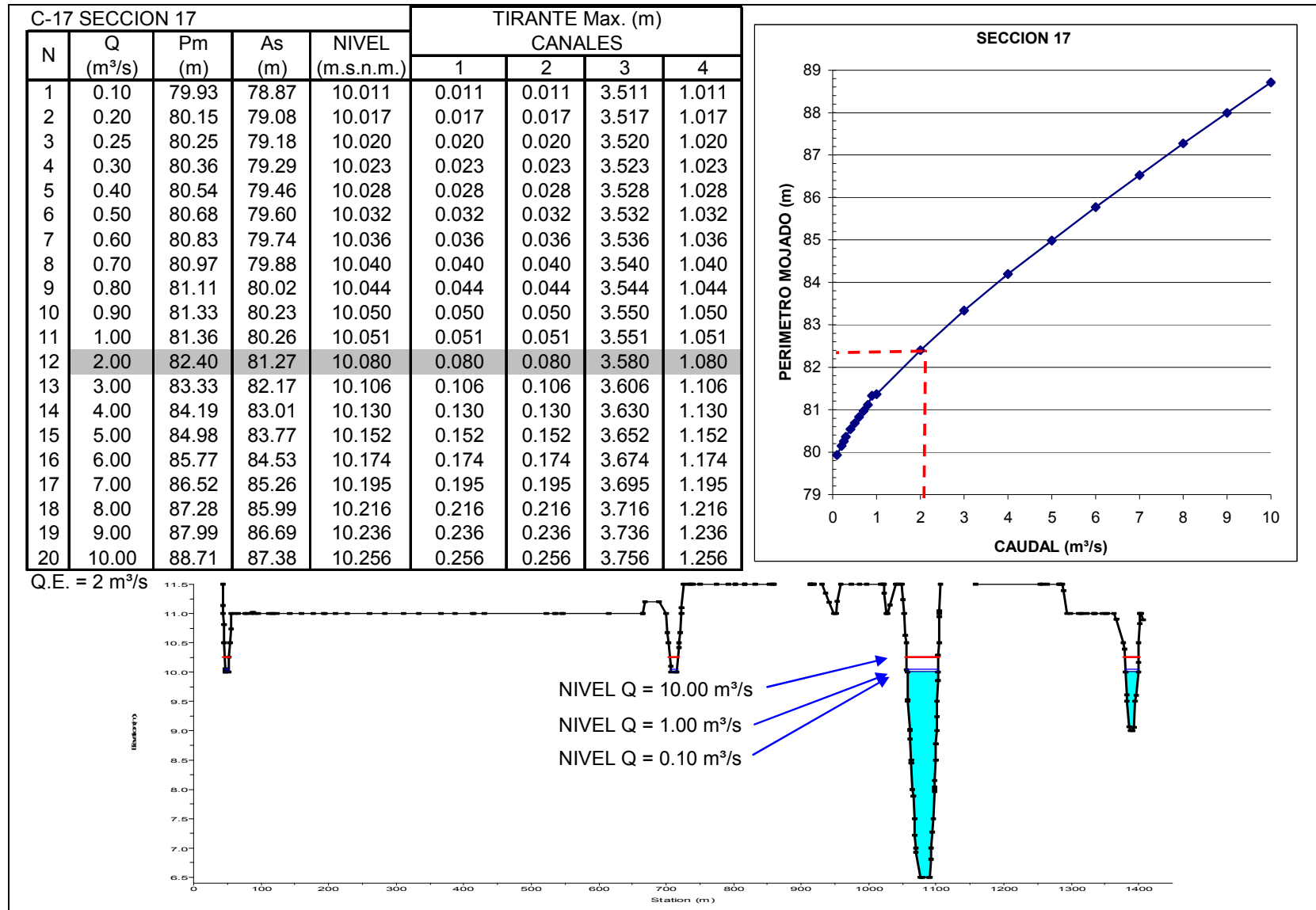
C-15 SECCION 15

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	44.85	44.70	10.011	1.061
2	0.20	44.96	44.81	10.017	1.067
3	0.25	45.02	44.87	10.020	1.070
4	0.30	45.07	44.92	10.023	1.073
5	0.40	45.17	45.02	10.028	1.078
6	0.50	45.24	45.09	10.032	1.082
7	0.60	45.32	45.17	10.036	1.086
8	0.70	45.39	45.24	10.040	1.090
9	0.80	45.47	45.32	10.044	1.094
10	0.90	45.53	45.37	10.047	1.097
11	1.00	45.58	45.43	10.050	1.100
12	2.00	46.17	46.01	10.081	1.131
13	3.00	46.66	46.50	10.107	1.157
14	4.00	47.09	46.93	10.130	1.180
15	5.00	47.53	47.36	10.153	1.203
16	6.00	47.94	47.77	10.175	1.225
17	7.00	48.34	48.16	10.196	1.246
18	8.00	48.75	48.57	10.218	1.268
19	9.00	49.11	48.93	10.237	1.287
20	10.00	49.51	49.32	10.258	1.308

Q.E. = 2 m³/s

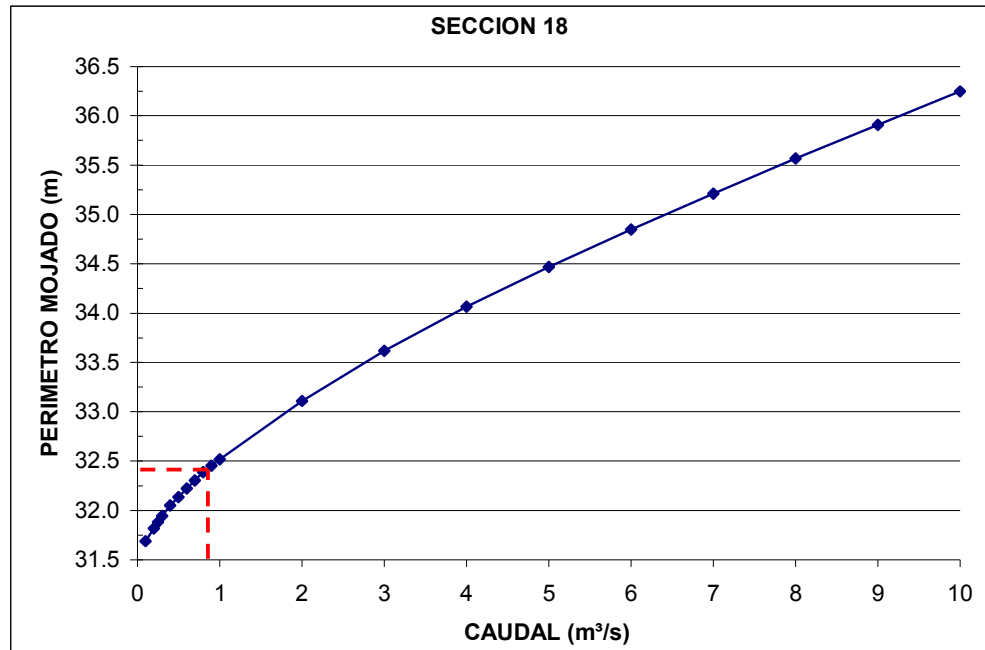




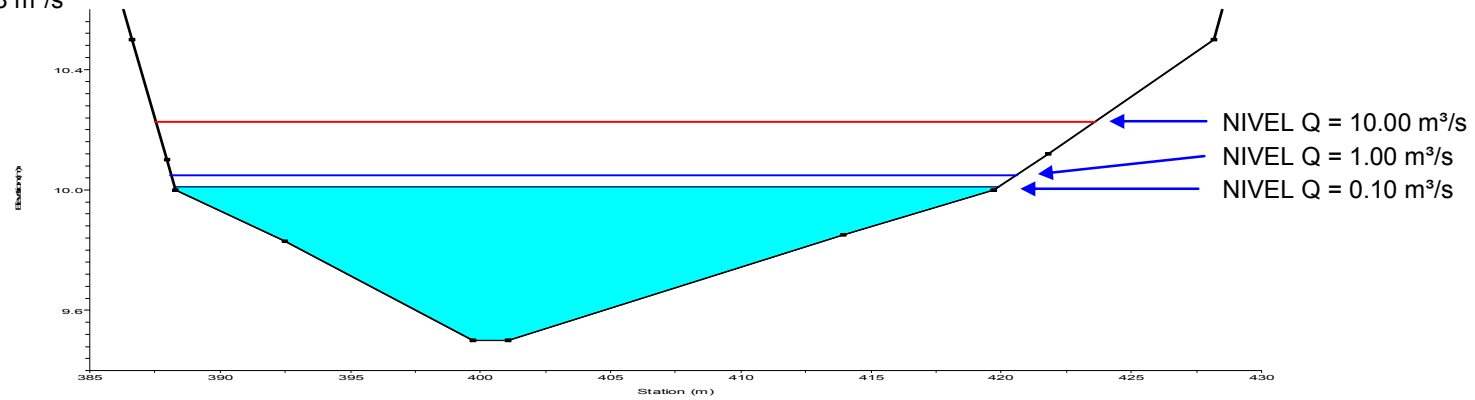


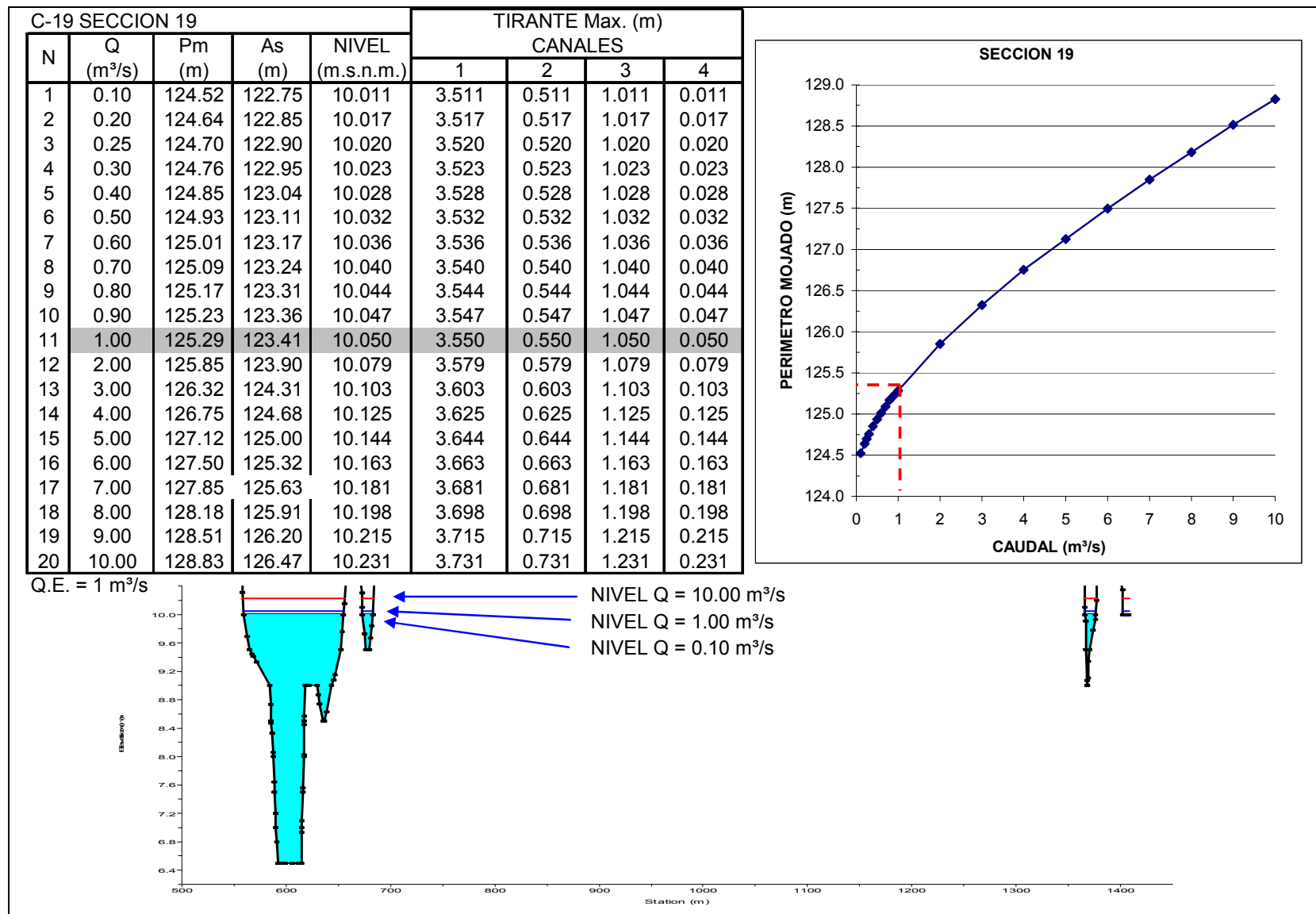
C-18 SECCION 18

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	31.69	31.67	10.011	0.511
2	0.20	31.82	31.80	10.017	0.517
3	0.25	31.88	31.86	10.020	0.520
4	0.30	31.94	31.92	10.023	0.523
5	0.40	32.05	32.03	10.028	0.528
6	0.50	32.14	32.11	10.032	0.532
7	0.60	32.22	32.20	10.036	0.536
8	0.70	32.30	32.28	10.040	0.540
9	0.80	32.39	32.36	10.044	0.544
10	0.90	32.45	32.43	10.047	0.547
11	1.00	32.52	32.49	10.050	0.550
12	2.00	33.11	33.08	10.078	0.578
13	3.00	33.62	33.58	10.102	0.602
14	4.00	34.06	34.02	10.123	0.623
15	5.00	34.47	34.42	10.142	0.642
16	6.00	34.85	34.80	10.160	0.660
17	7.00	35.21	35.16	10.177	0.677
18	8.00	35.57	35.52	10.194	0.694
19	9.00	35.91	35.85	10.210	0.710
20	10.00	36.25	36.19	10.226	0.726



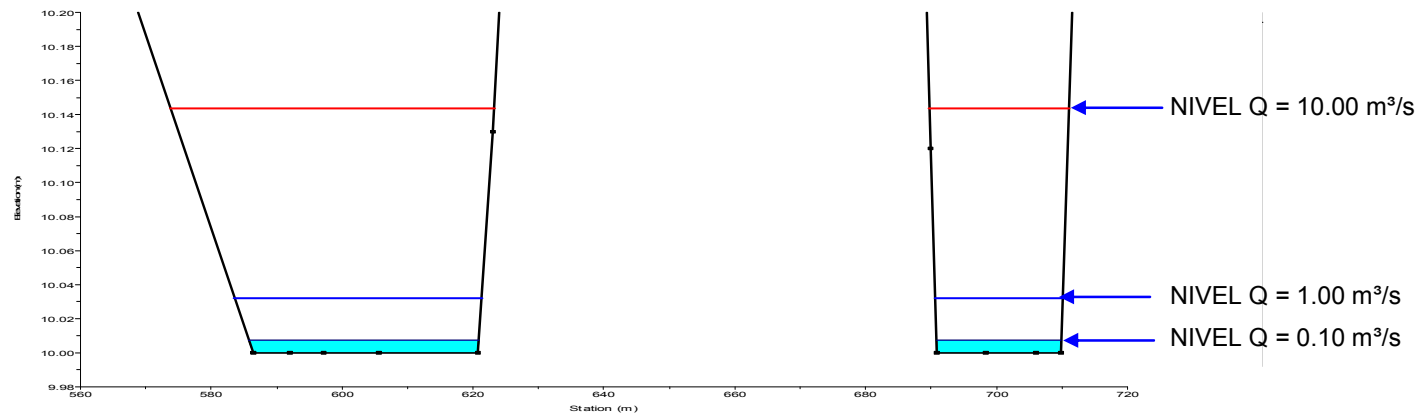
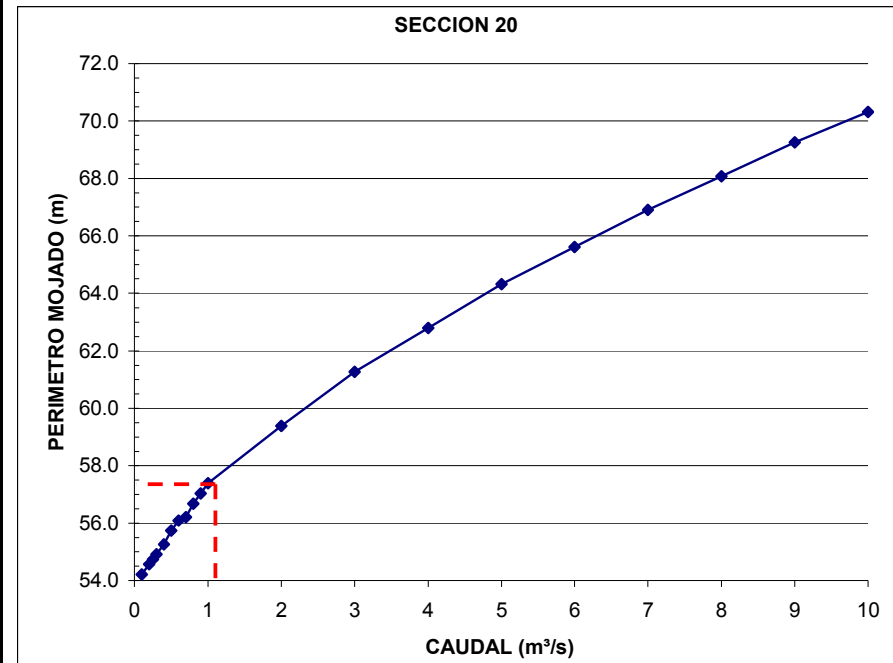
Q.E. = 0.8 m³/s

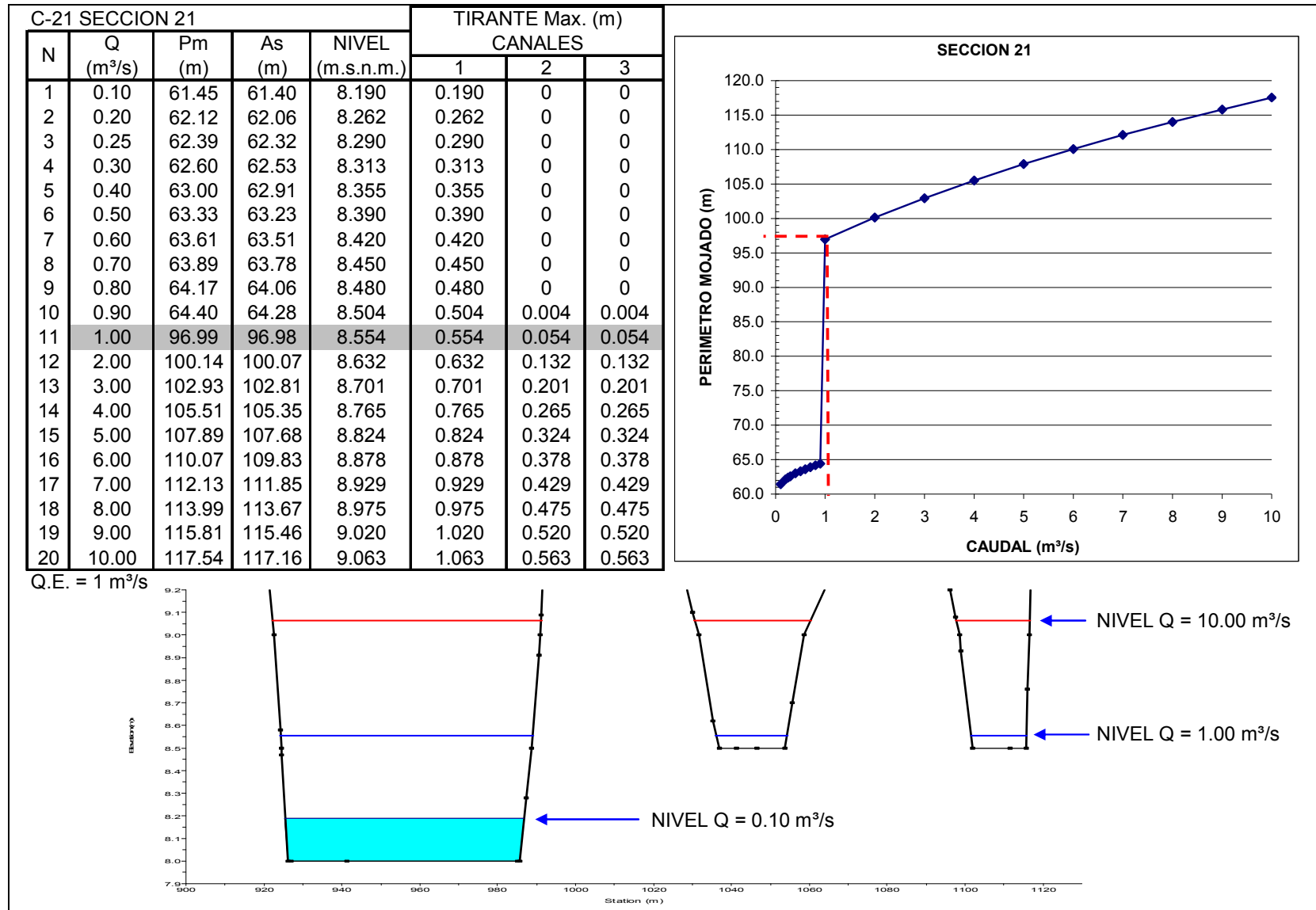




C-20 SECCION 20					TIRANTE Max. (m)	
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	CANALES	
					1	2
1	0.10	54.21	54.21	10.007	0.007	0.007
2	0.20	54.56	54.56	10.010	0.010	0.010
3	0.25	54.74	54.74	10.012	0.011	0.011
4	0.30	54.92	54.91	10.013	0.013	0.013
5	0.40	55.27	55.27	10.016	0.016	0.016
6	0.50	55.74	55.74	10.020	0.020	0.020
7	0.60	56.09	56.09	10.023	0.023	0.023
8	0.70	56.21	56.21	10.024	0.024	0.024
9	0.80	56.68	56.68	10.028	0.028	0.028
10	0.90	57.03	57.03	10.031	0.031	0.031
11	1.00	57.39	57.38	10.034	0.034	0.034
12	2.00	59.38	59.38	10.051	0.051	0.051
13	3.00	61.27	61.25	10.067	0.067	0.067
14	4.00	62.79	62.78	10.080	0.080	0.080
15	5.00	64.32	64.31	10.093	0.093	0.093
16	6.00	65.62	65.60	10.104	0.104	0.104
17	7.00	66.91	66.89	10.115	0.115	0.115
18	8.00	68.08	68.06	10.125	0.125	0.125
19	9.00	69.26	69.24	10.135	0.135	0.135
20	10.00	70.32	70.29	10.144	0.144	0.144

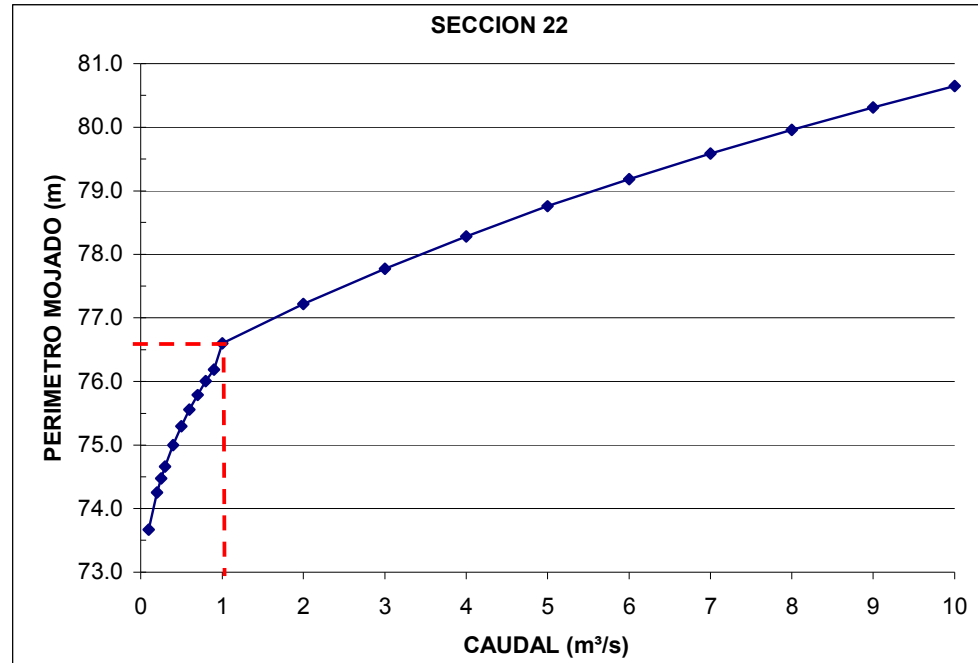
Q.E. = 1 m³/s



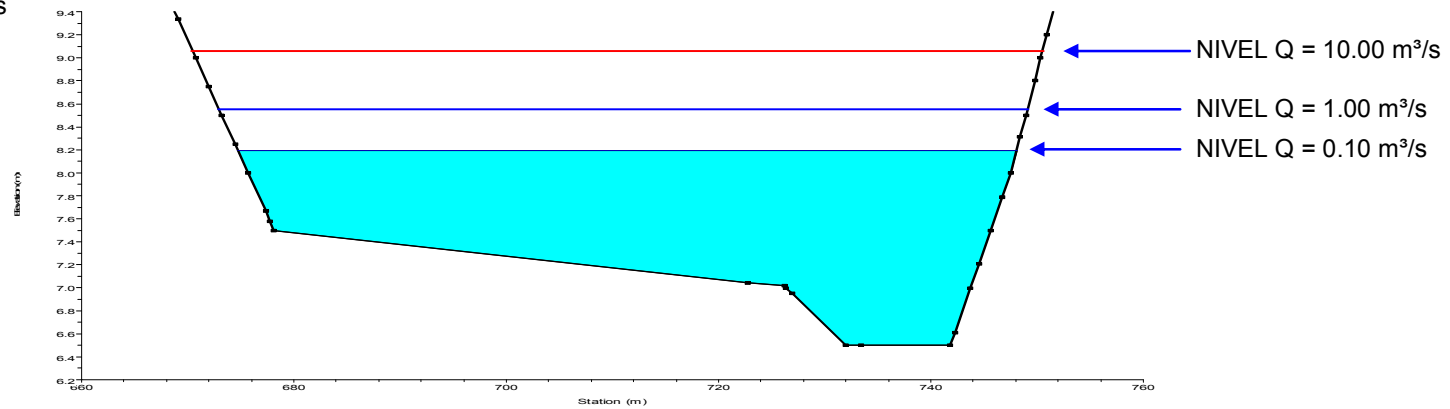


C-22 SECCION 22

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	73.67	73.35	8.190	1.690
2	0.20	74.25	73.91	8.262	1.762
3	0.25	74.48	74.13	8.290	1.790
4	0.30	74.66	74.31	8.313	1.813
5	0.40	75.00	74.63	8.355	1.855
6	0.50	75.30	74.92	8.392	1.892
7	0.60	75.55	75.17	8.424	1.924
8	0.70	75.79	75.39	8.453	1.953
9	0.80	76.00	75.60	8.480	1.980
10	0.90	76.19	75.78	8.503	2.003
11	1.00	76.60	76.18	8.554	2.054
12	2.00	77.22	76.78	8.631	2.131
13	3.00	77.77	77.32	8.700	2.200
14	4.00	78.28	77.80	8.763	2.263
15	5.00	78.76	78.26	8.822	2.322
16	6.00	79.18	78.68	8.875	2.375
17	7.00	79.59	79.06	8.925	2.425
18	8.00	79.96	79.42	8.971	2.471
19	9.00	80.31	79.76	9.015	2.515
20	10.00	80.65	80.09	9.057	2.557

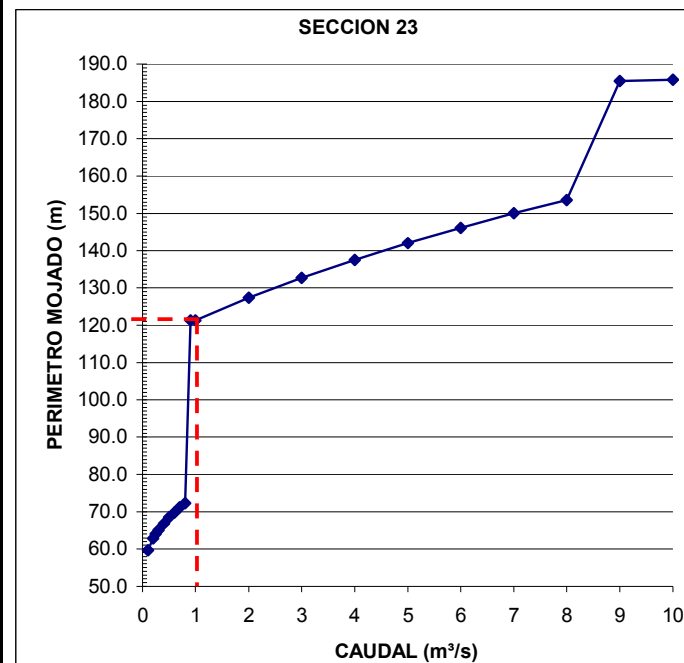


Q.E. = 1 m³/s

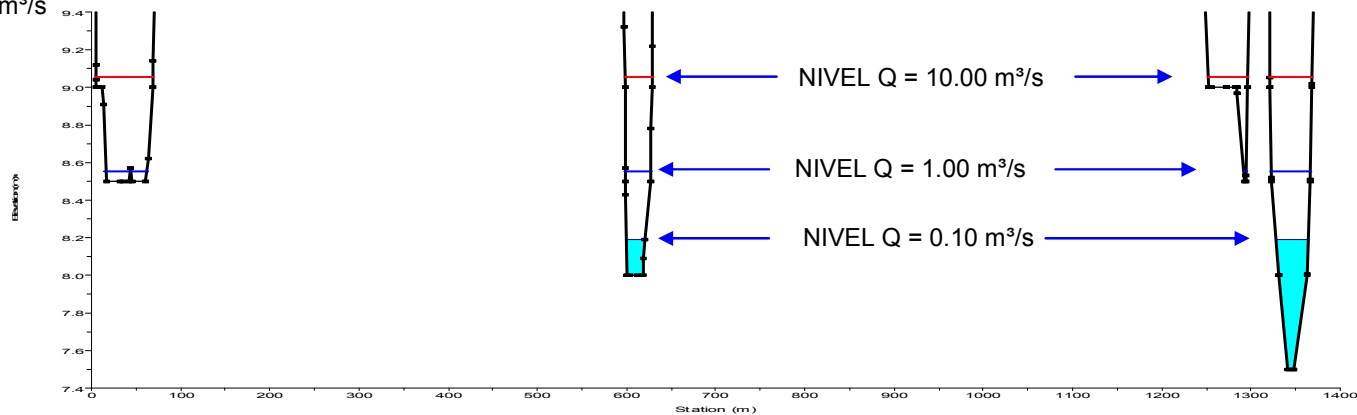


C-23 SECCION 23

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIRANTE Max. (m) CANALES			
					1	2	3	4
1	0.10	59.66	57.20	8.190	0	0.190	0	0.690
2	0.20	62.80	60.32	8.262	0	0.262	0	0.762
3	0.25	64.02	61.54	8.290	0	0.290	0	0.790
4	0.30	65.03	62.54	8.313	0	0.313	0	0.813
5	0.40	66.86	64.36	8.355	0	0.355	0	0.855
6	0.50	68.48	65.96	8.392	0	0.392	0	0.892
7	0.60	69.83	67.31	8.423	0	0.423	0	0.923
8	0.70	71.14	68.61	8.453	0	0.453	0	0.953
9	0.80	72.28	69.74	8.479	0	0.479	0	0.979
10	0.90	121.35	113.49	8.503	0.003	0.503	0.003	1.003
11	1.00	121.36	113.50	8.554	0.054	0.554	0.054	1.054
12	2.00	127.33	119.41	8.631	0.131	0.631	0.131	1.131
13	3.00	132.70	124.72	8.700	0.200	0.700	0.200	1.200
14	4.00	137.52	129.48	8.762	0.262	0.762	0.262	1.262
15	5.00	142.03	133.94	8.820	0.320	0.820	0.320	1.320
16	6.00	146.15	138.02	8.873	0.373	0.873	0.373	1.373
17	7.00	150.03	141.86	8.923	0.423	0.923	0.423	1.423
18	8.00	153.53	145.32	8.698	0.198	0.698	0.198	1.198
19	9.00	185.51	184.98	9.012	0.512	1.012	0.512	1.512
20	10.00	185.85	184.90	9.054	0.554	1.054	0.554	1.554



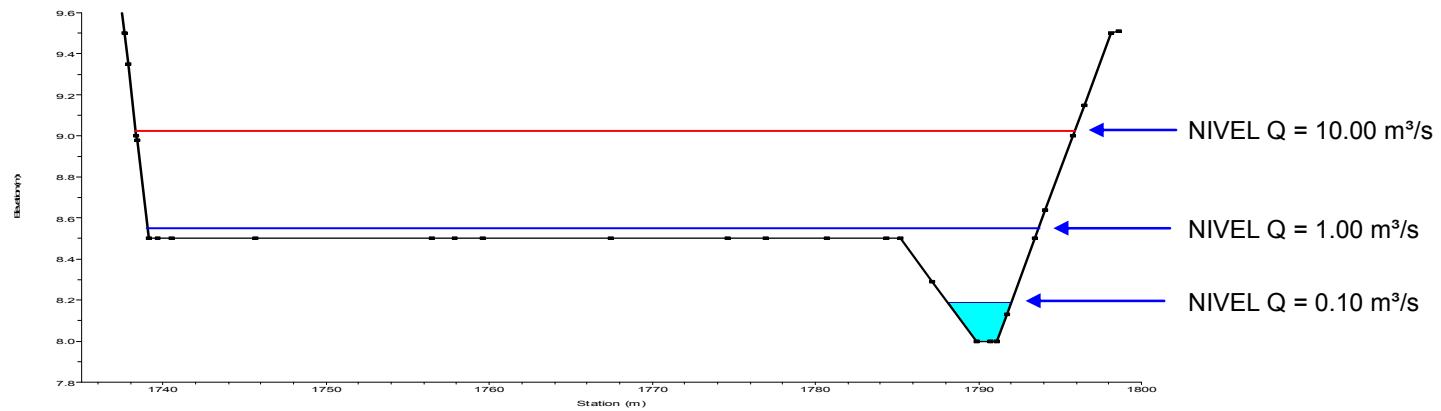
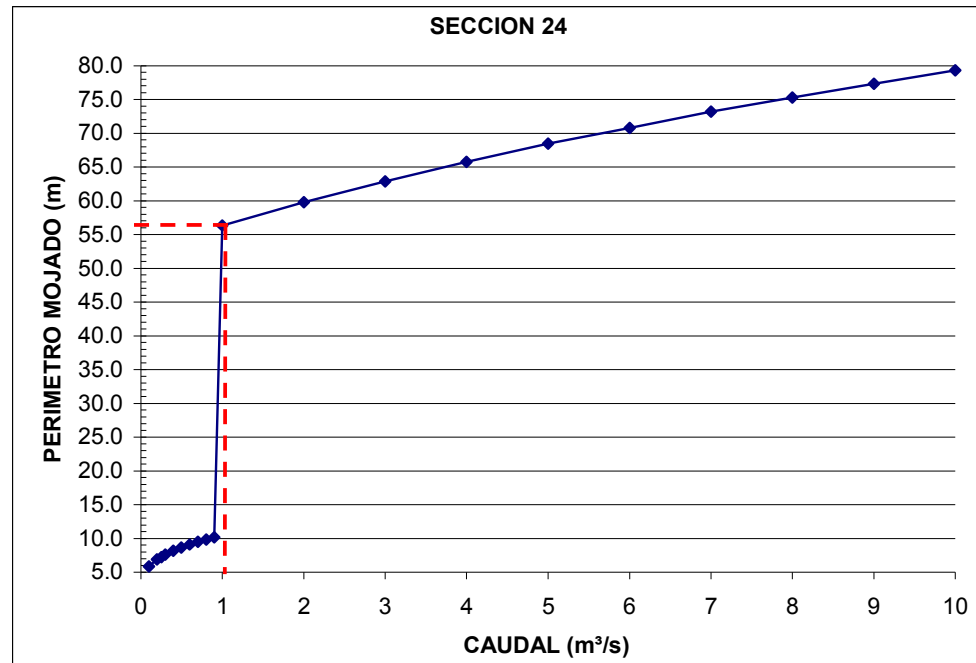
Q.E. = 1 m³/s



C-24 SECCION 24

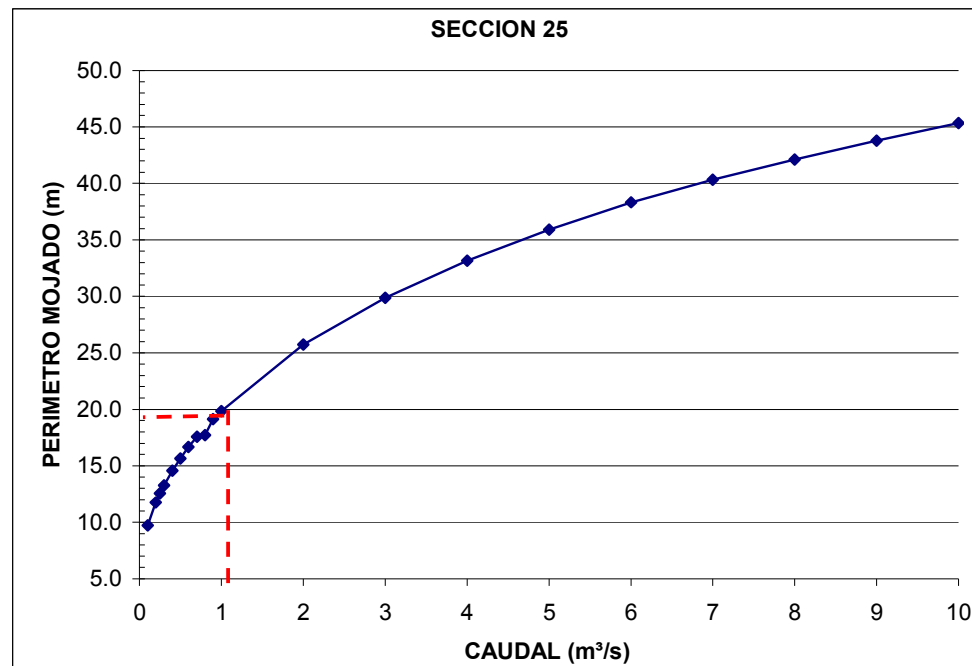
N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	5.85	3.87	8.187	0.187
2	0.20	6.85	4.86	8.257	0.257
3	0.25	7.23	5.24	8.307	0.307
4	0.30	7.56	5.56	8.348	0.348
5	0.40	8.14	6.14	8.384	0.384
6	0.50	8.66	6.64	8.413	0.413
7	0.60	9.07	7.05	8.442	0.442
8	0.70	9.48	7.46	8.467	0.467
9	0.80	9.84	7.81	8.491	0.491
10	0.90	10.18	8.15	8.284	0.284
11	1.00	56.34	54.64	8.548	0.548
12	2.00	59.78	58.07	8.619	0.619
13	3.00	62.87	61.15	8.683	0.683
14	4.00	65.78	64.05	8.743	0.743
15	5.00	68.44	66.70	8.798	0.798
16	6.00	70.81	69.07	8.847	0.847
17	7.00	73.18	71.43	8.896	0.896
18	8.00	75.30	73.56	8.940	0.940
19	9.00	77.34	75.58	8.982	0.982
20	10.00	79.32	77.56	9.023	1.023

Q.E. = 1 m³/s



C-25 SECCION 25

N	Q (m³/s)	Pm (m)	As (m)	NIVEL (m.s.n.m.)	TIR. Max. (m)
1	0.10	9.73	9.72	7.631	0.131
2	0.20	11.74	11.72	7.690	0.190
3	0.25	12.56	12.54	7.714	0.214
4	0.30	13.27	13.25	7.735	0.235
5	0.40	14.57	14.54	7.773	0.273
6	0.50	15.66	15.63	7.805	0.305
7	0.60	16.68	16.65	7.835	0.335
8	0.70	17.56	17.53	7.861	0.361
9	0.80	17.70	17.67	7.865	0.365
10	0.90	19.13	19.10	7.907	0.407
11	1.00	19.84	19.81	7.928	0.428
12	2.00	25.73	25.68	8.101	0.601
13	3.00	29.88	29.83	8.223	0.723
14	4.00	33.15	33.09	8.319	0.819
15	5.00	35.91	35.84	8.400	0.900
16	6.00	38.32	38.25	8.471	0.971
17	7.00	40.33	40.26	8.530	1.030
18	8.00	42.10	42.02	8.582	1.082
19	9.00	43.77	43.69	8.631	1.131
20	10.00	45.34	45.25	8.677	1.177



Q.E. = 1 m³/s

