



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Estudio del Flujo Sedimentológico y de
las Planicies de Inundación de la
Cuenca Media del Río San Pedro
Mezquital, Nayarit**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Ricardo Iván Monter Aguilar

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi Madre que tanto apoyo me ha dado a lo largo de toda mi vida de manera física, mental y espiritualmente. Sus atenciones, cariño, y amor me han llevado hasta este momento tan importante de mi vida que es la terminación de mi tesis, y se quedarán conmigo por siempre. Gracias por la oportunidad que me dio de estudiar en la UNAM y el trabajo que hizo para poderme dar todo lo que necesitara. Siempre admiraré su fuerza y entrega en todo lo que hace.

Quiero agradecer también a Leopoldo Villareal Fernández, mi amigo, y mi ejemplo de vida. Darle gracias por su generosidad, el cariño y motivación para tener una educación, que tanto mostró siempre conmigo. Sus atenciones e interés en mi desarrollo han sido un ejemplo de altruismo importantísimo en mi crecimiento mental.

Gracias al Dr. Edgar Mendoza Baldwin por todo su apoyo, sus ideas y sugerencias que ayudaron a que pudiera realizar mi trabajo de la mejor manera. Además de ese entusiasmo y dedicación que me dio como ejemplo para poder terminar el trabajo presente.

Agradecimiento también a la Universidad Nacional Autónoma de México, y particularmente a los profesores que me dieron clase y lograron hacer de mi lo que soy hoy. Con cada uno de ellos aprendí mucho, más que de las materias, de sus vidas y sus experiencias que compartieron y que a través de ellas también yo viví y comprendí temas de ingeniería muy diversos.

Gracias a mi familia y amigos, que con su constante interés y curiosidad en mi vida hicieron que me ocupara de terminar este trabajo y hacerlo de manera eficaz y pronta. Gracias en particular a mi abuelo Ricardo y a mi tío Mario que siempre compartieron conmigo su experiencia, me dieron buenos consejos y su apoyo moral. Y gracias a mi tía Teresita, que me dio casa y alimento en los últimos días del término de mi tesis, siempre atenta a que no me desviara de mis objetivos.

Muchas gracias también a Dulce Morán, que fue mi compañía todo éste tiempo y siempre me motivó a terminar este ciclo de mi vida. Gracias por el cariño y madurez que siempre veo en ella, y por ese ímpetu de estar activa todo el tiempo, otro ejemplo a seguir para mí.

Finalmente, gracias a todas las personas que me dieron consejo y ayuda a lo largo de la realización de mi tesis y que fueron indispensables para la terminación de la misma, todo el equipo del laboratorio de Costas y Puertos que siempre estuvo muy presente y dispuesto a proporcionarme la información necesaria, un agradecimiento especial al Dr. Rodolfo por darme la oportunidad y permitirme desarrollar la tesis con su equipo, al Dr. Juan por siempre motivarme a la investigación y la búsqueda del conocimiento, y a Cesia Jaqueline por su apoyo y amistad durante el trabajo.

Índice

I.	Objetivo	1
A.	Motivación	1
B.	Organización del trabajo	1
II.	Introducción	3
A.	Localización	3
B.	Características hidrológicas de la zona de estudio	4
C.	Generalidades de hidráulica fluvial	4
1.	Erosión.....	4
2.	Transporte de sedimentos	5
3.	Acorazamiento	6
4.	Distribución del sedimento a lo largo del cauce	7
5.	Rugosidad	8
6.	Inundación.....	9
III.	Materiales y métodos	11
A.	Draga	11
B.	Botella de muestreo para aguas superficiales	12
C.	Cribadora.....	13
D.	Cribas.....	13
E.	Camsizer	14
F.	Satélite.....	14
IV.	Procedimiento	15
A.	Determinación de la rugosidad del río.....	15
B.	Ubicación de las muestras de estudio.....	15
C.	Caracterización de las muestras de estudio.....	16
D.	Cálculo de las pendientes de los tramos de río muestreados	16
E.	Pendientes entre secciones del río san pedro mezquital	18
F.	Caracterización de las secciones de estudio	20
G.	Gastos medios y periodos de retorno	23
H.	Cálculo de las planicies de inundación.....	25
V.	Resultados	27
A.	Figuras de las pendientes y el tamaño del sedimento en el río.....	27

B.	Análisis y comparación del sedimento con las pendientes del río San Pedro Mezquital	38
C.	Figuras de las planicies de inundación	39
D.	Análisis de las planicies de inundación	107
VI.	Conclusiones.....	109
VII.	Recomendaciones	111
VIII.	Referencias.....	112
IX.	Anexo I.....	113
1.	Sección 1.....	113
2.	Sección 2.....	115
3.	Sección 3.....	116
4.	Sección 4.....	118
5.	Sección 5.....	119
6.	Sección 6.....	120
7.	Sección 7.....	122
8.	Sección 8.....	123
9.	Sección 9.....	124

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1.-	Precipitación en hm^3 mensual en el río San Pedro Mezquital (Orsini et al, 2016) ^[2] . ..	4
Ilustración 2.-	Draga para muestreo de sedimento de fondo.....	11
Ilustración 3.-	Botella de muestreo para aguas superficiales.	12
Ilustración 4.-	Cribadora.....	13
Ilustración 5.-	Cribas.....	13
Ilustración 6.-	Camsizer.	14
Ilustración 7.-	Satélite Artificial.	14
Ilustración 8.-	Localización de las muestras en el río San Pedro Mezquital.....	16
Ilustración 9.-	Río San Pedro Mezquital y secciones de estudio.	17
Ilustración 10.-	Pendientes en el río San Pedro Mezquital.	20
Ilustración 11.-	Localización de las muestras y perfil del río.....	20
Ilustración 12.-	Direcciones y sentidos en el río San Pedro Mezquital.	22
Ilustración 13.-	Ejemplo de márgenes del río San Pedro Mezquital.	22
Ilustración 14.-	Distribución de los gastos medios anuales. (Orsini et al, 2016) ^[2]	23
Ilustración 15.-	Ubicación de la estación de estudio y los puntos de perturbación. (modificada de Orsini et al, 2016) ^[2]	24
Ilustración 16.-	Sedimento en suspensión de junio 2015.	27

Ilustración 17.- Sedimento en suspensión de agosto 2015.	28
Ilustración 18.- Sedimento en suspensión de septiembre 2015.....	29
Ilustración 19.- Sedimento de fondo de septiembre 2015.	30
Ilustración 20.- Sedimento en suspensión de octubre 2015.....	31
Ilustración 21.- Sedimento de fondo de octubre 2015.	32
Ilustración 22.- Sedimento en suspensión de noviembre 2015.....	33
Ilustración 23.- Sedimento de fondo de noviembre 2015.	34
Ilustración 24.- Sedimento en suspensión de diciembre 2015.	35
Ilustración 25.- Sedimento de fondo de diciembre 2015.....	36
Ilustración 26.- Sedimento en suspensión de marzo 2016.	37
Ilustración 27.- Sedimento de fondo de marzo 2016.....	38
Ilustración 28.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 1.....	39
Ilustración 29.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 1.	40
Ilustración 30.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 1.	40
Ilustración 31.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 1.	40
Ilustración 32.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 1.	41
Ilustración 33.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 1.	41
Ilustración 34.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 1.	41
Ilustración 35.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 2.....	42
Ilustración 36.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 2.	42
Ilustración 37.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 2.	43
Ilustración 38.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 2.	43
Ilustración 39.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 2.	43
Ilustración 40.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 2.	43
Ilustración 41.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 2.	43
Ilustración 42.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 3.....	44
Ilustración 43.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 3.	44
Ilustración 44.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 3.	45
Ilustración 45.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 3.	45
Ilustración 46.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 3.	45
Ilustración 47.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 3.	45
Ilustración 48.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 3.	46
Ilustración 49.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 4.....	46
Ilustración 50.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 4.	47
Ilustración 51.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 4.	47
Ilustración 52.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 4.	47
Ilustración 53.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 4.	47
Ilustración 54.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 4.	48
Ilustración 55.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 4.	48
Ilustración 56.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 5.....	49
Ilustración 57.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 5.	49
Ilustración 58.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 5.	49

Ilustración 101.- Planicie de inundación para Tr2, sección 3 a sección 4.	67
Ilustración 102.- Planicie de inundación para Tr2, sección 4 a sección 5.	68
Ilustración 103.- Planicie de inundación para Tr2, sección 5 a sección 6.	69
Ilustración 104.- Planicie de inundación para Tr2, sección 6 a sección 7.	70
Ilustración 105.- Planicie de inundación para Tr2, sección 7 a sección 8.	71
Ilustración 106.- Planicie de inundación para Tr2, sección 8 a sección 9.	71
Ilustración 107.- Planicie de inundación para Tr5, sección 1 a sección 2.	72
Ilustración 108.- Planicie de inundación para Tr5, sección 2 a sección 3.	73
Ilustración 109.- Planicie de inundación para Tr5, sección 3 a sección 4.	74
Ilustración 110.- Planicie de inundación para Tr5, sección 4 a sección 5.	75
Ilustración 111.- Planicie de inundación para Tr5, sección 5 a sección 6.	76
Ilustración 112.- Planicie de inundación para Tr5, sección 6 a sección 7.	77
Ilustración 113.- Planicie de inundación para Tr5, sección 7 a sección 8.	78
Ilustración 114.- Planicie de inundación para Tr5, sección 8 a sección 9.	78
Ilustración 115.- Planicie de inundación para Tr10, sección 1 a sección 2.	79
Ilustración 116.- Planicie de inundación para Tr10, sección 2 a sección 3.	80
Ilustración 117.- Planicie de inundación para Tr10, sección 3 a sección 4.	81
Ilustración 118.- Planicie de inundación para Tr10, sección 4 a sección 5.	82
Ilustración 119.- Planicie de inundación para Tr10, sección 5 a sección 6.	83
Ilustración 120.- Planicie de inundación para Tr10, sección 6 a sección 7.	84
Ilustración 121.- Planicie de inundación para Tr10, sección 7 a sección 8.	85
Ilustración 122.- Planicie de inundación para Tr10, sección 8 a sección 9.	85
Ilustración 123.- Planicie de inundación para Tr20, sección 1 a sección 2.	86
Ilustración 124.- Planicie de inundación para Tr20, sección 2 a sección 3.	87
Ilustración 125.- Planicie de inundación para Tr20, sección 3 a sección 4.	88
Ilustración 126.- Planicie de inundación para Tr20, sección 4 a sección 5.	89
Ilustración 127.- Planicie de inundación para Tr20, sección 5 a sección 6.	90
Ilustración 128.- Planicie de inundación para Tr20, sección 6 a sección 7.	91
Ilustración 129.- Planicie de inundación para Tr20, sección 7 a sección 8.	92
Ilustración 130.- Planicie de inundación para Tr20, sección 8 a sección 9.	92
Ilustración 131.- Planicie de inundación para Tr50, sección 1 a sección 2.	93
Ilustración 132.- Planicie de inundación para Tr50, sección 2 a sección 3.	94
Ilustración 133.- Planicie de inundación para Tr50, sección 3 a sección 4.	95
Ilustración 134.- Planicie de inundación para Tr50, sección 4 a sección 5.	96
Ilustración 135.- Planicie de inundación para Tr50, sección 5 a sección 6.	97
Ilustración 136.- Planicie de inundación para Tr50, sección 6 a sección 7.	98
Ilustración 137.- Planicie de inundación para Tr50, sección 7 a sección 8.	99
Ilustración 138.- Planicie de inundación para Tr50, sección 8 a sección 9.	99
Ilustración 139.- Planicie de inundación para Tr100, sección 1 a sección 2.	100
Ilustración 140.- Planicie de inundación para Tr100, sección 2 a sección 3.	101
Ilustración 141.- Planicie de inundación para Tr100, sección 3 a sección 4.	102
Ilustración 142.- Planicie de inundación para Tr100, sección 4 a sección 5.	103

Ilustración 143.- Planicie de inundación para Tr100, sección 5 a sección 6.	104
Ilustración 144.- Planicie de inundación para Tr100, sección 6 a sección 7.	105
Ilustración 145.- Planicie de inundación para Tr100, sección 7 a sección 8.	106
Ilustración 146.- Planicie de inundación para Tr100, sección 8 a sección 9.	106

Índice de Tablas

Tabla 1.- Clasificación de los sedimentos por tamaño.	8
Tabla 2.- Coeficientes de rugosidad de Manning (Sotelo, 1997) ^[6]	15
Tabla 3.- Coordenadas de los sitios de muestreo de sedimentos.	15
Tabla 4.- Secciones y coordenadas en el río.	17
Tabla 5.- Secciones, muestras y distancia entre ambas.	19
Tabla 6.- Muestras y sus correspondientes pendientes.	19
Tabla 7.- Coordenadas y cotas de extremos y fondos de sección.	21
Tabla 8.- Periodos de Retorno para los sitios de estudio. (modificada de Orsini et al, 2016) ^[2]	24
Tabla 9.- Secciones y sus correspondientes gastos.	25
Tabla 10.- Secciones y sus correspondientes pendientes.	26
Tabla 11.- Sedimento en suspensión de junio 2015.	27
Tabla 12.- Sedimento en suspensión de agosto 2015.	28
Tabla 13.- Sedimento en suspensión de septiembre 2015.	29
Tabla 14.- Sedimento de fondo de septiembre 2015.	30
Tabla 15.- Sedimento en suspensión de octubre 2015.	31
Tabla 16.- Sedimento de fondo de octubre 2015.	32
Tabla 17.- Sedimento en suspensión de noviembre 2015.	33
Tabla 18.- Sedimento de fondo de noviembre 2015.	34
Tabla 19.- Sedimento en suspensión de diciembre 2015.	35
Tabla 20.- Sedimento de fondo de diciembre 2015.	36
Tabla 21.- Sedimento en suspensión de marzo 2016.	37
Tabla 22.- Sedimento de fondo de marzo 2016.	37
Tabla 23.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 1.	42
Tabla 24.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 2.	44
Tabla 25.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 3.	46
Tabla 26.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 4.	48
Tabla 27.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 5.	50
Tabla 28.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 6.	51
Tabla 29.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 7.	53
Tabla 30.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 8.	55
Tabla 31.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 9.	56
Tabla 32.- Áreas de las planicies de inundación.	107

I. Objetivo

El objetivo esta tesis es analizar el comportamiento de los sedimentos en diversos puntos de la cuenca media del río San Pedro Mezquital en Nayarit. Además, calcular los perfiles de inundación de las secciones de estudio utilizadas para obtener las planicies de inundación aproximadas que le corresponden a cada uno de los gastos de inundación utilizados. Finalmente analizar los resultados obtenidos y diagnosticar los comportamientos posibles del río con diferentes gastos, siendo así una base para cualquier estudio futuro de inundaciones y comportamiento del río en su cuenca media.

A. Motivación

El río San Pedro Mezquital desemboca en la zona de Marismas Nacionales, la cual tiene un extenso complejo de lagunas costeras de agua salobre, manglares, lodazales o pantanos y cañadas. Dentro de ellas se ubican 14 especies de flora nativa que se encuentran endémicas, amenazadas, o en peligro de extinción. Hay 99 especies de fauna en la región con 73 de ellas amenazadas o en peligro de extinción, además este sitio alberga una población de 446 especies de aves, sin embargo; la construcción de presas, carreteras, bordos para granjas camaroneras y la abertura del canal de Cuautla están modificando el sitio importantemente.^[1]

Los sedimentos aportan nutrientes al suelo de los manglares propiciando la conservación de la vida y modificando la flora y fauna del lugar. Por lo que el estudio de sedimentos que se realizó pretende aportar los conocimientos necesarios para reducir el impacto ambiental generado por las obras humanas que se desee construir en un futuro o ya se encuentren en funcionamiento.

El presente sirve para identificar y caracterizar el origen del sedimento en la cuenca media del río San Pedro Mezquital, para así poder prevenir o mitigar las afectaciones y cambios que la mano del hombre pueda provocar en su ecosistema, incluyendo así la desembocadura del río que es de primera importancia ya que cuenta con la zona de Marismas Nacionales.

Las planicies de inundación complementan el estudio del origen del sedimento, ya que al provenir de la erosión con el agua entre otras causas, al conocerlas se logra saber cómo es que un sedimento llegó de un lugar a otro. Además, mediante este estudio se conoce hasta dónde llega el agua y previene a la población de asentarse en posibles zonas de inundación, o les ayuda a evacuar zonas de inundación ya asentadas.

B. Organización del trabajo

En el capítulo primero se delimita el objetivo, la motivación y organización del trabajo presente.

El segundo capítulo cuenta con una introducción al tema, definiendo la localización del sitio de estudio, y sus características hidrológicas, así como unas generalidades a conocer de la hidráulica fluvial para poder comprender mejor los capítulos posteriores

El tercer capítulo nombrado: materiales y métodos, especifica el equipo utilizado y la forma de empleo para la recolección de datos que serán posteriormente clasificados y analizados para la obtención de resultados.

El cuarto capítulo describe paso a paso el procedimiento llevado a cabo para la determinación de la pendiente y el comportamiento del sedimento en el río, así como el trabajo necesario para la obtención de las planicies de inundación. Comenzando por la determinación de la rugosidad del río, después la ubicación, caracterización y cálculo de las pendientes de las muestras de estudio. Después el cálculo de pendientes entre secciones del río San Pedro Mezquital, caracterización de las secciones de estudio. Correlación de los gastos medios y periodos de retorno con las secciones definidas, y finalmente definir el proceso a realizar para el cálculo de las planicies de inundación.

El quinto capítulo muestra los resultados obtenidos gracias al procedimiento anteriormente descrito y los expone mediante las figuras de las pendientes en el río y su correlación con el tamaño del sedimento encontrado. Se realiza un análisis y comparación del sedimento con las pendientes del río San Pedro Mezquital y se grafica y analizan también las planicies de inundación calculadas.

El sexto capítulo hace conclusiones de los resultados obtenidos y explica de manera sencilla el comportamiento encontrado y calculado en los sedimentos en el río San Pedro Mezquital.

El séptimo capítulo hace recomendaciones para la posibilidad de mejora de resultados obtenidos o facilitar la obtención de resultados más exactos, para así lograr un análisis del sedimento y de las planicies de inundación con un rango menor de error que el calculado.

El octavo capítulo tiene las referencias utilizadas para la elaboración de la presente tesis.

El noveno capítulo nombrado: Anexo I, contiene las coordenadas utilizadas en la elaboración y dibujo de las figuras y pendientes en las secciones del río San Pedro Mezquital.

II. Introducción

El río San Pedro Mezquital es el séptimo río más caudaloso de México, su cuenca es de casi tres millones de hectáreas que conectan el Desierto Chihuahuense con el Golfo de California. Forma parte de la vida de muchos agricultores que aprovechan la fertilidad del suelo que queda cuando el río vuelve a su cauce tras una avenida mayor, así como el ostricultor que aprovecha para sembrar sus sartas de ostión y el turista que visita los canales del manglar para maravillarse con su flora y fauna.

Es un hecho que las construcciones y proyectos de ingeniería por más pequeños que sean generan un impacto ambiental notorio que requiere de estudios cuidadosos. Es inevitable y definitivo que al realizarse un proyecto jamás se deja al ecosistema exactamente igual a como estaba antes. Sin embargo, los proyectos ingenieriles son necesarios y útiles para poder vivir y tener la calidad de vida actual teniendo tanto beneficios como daños. Es por ello que un entendimiento adecuado del medio físico es la vía para la minimización y mitigación de impactos.

La construcción de obras como carreteras, bordos para granjas camaroneras, y el canal de Cuautla están modificando el ecosistema en la cuenca del río San Pedro Mezquital de manera importante. Por el interés que las personas tienen de hacer obras ingenieriles como lo son las presas hidroeléctricas, se propuso el desarrollo de esta tesis, para comprender de mejor manera el comportamiento de los sedimentos en el río San Pedro Mezquital y el caudal que es necesario para inundar diferentes zonas a lo largo del río. El fin de esos análisis es que si se toman en cuenta los procesos naturales en el diseño, construcción y operación de cualquier obra, se pueda llegar a un balance efectivo entre la naturaleza y la mano del hombre.

El cuidado al medio ambiente y la ecología son temas cada vez más importantes para los distintos sectores de nuestra sociedad. Y no son más sonados porque sean nuevos o traten de temas novedosos, sino porque cada vez hay mayor conciencia social al respecto y por ello la normatividad y requerimientos enfocados en disminuir o evitar los daños provocados al medio ambiente por la mano del hombre son cada vez más rigurosos. El objetivo último de estas prácticas es reducir la huella ecológica de las actividades humanas en favor de una mejor conservación del medio ambiente.

Este trabajo abarca el flujo sedimentológico y las planicies de inundación provocadas por el gasto medio y los gastos correspondientes a los periodos de retorno para 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

A. Localización

El estado de Nayarit se ubica en el noroeste del territorio mexicano. Colindante con los estados de Sinaloa, Durango y Zacatecas hacia el norte, y con el estado de Jalisco hacia el este y sur. Hacia el poniente tiene una importante franja costera en el océano Pacífico. Dividido en 20 municipios, cuya capital es Tepic.

El río San Pedro es un río costero de la vertiente del océano Pacífico de México. Con una longitud de 255 km nace en el estado de Durango con el nombre de río La Sauceda y al entrar en el estado

de Nayarit toma el nombre de río San Pedro Mezquital. Al final se bifurca formando el estero de las Corrientes y la laguna de Agua Dulce.

Para futuras referencias con coordenadas UTM el lugar de estudio está ubicado en la Zona 13Q en el Hemisferio Norte.

B. Características hidrológicas de la zona de estudio

Las corrientes hidrológicas de Nayarit desembocan en el Océano Pacífico. Existen también aguas estuarinas en el estado.

Las lluvias se presentan en el verano durante los meses de mayo a septiembre. La temperatura media anual del estado es de 24 °C, con mínimas promedio de 12 a 14 °C en enero y máximas apenas por encima de 28 °C durante mayo y junio; teniendo climas cálido, semi-cálido y templado. En la figura siguiente se observa la precipitación en hm^3 mensual en el río San Pedro Mezquital:

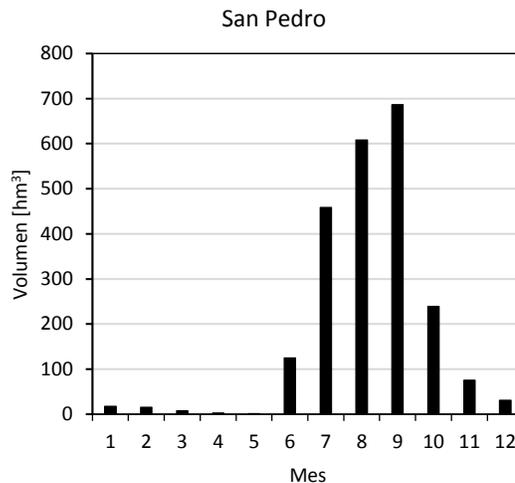


Ilustración 1.- Precipitación en hm^3 mensual en el río San Pedro Mezquital (Orsini et al, 2016)^[2].

C. Generalidades de hidráulica fluvial

1. Erosión

Erosión es el término dado al desgaste de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra.^[3] Algunos de los principales agentes erosivos son el viento, el agua (en cualquiera de sus estados) y los cambios de temperatura. Gracias a la erosión, las cuencas, valles, acantilados, cuevas, ríos, etcétera, adquieren su forma y relieve. Hay tres tipos de erosión: hídrica, eólica y gravitacional.

Erosión hídrica: La erosión hídrica es el desgaste que ocurre en suelos y rocas en donde el factor erosivo es el agua. Tomando del suelo partículas sólidas y desgastando su superficie o incluso quebrando su interior y disgregándolo en partes más pequeñas, afectando su estado original. Puede ser ocasionada por precipitación, escurrimiento superficial, infiltración, entre otros factores. El impacto provocado por las gotas de lluvia, la abrasión que provoca el roce del agua con

el suelo, y la fragmentación que sufren las rocas con agua congelada interior, son causa de la erosión de suelos. Para los propósitos de esta tesis se tomará en cuenta la erosión hídrica ocasionada por el escurrimiento superficial que tiene el río sobre la superficie de terreno cercana que lo limita.

Entre las formas que existen para controlar la erosión hídrica están: la reforestación, el uso de técnicas adecuadas de agricultura, y teniendo un pastoreo controlado.

Erosión eólica: La erosión eólica es el desgaste que ocurre en suelos y rocas en donde el factor erosivo es el viento. Al entrar el suelo en contacto con el viento y ser abrasado por éste, se desgasta su superficie y se fragmenta en partes de menor tamaño al original, desplazando las partículas más pequeñas lejos del cuerpo de suelo original hasta que la fuerza del viento no es la suficiente para romper la resistencia que pone el peso propio de la partícula desplazada, su fricción con el suelo y la fuerza de gravedad que la detiene.

Erosión gravitatoria: Es el desgaste ocurrido en suelos y rocas donde el factor erosivo es la gravedad. Quizás la menos conocida, sin embargo, la de mayor impacto dentro del planeta, ya que toda la materia genera atracción a la demás materia, en este caso, la Tierra atrae a las partículas de suelo más pequeñas transportándola en pendientes de ladera, en bloques o granos desgajados de la montaña.

La rapidez con la que ocurren estos procesos de erosión está en función de la erodabilidad de la roca.

El efecto negativo más importante de la erosión es la desertificación, la cual consiste en dar a un suelo que no tiene las propiedades de los desiertos, las características de éste, provocando la sobrevivencia de las especies que antes vivían en el lugar ahora bajo condiciones de persistente sequía y escasez de alimentos.

2. Transporte de sedimentos

Al principio era un arte y después se volvió parte del campo de la mecánica. Pero ni el arte ni la mecánica han sido capaces de dar respuestas exhaustivas para semejante problema. Estamos en el medio del crecimiento de este campo.^[4]

En los ríos, el transporte de sedimentos se da al haber una fuerza suficiente de empuje del agua capaz de trasladar las partículas del suelo que son erosionadas a lo largo del río. Proviene de todo aquél lugar donde hubo o hay un empuje del agua sobre el suelo, ya sea un río tributario o la corriente principal o simplemente estar dentro de la cuenca, el agua hace el trabajo de dar forma y relieve a todo el lugar.

Se definen tres diferentes formas de transporte de sedimentos, el primero es en suspensión, el cual traslada las partículas más finas que son mantenidas en suspensión debido a su bajo peso con “remolinos de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye, o cuando el lecho se hace más liso o la corriente descarga en un pozo o lago”^[5].

Las partículas de mayor masa se transportan en el fondo del lecho de la corriente, necesitando de una mayor fuerza para poder ser trasladadas, a éste tipo de traslación se le conoce como arrastre de fondo. Dentro de éste tipo de traslación se encuentra el denominado saltación, el cual es una combinación del transporte de fondo y el de suspensión, cuando un sedimento no es lo suficientemente ligero para permanecer en suspensión, puede provocar brincos de sí mismo, siendo arrastrado en el fondo y en ocasiones saltando y avanzando en suspensión hasta nuevamente tocar el lecho de la corriente.

Gracias al transporte de sedimentos es que se puede entender de qué lugar proviene cierto tipo de sedimento con características únicas. Si fuera posible analizar con detenimiento con todos los factores que lo trasladaron hasta su ubicación actual, por ejemplo, se podría tomar un grano de arena y recorrer el tiempo hacia atrás, y ver como ese grano de arena se va uniendo con otros pequeños granos que son pegados a él con el viento y el agua y se mueven de abajo hacia arriba con la gravedad que va en reversa, provocando que ese grano cada vez sea de un tamaño mayor, volviéndolo parte de una roca que a su vez es parte de otra roca más grande y finalmente siendo regresada al interior de un volcán en erupción que se hace cada vez más pequeño y se oculta por debajo del mar.

3. Acorazamiento

El llamado: “suelo bien graduado” es usado para definir un tipo de suelo que presenta en su curva granulométrica un amplio intervalo de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño.

Los sedimentos no cohesivos bien graduados al estar bajo la acción de un flujo de agua, se caracterizan por su capacidad para desarrollar una coraza en la superficie del lecho. Para que esto sea posible, se necesita una fuerza cortante que es lo suficientemente grande para transportar el material más fino asentado, pero no lo suficiente para transportar el material más grueso, las partículas pequeñas son transportadas por la corriente, y esto provoca que afloren partículas de mayor tamaño que sí resisten las fuerzas de arrastre del flujo, dando así a lo largo del tiempo, un transporte principalmente de finos en suspensión y formando en el fondo lo conocido como coraza, constituida principalmente de materiales gruesos, posteriormente, es necesaria de una mayor fuerza para romper la coraza formada y realizarse el transporte de sedimentos de fondo.

Esto puede ser cierto para todos los lechos de los ríos, ya que las capas superficiales suelen ser de grano más grueso que las profundas. Gracias al fenómeno de acorazamiento, se puede decir que el origen del lecho como resultado de un barrido que hizo el agua al suelo y dejó los granos más gruesos a su paso. “Se puede decir que el acorazamiento es estático. También se ha propuesto un concepto dinámico del acorazamiento, según el cual el transporte generalizado en el lecho afecta un cierto espesor.”^[6]

El acorazamiento del río también provoca cambios en su rugosidad puesto que el lecho presenta partículas de grano mayor. Además, provoca cambios en la forma de movimiento del lecho, ya que primero se debe destruir la coraza y hasta después de esto será posible mover el material fino atrapado por debajo de ella.

El fenómeno de acorazamiento es principalmente una cuestión de inicio de arrastre, si el suelo al que le ocurre no está bien graduado pueden darse diferentes condiciones a las de un suelo bien graduado. Se requiere que la fuerza de arrastre se encuentre entre las partículas finas y las partículas gruesas, pero el variar de esta fuerza es lo que hace al acorazamiento diferente en cada caso, puesto que se pueden dar distintos grados de acorazamiento dependiendo del tamaño de las partículas que formen la coraza.

“Dado el carácter aleatorio de la turbulencia en el flujo de agua, siempre existirá la posibilidad de que cualquier grano sea arrastrado por el flujo. Bajo la igualdad de condiciones, la probabilidad de que una partícula no sea arrastrada y forme parte de la coraza, será mayor para las partículas gruesas que para las finas.”^[7]

Durante el proceso de acorazamiento el transporte de partículas no causa prácticamente erosión o abatimiento del fondo, ni modifica la pendiente del río, se puede asumir entonces que un río acorazado es estable. Sin embargo, si se rompe la coraza, éste deja de ser estable y todo el material del lecho del cauce pasará a estar en movimiento. Si esto pasa, y no hay un transporte continuo de sedimentos, habrá erosión continua del fondo hasta que disminuya la pendiente del río o aumente el área hidráulica y con ello, la fuerza del flujo disminuya hasta que sea igual al esfuerzo que puede resistir el lecho del río. Pero si hay un transporte continuo de sedimentos, no habrá erosión y será sólo el transporte continuo de sedimentos hasta que la fuerza del flujo disminuya hasta que sea igual al esfuerzo que puede resistir el lecho del río.

4. Distribución del sedimento a lo largo del cauce

La distribución del sedimento depende del tamaño, forma y masa del mismo a lo largo del cauce, las partículas de tamaño y masa más grandes se asientan en el fondo del cauce, y las partículas más finas tienden a ser transportadas en la superficie del flujo o estar acomodadas entre los granos más gruesos del fondo. Dependiendo también del empuje y comportamiento del flujo, se pueden dar formaciones distintas en el lecho del cauce como lo son acorazamientos, granulometría uniforme, remolinos, entre otras. A su vez en las zonas con mayor pendiente y velocidad de flujo, se encuentran granos de mayor tamaño y en las zonas con pendiente menor y flujo liso y velocidad menor, el tamaño del grano encontrado se reduce ya que el flujo no cuenta con el esfuerzo cortante necesario para arrastrar o trasladar partículas de mayor tamaño.

A continuación se presenta la clasificación de los sedimentos por tamaño según la American Geophysical Union.^[8]

Tabla 1.- Clasificación de los sedimentos por tamaño.

Grupo	Clase	Tamaño, mm
Piedras (guijarros)	Muy grande	2,048 a 4,096
	Grande	1,024 a 2,048
	Mediana	512 a 1,024
	Pequeña	256 a 512
Cantos (cascajo)	Grande	128 a 256
	Pequeña	64 a 128
Grava	Muy gruesa	32 a 64
	Gruesa	16 a 32
	Mediana	8 a 16
	Fina	4 a 8
	Muy fina	2 a 4
Arena	Muy gruesa	1 a 2
	Gruesa	0.5 a 1
	Mediana	0.25 a 0.5
	Fina	0.125 a 0.25
	Muy fina	0.062 a 0.125
Limo	Gruesa	0.031 a 0.062
	Mediana	0.016 a 0.031
	Fina	0.008 a 0.016
	Muy fina	0.004 a 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002 a 0.004
	Mediana	0.001 a 0.002
	Fina	0.0005 a 0.001
	Muy fina	0.00024 a 0.0005

5. Rugosidad

Dentro de la rama física que estudia la mecánica, hay una característica de la materia conocida como rugosidad, la cual define la cantidad de irregularidades que posee una superficie.^[9] En la realidad no existen superficies sin irregularidades, por lo que los dibujos y trazos geométricos son sólo una abstracción matemática y dependiendo del material y forma que tiene una superficie se le asigna un valor de rugosidad para su interpretación matemática más acercada a la realidad.

Como mencionábamos anteriormente, el fenómeno de acorazamiento influye en la rugosidad de los ríos.

La rugosidad representa una dificultad al paso del flujo en el río, disminuye la velocidad y a su vez de ser constante el gasto, hace que se requiera un área hidráulica mayor para el paso del mismo. La rugosidad puede variar importantemente de un río a otro, es por eso que se debe de estudiar y calcular considerando la mayor cantidad de factores posibles para llegar a un valor más exacto.

Es causa directa de la fricción que hay entre dos cuerpos, si no existiera la rugosidad, tampoco habría fricción y por ende, tareas tan sencillas como tomar un baño o escribir sobre el papel no serían posibles ya que toda el agua pasaría por el cuerpo sin mojar ni llevarse la suciedad, ni se quedaría la tinta o grafito impregnados en el papel.

6. Inundación

Una inundación es el fenómeno mediante el cual una zona que no era ocupada en su superficie por agua, pasa a ser ocupada por agua, y es provocada el desbordamiento y crecimiento de cuerpos de agua cercanos al lugar (como lo son ríos, mares, océanos, etc.) así como precipitaciones en la zona (ya sean ocasionadas por huracanes, tormentas, etc.). La mayoría de la superficie terrestre se ve afectada debido a las inundaciones, en especial las zonas ecuatoriales y tropicales.^[10]

Además de las grandes lluvias podemos encontrar otros factores por los cuales se generan las inundaciones:

- Exceso de precipitación.- Como ya se mencionó antes, las inundaciones son causadas debido a un exceso en las lluvias, esto provoca que ni el suelo ni la vegetación sean capaces de absorber la cantidad de agua que cae del cielo, por lo tanto se produce una inundación.
- Fusión de las nieves.- Esto ocurre en países en los cuales llega a nevar. Después de la temporada de invierno, la nieve comienza a derretirse y si a esto le sumamos alguna que otra lluvia, puede causar inundación.
- Rotura de presas.- Esta causa se produce al momento en que una presa se rompe y el agua es liberada de manera brusca y repentina.
- Actividades humanas.- Algunas de las actividades que realizamos los humanos propician a que se generen las inundaciones como son:
 - Pavimentar o asfaltar cada vez más superficies. Esto produce que el suelo no sea capaz de absorber el agua y por lo tanto lleguen a los cauces de los ríos de una manera más rápida por medio de los desagües, eso a su vez hace que lleguen a su punto límite de manera más rápida y que el agua restante no tenga un lugar a donde ir y se quede en las calles, provocando así una inundación.
 - La tala de bosques y cultivos hace que la erosión sea mayor y las inundaciones se presenten de manera continua.
 - Las canalizaciones ayudan a solucionar el problema en ciertas partes de los ríos, sin embargo en las partes en las que el agua llega con mucha más fuerza, esta solución es obsoleta.
 - Cuando obstruimos los cauces de los ríos, esto puede ser por alguna construcción que se haya realizado en el lugar o bien el acumulamiento de basura en los mismos.^[11]

Mediante las inundaciones se forman las llanuras de los ríos y el fenómeno sirve para explicar el origen de los sedimentos en una determinada zona de estudio, ya que al entender qué zonas sufrieron una inundación, se puede suponer el posible origen de un sedimento encontrado en una zona alejada pero en el paso del flujo provocado.

III. Materiales y métodos

Se conoce como sedimento a todas aquellas partículas provenientes de las rocas o suelos, que mediante la erosión son separadas de la materia más pesada hasta poseer el tamaño necesario para ser acarreadas por el viento y la lluvia para depositarse en el propio cauce, lagos, lagunas y mares, entre mayor fuerza tenga el viento o lluvia, mayor tamaño de sedimento es el que podrá acarrear.^[12]

No se pueden determinar exactamente todas las fuentes que producen sedimentos en los ríos. Sin embargo, es preciso decir que la fuente principal son los suelos y rocas encontrados en su cuenca. Precisamente por esta complejidad y en la búsqueda de un mejor entendimiento del flujo sedimentológico en la cuenca media del río San Pedro Mezquital, se utilizaron equipos y materiales fabricados especialmente para la medición y elaboración de información veraz y confiable. Mediante el análisis de la información recabada con estos equipos es posible obtener resultados y concluir con el estudio y caracterización del río San Pedro Mezquital en cuanto a su comportamiento hidrológico y sedimentológico.

Para la toma de muestras de sedimento, entonces, se utilizaron dos equipos diferentes, uno de ellos es la draga tipo PAC-MAN la cual fue utilizada para el muestreo de sedimento de fondo. Y la otra es la botella de muestreo para aguas superficiales; utilizada, como su nombre lo indica, para el muestreo de sedimento en suspensión.

A. Draga



Ilustración 2.- Draga para muestreo de sedimento de fondo.

La toma de muestras con la draga tipo PAC-MAN consiste en introducir la draga de manera inocua al río, para que por peso propio llegue al fondo del mismo y con el movimiento natural del barco en reposo, sea arrastrada para tomar una muestra del sedimento de fondo para posteriormente

ser halada con una cuerda o cadena de manera lo más verticalmente posible, desfavoreciendo la posible caída de material.

B. Botella de muestreo para aguas superficiales



Ilustración 3.- Botella de muestreo para aguas superficiales.

Este aparato permite tomar muestras del sedimento en suspensión en el río. Como su nombre lo indica, consiste en una botella sujeta a un equipo metálico que gracias a su peso propio y forma, permite que la botella se mantenga en posición horizontal y no se hunda. El sedimento que se recoge por esta vía es superficial en movimiento. Finalmente la botella se jala por una cuerda y se cierra herméticamente para la minimización de pérdida de materiales finos.

Además de los materiales utilizados para el muestreo se utilizaron para el análisis de las muestras los siguientes equipos:

C. Cribadora



Ilustración 4.- Cribadora.

Equipo mecánico mediante el cual se utilizan las vibraciones para que el sedimento, de acuerdo con su diámetro, pase por cribas que lo separan de mayor a menor. Cuenta con un temporizador y un medidor de frecuencia.

D. Cribas



Ilustración 5.- Cribas.

Equipo metálico con cuadrados (mallas) de diferentes tamaños para realizar la separación por diámetros del sedimento, empezando por un diámetro máximo medible de 90 mm por lado, hasta uno de 20 μm por lado.

E. Camsizer



Ilustración 6.- Camsizer.

Equipo electrónico y fotográfico que clasifica el tamaño de las partículas mediante una secuencia de fotografías tomadas al sedimento al caer por gravedad.

Además de los anteriores equipos para el análisis y caracterización de las muestras, se utilizó el siguiente equipo para la obtención de imágenes y planicies de inundación:

F. Satélite



Ilustración 7.- Satélite Artificial.

El satélite brinda imágenes en relieve de la superficie terrestre. También otorga las distancias que hay entre los puntos de la superficie terrestre, logrando con ello calcular perímetros y áreas de polígonos trazados.

IV. Procedimiento

A. Determinación de la rugosidad del río

Se tomó un coeficiente de rugosidad con valor igual a **0.026** debido a que se consideró apropiado para el río de acuerdo con las tablas de Manning^[13] para corrientes naturales y también siguiendo el estudio^[14] realizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés), donde en el “Water Supply Paper” de 1849 se encuentran diferentes ríos y sus secciones y la obtención de sus correspondientes coeficientes de Manning, por lo tanto, para el río se considerará una rugosidad intermedia entre el río Columbia en Vernita, Washington (n=0.024); y el Clark Fork en St. Regis, Montana (n=0.028)

Tabla 2.- Coeficientes de rugosidad de Manning (Sotelo, 1997)^[13].

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
D.1 Corrientes menores (ancho de la superficie libre del agua en nivel de creciento < 30m)			
a) Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior pero con mas piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones mas eficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con mas piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos , con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
b) Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070

B. Ubicación de las muestras de estudio

Las muestras utilizadas fueron tomadas por personal de la Comisión Federal de Electricidad justo en el cauce principal del río San Pedro Mezquital y la muestra 3 fue tomada en la entrada del río Naranjo con el río San Pedro Mezquital. La ubicación de las muestras se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.- Coordenadas de los sitios de muestreo de sedimentos.

Muestras	Coordenadas UTM	
	X	Y
Muestra 1	504873	2445743
Muestra 2	504977.00	2442465.00
Muestra 3	507136.00	2437136.00
Muestra 4	502028.00	2427310.00
Muestra 5	498255.00	2426915.00
Muestra 6	484936.00	2429041.00
Muestra 7	477229.00	2427240.00
Muestra 8	467661.00	2427417.00

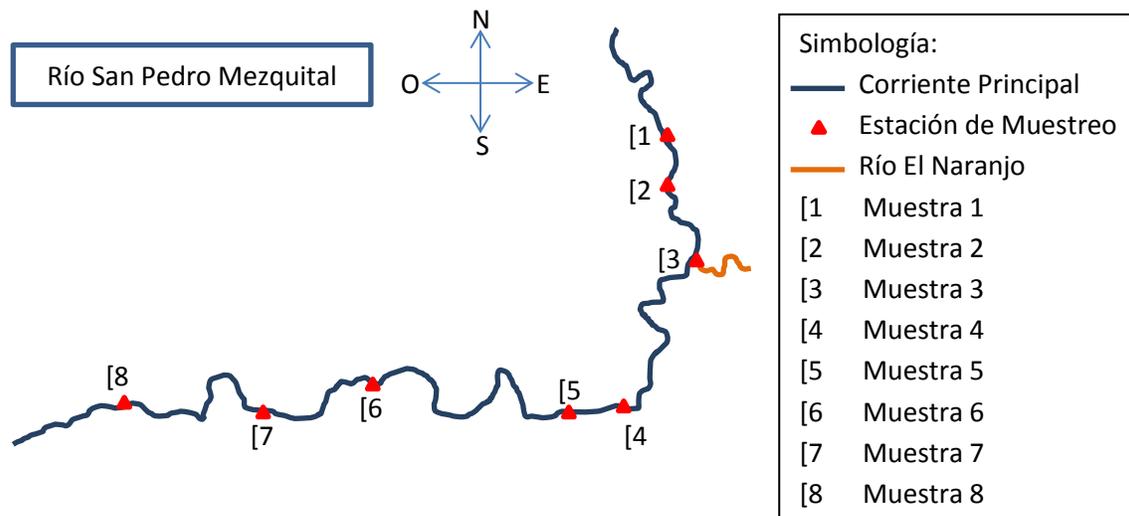


Ilustración 8.- Localización de las muestras en el río San Pedro Mezquital.

C. Caracterización de las muestras de estudio

En el laboratorio de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se obtuvo la curva granulométrica de cada una de las muestras en cuestión, para que, una vez obtenida la pendiente del tramo de río de donde se tomó la muestra, poder comparar el tamaño de sedimento y verificar si es coherente con la pendiente calculada y las aledañas. De acuerdo con la dinámica fluvial se sabe que a mayor pendiente, mayor tamaño del sedimento y viceversa, sin embargo, muchas veces el sedimento es afectado por factores externos o por la forma de la cuenca entre otras cosas, provocando que no se cumpla esta condición.

D. Cálculo de las pendientes de los tramos de río muestreados

Ya que no se cuenta con la altura sobre el nivel del mar de los puntos donde se tomaron las muestras, se obtuvieron las pendientes en las que se encuentran cada una de las muestras tomando como referencia las secciones del río intermedias entre cada una. A continuación se enlistan las secciones utilizadas con sus coordenadas UTM y representación gráfica:

Tabla 4.- Secciones y coordenadas en el río.

Sección	Coordenadas UTM		Z, msnm
	X	Y	
Sección 0	503 512.09	2448535.03	107
Sección 1	505 294.787	2 442 976.352	78.556
Sección 2	507355.01	2438305.57	74.71
Sección 3	507110.11	2437138.83	76.11
Sección 4	503802.43	2433341.46	52.51
Sección 5	500074.52	2427050.72	40.25
Sección 6	491278.25	2426855.19	23.56
Sección 7	481537.79	2427582	8.06
Sección 8	473361.59	2427409.67	3.63
Sección 9	463073.58	2426127.09	1.57

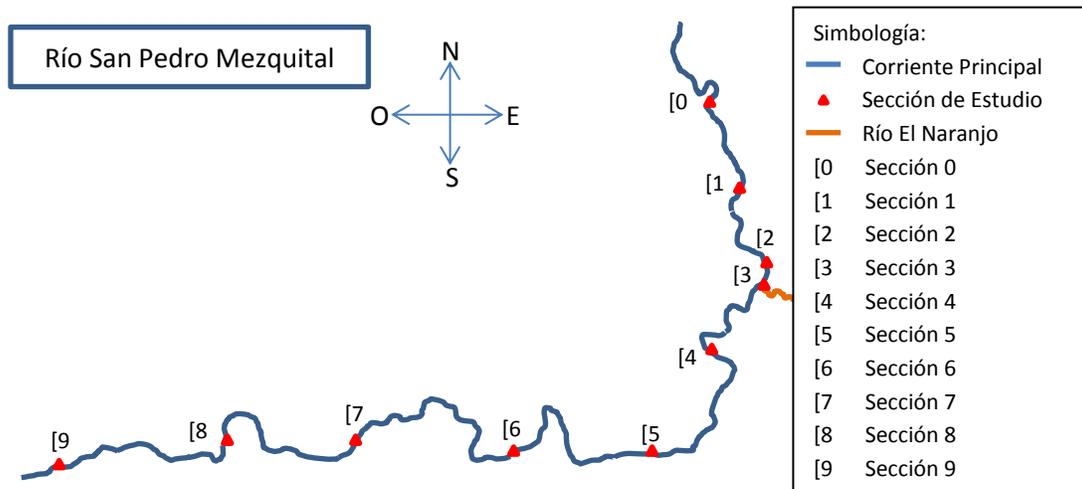


Ilustración 9.- Río San Pedro Mezquital y secciones de estudio.

Nota: La sección 0 fue utilizada únicamente como punto de referencia para poder obtener la pendiente correspondiente a la muestra 1, sin embargo no se utilizará para la obtención de sección transversal del río. Además, la sección 3, se utilizará únicamente para obtener la sección transversal del río, ya que está ubicada dentro del río Naranjo y reporta un nivel de fondo mayor al de la sección 2.

Las pendientes correspondientes a cada tramo de río de donde se tomaron muestras de sedimento se estimaron a partir de la altura mínima de cada sección, y la ec. (IV.1) para la obtención de la pendiente:

$$P = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (IV.1)$$

Donde:

P : Pendiente entre dos puntos.

Δy : Diferencia de alturas entre dos puntos m.

Δx : Distancia entre dos puntos m.

Ejemplo:

Para la obtención de la pendiente de la muestra 1, se tomaron como referencia las secciones 0 y 1 del río, siendo las más cercanas a tener la localización de la muestra 1 a la mitad entre ambas. Se midió la distancia sobre el fondo del río a partir de la muestra 1 hacia ambas secciones y se obtuvieron los siguientes resultados:

Distancia de la muestra 1 a la sección 0 = 3297 m

Distancia de la muestra 1 a la sección 1 = 3297 m

Altura de fondo de la sección 0 = 107 msnm

Altura de fondo de la sección 1 = 78.556 msnm

Sustituyendo en la ec. (IV.1):

$$P = 0.0043136$$

Por lo tanto, la pendiente del tramo donde se tomó la muestra 1 es igual a: 0.0043136

A su vez, conociendo la pendiente que hay en la zona de la muestra 1, despejando de la ecuación (IV.1), se puede obtener el nivel de fondo de río en el punto de la muestra 1:

$$F1 = 107 - (0.0043136 * 3297) = 78.556 + (0.0043136 * 3297) = 92.778$$

Donde:

F1: Nivel del fondo del río de la muestra 1, en msnm

Se procede de igual manera para obtener las pendientes de cada una de las muestras.

E. Pendientes entre secciones del río san pedro mezquital

Las distancias entre muestra y sección, así como sus respectivas cotas se enlistan en la tabla siguiente:

Tabla 5.- Secciones, muestras y distancia entre ambas.

Secciones	Cotas, msnm	Muestras	Cotas, msnm	Distancia entre ambas, m
Sección 0	107	Muestra 1	92.778	3297
Sección 1	78.556			3297
Sección 1	78.556	Muestra 2	78.16181	662
Sección 2	74.71			5797
Sección 2	74.71	Muestra 3	72.33083	994
Sección 4	52.51			8281
Sección 4	52.51	Muestra 4	42.61002	8654
Sección 5	40.25			2063
Sección 5	40.25	Muestra 5	37.9906	1835
Sección 6	23.56			11720
Sección 6	23.56	Muestra 6	13.08172	10410
Sección 7	8.06			4989
Sección 7	8.06	Muestra 7	6.218307	5116
Sección 8	3.63			7190
Sección 8	3.63	Muestra 8	2.665293	7129
Sección 9	1.57			8094

Tabla 6.- Muestras y sus correspondientes pendientes.

Muestra	Pendiente
Muestra 1	0.00431362
Muestra 2	0.00059545
Muestra 3	0.00239353
Muestra 4	0.00114398
Muestra 5	0.00123128
Muestra 6	0.00100656
Muestra 7	0.00035999
Muestra 8	0.00013532

Con los datos de la Tabla 5 y la Tabla 6 es posible graficar un perfil del río San Pedro Mezquital, el perfil se muestra en la figura siguiente:

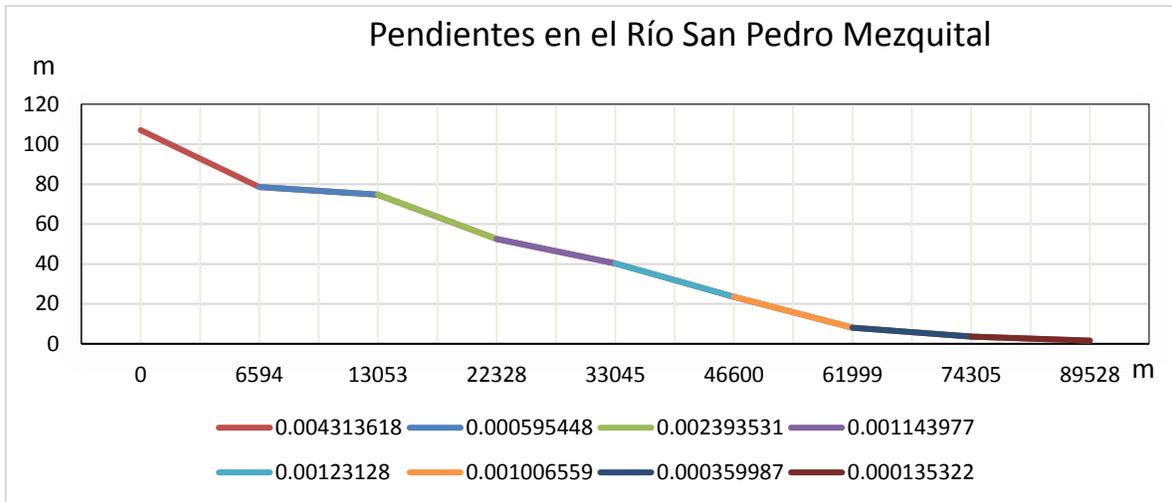


Ilustración 10.- Pendientes en el río San Pedro Mezquital.

La figura siguiente muestra la localización de las muestras dentro del perfil del río:

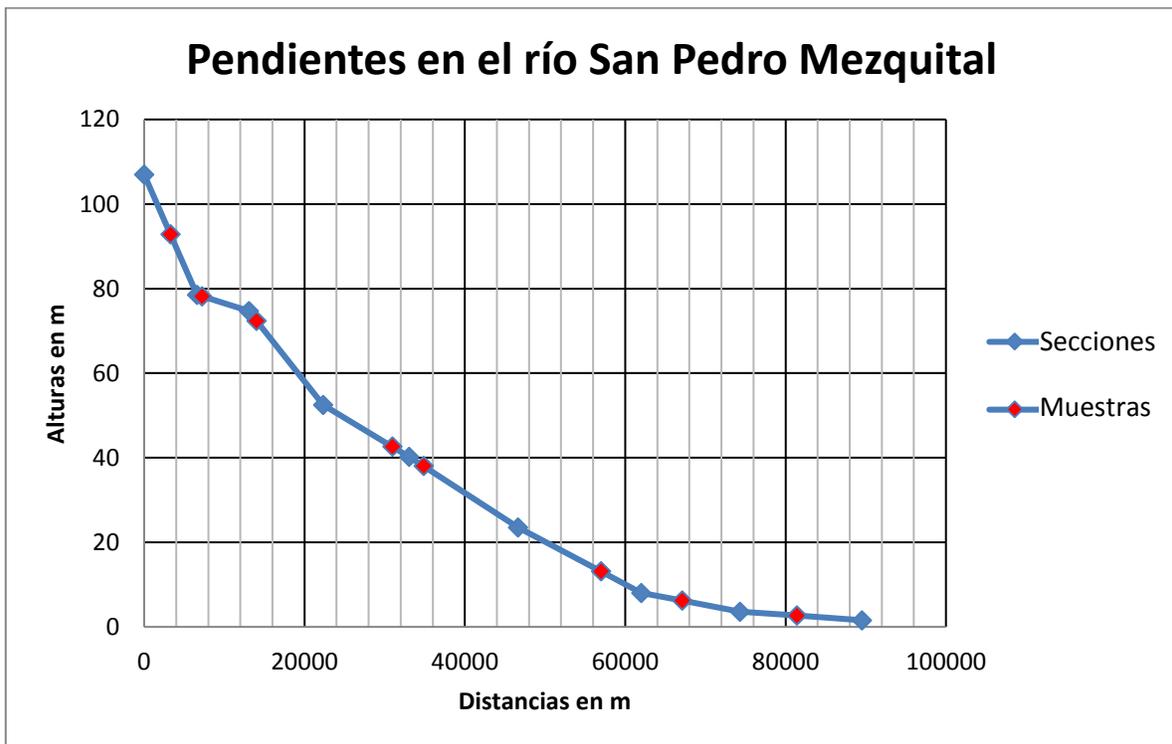


Ilustración 11.- Localización de las muestras y perfil del río.

F. Caracterización de las secciones de estudio

Para el estudio del río, se tomaron en cuenta las secciones previamente acotadas por el equipo de investigadores de la UNAM, de las que se contaba con los siguientes datos:

- Cotas de varios puntos a lo largo de la sección transversal del río.
- Localización con coordenadas UTM de cada uno de los anteriores.

Las coordenadas de cada extremo de cada una de las secciones de estudio además de sus respectivas cotas medidas sobre el nivel medio del mar se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 7.- Coordenadas y cotas de extremos y fondos de sección.

Nombre	Coordenadas UTM		MSNM	
	X	Y	Z	
Primera Coordenada	505350.056	2442938.89	103.61	Primera Sección
Fondo de Sección	505294.787	2442976.35	78.556	
Última Coordenada	505185.417	2443050.49	126.718	
Primera Coordenada	507504.39	2438329.79	101.98	Segunda Sección
Fondo de Sección	507355.01	2438305.57	74.71	
Última Coordenada	507226.68	2438284.77	86.28	
Primera Coordenada	507050.32	2437126.04	88.96	Tercera Sección
Fondo de Sección	507110.11	2437138.83	76.11	
Última Coordenada	507215.91	2437161.47	82.02	
Primera Coordenada	503860.67	2433426.66	79.94	Cuarta Sección
Fondo de Sección	503802.43	2433341.46	52.51	
Última Coordenada	503758.64	2433277.41	68.56	
Primera Coordenada	500074.94	2426935.46	52.3	Quinta Sección
Fondo de Sección	500074.52	2427050.72	40.25	
Última Coordenada	500074.52	2427148.89	45.97	
Primera Coordenada	491385.36	2426741.44	31.97	Sexta Sección
Fondo de Sección	491278.25	2426855.19	23.56	
Última Coordenada	491131.37	2427011.18	28.49	
Primera Coordenada	481616.51	2427547.04	14.36	Séptima Sección
Fondo de Sección	481537.79	2427582	8.06	
Última Coordenada	481390.69	2427647.32	13.24	
Primera Coordenada	473446.64	2427369.75	9.71	Octava Sección
Fondo de Sección	473361.59	2427409.67	3.63	
Última Coordenada	473195.21	2427487.76	11.16	
Primera Coordenada	463123.18	2425809.29	5.99	Novena Sección
Fondo de Sección	463073.58	2426127.09	1.57	
Última Coordenada	463040.05	2426341.69	5.94	

A la dirección de la primera coordenada enlistada de cada sección se nombra “izquierda” y a la dirección de la última coordenada enlistada de cada sección “derecha” ya que siguiendo el sentido del flujo del río con vista de planta y tomando como referencia el punto más bajo (Fondo de la sección) se ubican en esa dirección. De igual forma se nombra “margen izquierdo” y “margen derecho” a cada una de las distancias obtenidas tomando como referencia el Fondo del río hasta el nivel de superficie de un gasto de inundación (Gasto Medio, y gastos correspondientes a cada

uno de los periodos de retorno de la sección de estudio). Un esquema sencillo se puede observar abajo:

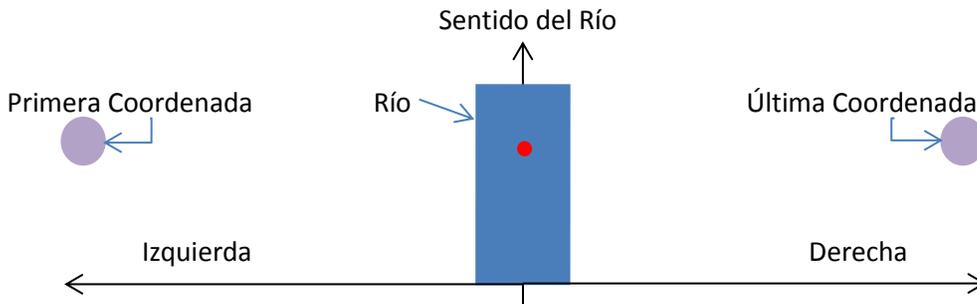


Ilustración 12.- Direcciones y sentidos en el río San Pedro Mezquital.

Donde:

- Fondo de la sección.

Ejemplo; para el gasto de un periodo de retorno de 100 años en la primera sección del río:



Ilustración 13.- Ejemplo de márgenes del río San Pedro Mezquital.

Donde:

- Ubicación de puntos.
- Ancho del río.
- Márgenes del río, (Márgenes Izquierdo y Derecho, de acuerdo a su ubicación respecto al fondo de la sección)
- Sentido del río.

Las cotas de todos los puntos entre ambos extremos de las secciones transversales así como sus correspondientes coordenadas UTM se encuentran en el apartado de Anexo I.

G. Gastos medios y periodos de retorno

Para la obtención del gasto medio (Q_{med}) y los periodos de retorno se utilizó la ilustración 14 tomada de Orsini et al, 2016, que cuenta con el gasto medio en m^3/s a lo largo de varios años.

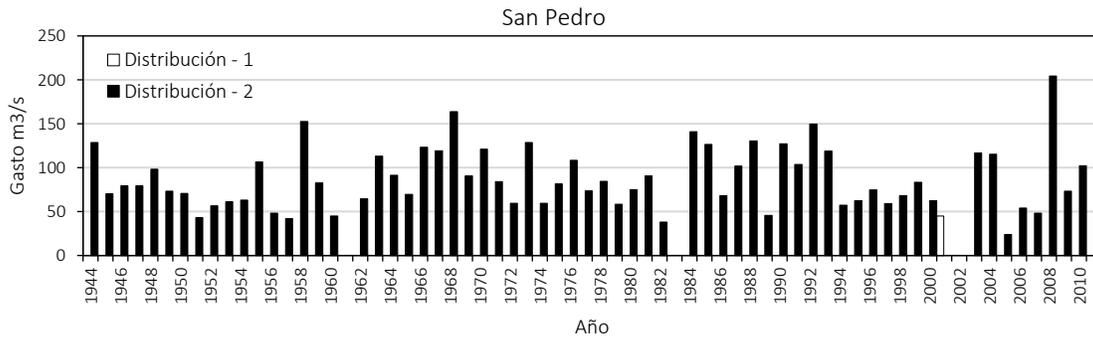


Ilustración 14.- Distribución de los gastos medios anuales. (Orsini et al, 2016)^[2].

Con los valores de la figura anterior se calculó el gasto medio para el río San Pedro Mezquital dando un valor de: $86.890625 m^3/s$

También se cuenta con los gastos correspondientes a los periodos de retorno para 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años en tres diferentes estaciones de aforo en el río San Pedro Mezquital.

A continuación se presenta un esquema ilustrando la ubicación de las estaciones de aforo, para así poder tomar los datos de la estación de aforo más cercanos a la sección a medir:

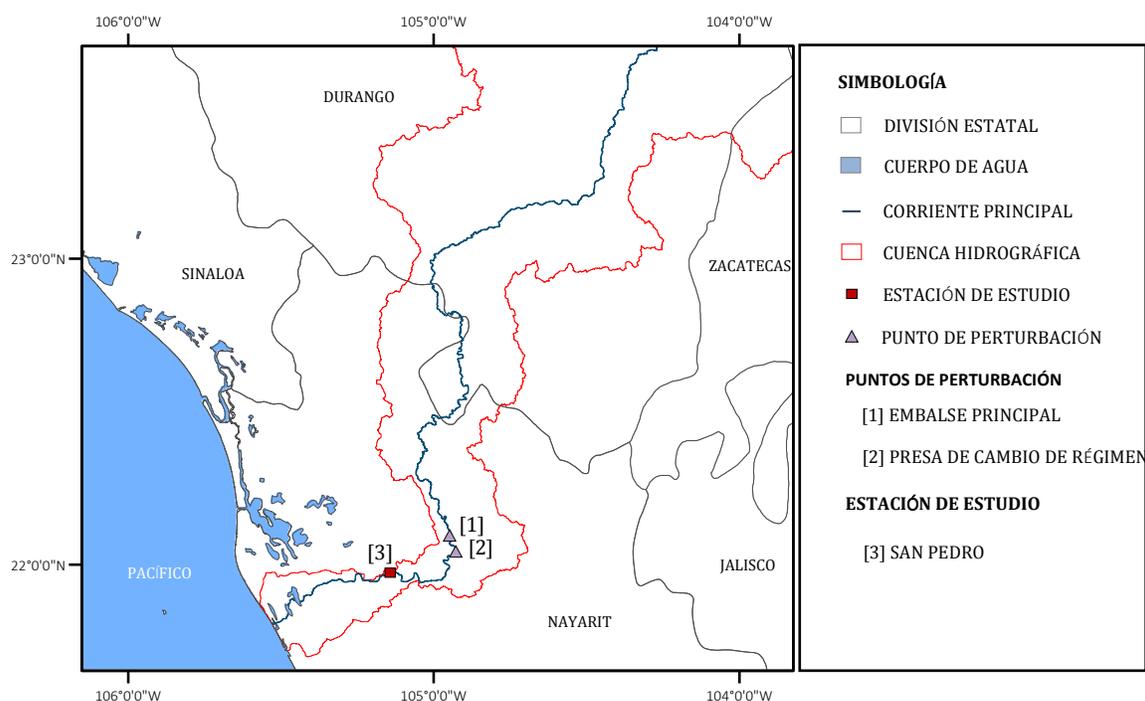


Ilustración 15.- Ubicación de la estación de estudio y los puntos de perturbación (modificada de Orsini et al, 2016)^[2].

Los gastos máximos anuales ($Q_{\text{máx}}$) en m^3/s promedio de 7 días consecutivos en los sitios de estudio se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 8.- Periodos de Retorno para los sitios de estudio (modificada de Orsini et al, 2016)^[2].

Sitio de Estudio	Período de Retorno (años)					
	2	5	10	20	50	100
Embalse Principal	331.2	475.6	593.1	724.2	924.7	1101.5
Presa de Cambio de Régimen	341.2	490.2	611.5	747.1	954.6	1137.8
San Pedro	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4

De esta forma se asignó un periodo de retorno (T_r) a cada sección de estudio, dejando el gasto medio como constante a lo largo de todas las secciones, se llega a la siguiente tabla:

Tabla 9.- Secciones y sus correspondientes gastos.

Sección	Qmed, m ³ /s	Gastos Máximos correspondientes a los períodos de retorno, m ³ /s					
		Tr2	Tr5	Tr10	Tr20	Tr50	Tr100
Sección 1	86.890625	331.2	475.6	593.1	724.2	924.7	1101.5
Sección 2	86.890625	341.2	490.2	611.5	747.1	954.6	1137.8
Sección 3	86.890625	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4
Sección 4	86.890625	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4
Sección 5	86.890625	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4
Sección 6	86.890625	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4
Sección 7	86.890625	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4
Sección 8	86.890625	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4
Sección 9	86.890625	433.3	620.1	773.4	945.6	1210.9	1446.4

H. Cálculo de las planicies de inundación

Contando con la información anterior y las coordenadas de todos los puntos de cada sección (véase Anexo A), y mediante el uso del programa AutoCAD se trazaron las secciones transversales del río y se obtuvieron el perímetro mojado, área hidráulica, Velocidad, y medidas correspondientes a cada uno de los Periodos de Retorno y el Gasto Medio de cada sección.

Para esto se utilizó la fórmula de Manning de donde se despejó el gasto de interés:

$$V(h) = \left(\frac{1}{\eta}\right) * \left(\frac{A(h)^{2/3}}{P(h)^{2/3}}\right) * (S^{1/2}) \Rightarrow Q(h) = \left(\frac{1}{\eta}\right) * \left(\frac{A(h)^{5/3}}{(P(h))^{2/3}}\right) * (S^{1/2})$$

Donde:

A (h) = Área mojada (área de la sección del flujo de agua), en m², en función del tirante hidráulico h

P (h) = Perímetro mojado, en m, función del tirante hidráulico h.

η = Coeficiente de rugosidad de Manning

V (h) = Velocidad media del agua en $\frac{m}{s}$, función del tirante hidráulico h

Q (h) = Gasto en $\frac{m^3}{s}$, función del tirante hidráulico h

S = la pendiente de la línea de agua en $\frac{m}{m}$

De acuerdo con lo expuesto en el apartado E de éste capítulo se tienen las pendientes correspondientes a cada una de las muestras de estudio. Por lo que para obtener la pendiente de cada una de las secciones de estudio, se hizo el promedio de las pendientes de las 2 muestras más cercanas a cada sección, una muestra de aguas arriba y una de aguas abajo, las pendientes correspondientes a cada sección se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 10.- Secciones y sus correspondientes pendientes.

Sección	Pendiente
Sección 1	0.00245453
Sección 2	0.00149449
Sección 3	0.00239353
Sección 4	0.00176875
Sección 5	0.00118763
Sección 6	0.00111892
Sección 7	0.00068327
Sección 8	0.00024765
Sección 9	0.00013532

Cabe aclarar que para la sección 3 y la sección 9 no se utilizó el procedimiento anteriormente mencionado. La sección 3 se ubica en el mismo lugar que la muestra 3, por lo que su pendiente es simplemente la misma que la de la muestra 3, y para la sección 9, no se cuenta con una muestra de referencia de menor elevación para hacer el promedio de pendientes, por lo que su pendiente es igual a la obtenida para la muestra 8.

Sabiendo que el gasto buscado debe ser igual al Q_{med} o el $Q_{m\acute{a}x}$ buscado, se llevó a cabo un proceso iterativo proponiendo diferentes perímetros, áreas y velocidades hasta que coincida para cada sección. Dejando como constante a la rugosidad y las pendientes ya que son datos anteriormente obtenidos (para más información acerca de la obtención de la rugosidad del río San Pedro Mezquital, léase el apartado con título: Determinación de la rugosidad del río.

Para las secciones cuya sección transversal acotada no sea suficiente para que pase el gasto en estudio, se tomarán como referencias los últimos dos puntos de cada sección y se extenderá la sección utilizando la misma pendiente que la obtenida por esos dos puntos, si la pendiente que se obtiene de ellos va otorgando alturas menores con respecto al nivel del mar, entonces se utilizarán el par de puntos más cercanos a los extremos cuya pendiente propicie lo contrario.

V. Resultados

A. Figuras de las pendientes y el tamaño del sedimento en el río

Se comparó el tamaño del sedimento con las pendientes del río en las que se encuentran, dividiéndolo en sedimento en suspensión y sedimento de fondo (SS y SF respectivamente), utilizando como curvas de comparación la D10, D16, D50, D84 y D95. Las tablas y figuras resultantes en los meses junio – diciembre del 2015 y marzo del 2016 fueron las siguientes:

Tabla 11.- Sedimento en suspensión de junio 2015.

SS-Jun-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
14047	72.33083019	0.2650	0.3610	0.7670	1.4120	1.6840
34880	37.99060125	0.2010	0.2940	0.7370	1.6300	1.7580
57010	13.08172219	0.2040	0.2830	0.8080	1.9330	2.2870
67115	6.218306517	0.1920	0.2090	0.3030	0.4430	0.4770
81434	2.665292649	0.2930	0.3350	0.5180	0.8730	1.0420

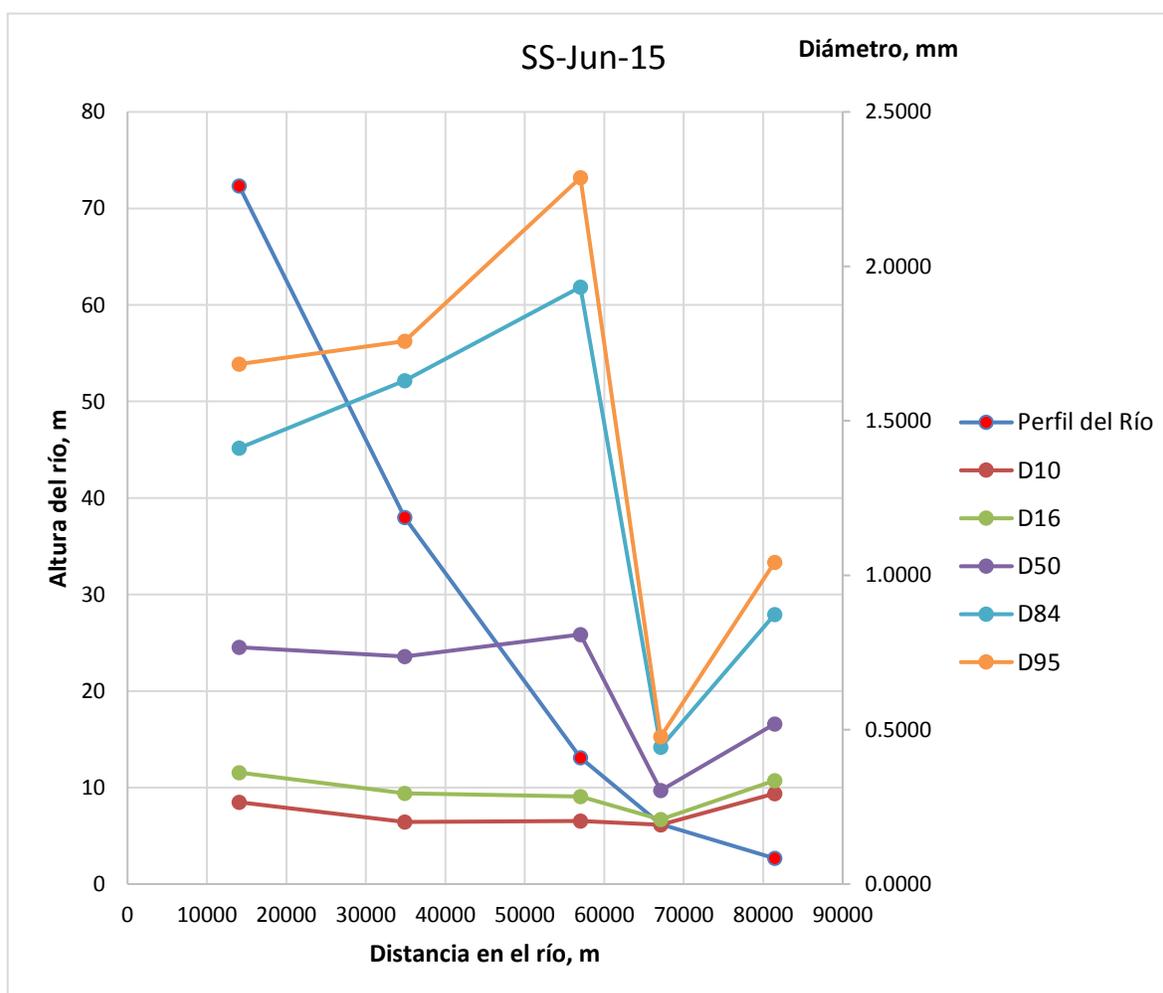


Ilustración 16.- Sedimento en suspensión de junio 2015.

Para el mes de junio no se cuenta con el muestreo con draga, sin embargo, del muestreo del sedimento en suspensión se observa que el tamaño del sedimento llega a un pico a los 57,010 metros, esta distancia corresponde a la muestra 6, la cual está cercana a la población de Ruiz, posiblemente este pico se deba a la pendiente que lleva el río, pero principalmente a la contaminación generada por la población, provocando así un incremento de los sedimentos en suspensión, que al parecer se asientan porque desciende el tamaño del material suspendido posteriormente, y asciende nuevamente de manera menos drástica de nuevo en los 81,434 metros, que es la ubicación de la muestra 8, la cual está cercana a las poblaciones de Tuxpan y San Vicente, siendo posiblemente la contaminación por la población, la causa por la que el sedimento en suspensión aumente de tamaño aun cuando la pendiente en ese lugar sea la menor.

Tabla 12.- Sedimento en suspensión de agosto 2015.

SS-Ago-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
34880	37.99060125	0.2626	0.3144	0.4487	0.6331	0.8467
57010	13.08172219	0.3023	0.3673	0.6171	0.9967	1.4855
67115	6.218306517	0.2377	0.2732	0.3852	0.5593	0.8211
81434	2.665292649	0.1879	0.2151	0.3266	0.4976	0.6759

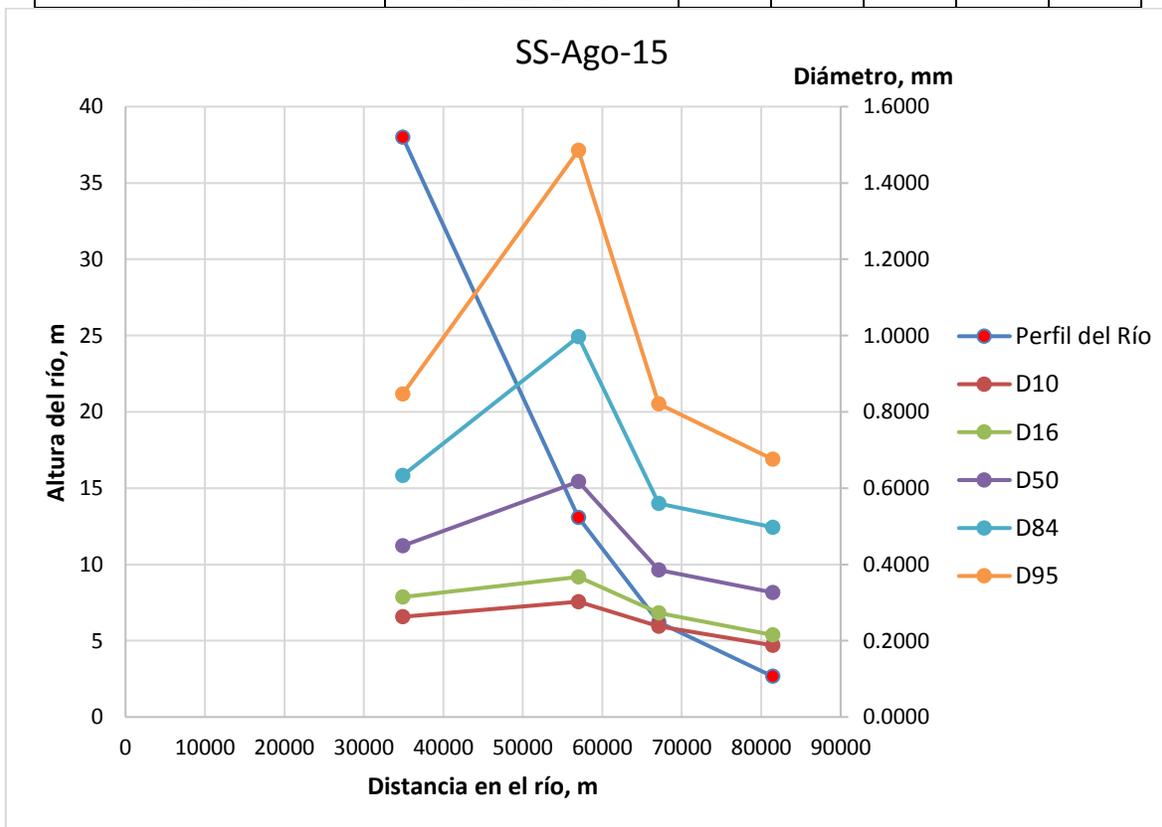


Ilustración 17.- Sedimento en suspensión de agosto 2015.

En agosto tampoco se cuenta con el muestreo con draga, lo que es observable es el muestreo del sedimento en suspensión donde el tamaño del sedimento llega a un pico a los 57,010 metros,

correspondiendo esta distancia a la muestra 6, igualmente se llega a la conclusión de que este pico esté influido por la pendiente del río y mayormente por la contaminación generada por la población de Ruiz, los sedimentos se asientan porque desciende el material suspendido posteriormente. En este mes no hubo un incremento posterior en la muestra 8, sin embargo se obtuvieron valores en esa muestra semejantes a los del mes de junio. Por lo que, se puede aceptar que los meses de junio y agosto tuvieron comportamientos semejantes en cuanto a hidrología y contaminación de las poblaciones aledañas se refiere.

Tabla 13.- Sedimento en suspensión de septiembre 2015.

SS-Sep-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
3297	92.778	0.2818	0.3691	0.7483	1.4247	2.0023
14047	72.3308302	0.5416	0.6383	1.1120	1.9921	2.8630

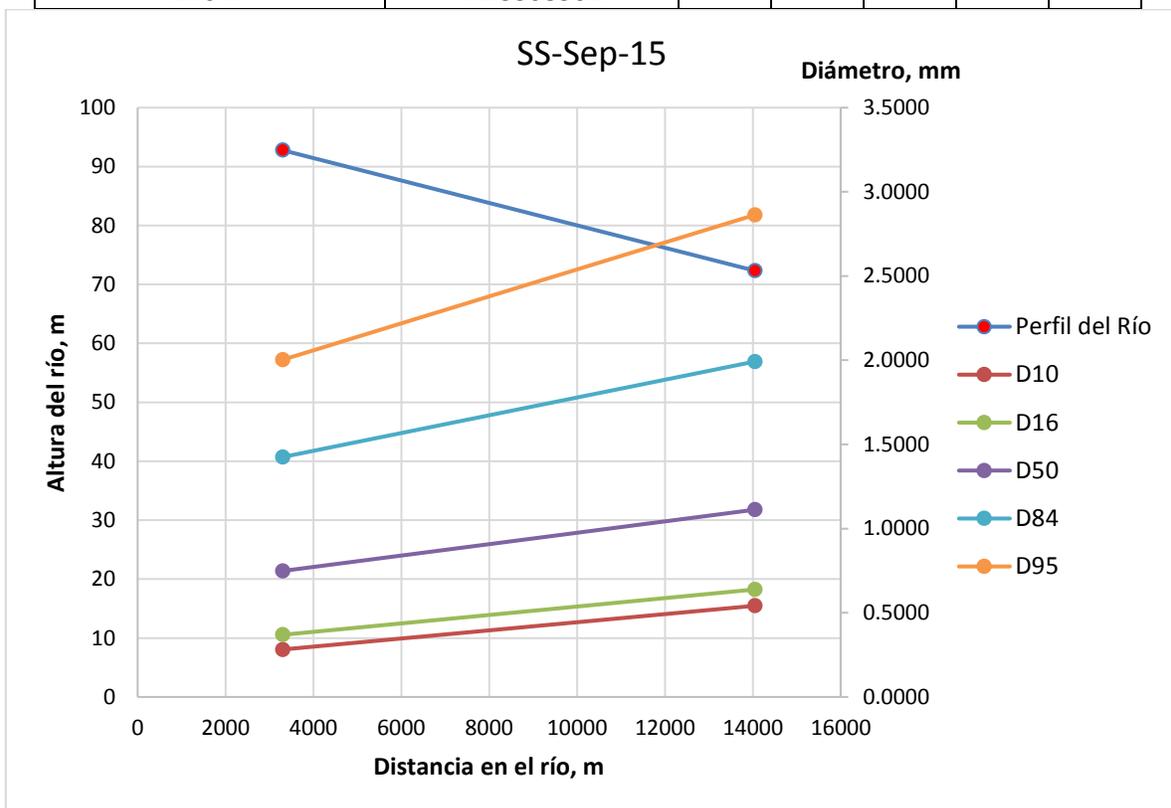


Ilustración 18.- Sedimento en suspensión de septiembre 2015.

Tabla 14.- Sedimento de fondo de septiembre 2015.

SF-Sep-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
3297	92.778	0.2727	0.3290	0.5784	0.9593	1.4106
14047	72.3308302	1.5289	3.9724	24.3510	47.2872	82.5313
34880	37.9906013	3.2931	7.6802	26.1145	70.0100	83.0482
57010	13.0817222	19.8519	26.3669	52.0620	83.0274	83.9870
67115	6.21830652	0.2611	0.3026	0.4564	0.6832	0.9233
81434	2.66529265	0.2334	0.2766	0.4627	0.7464	1.0570

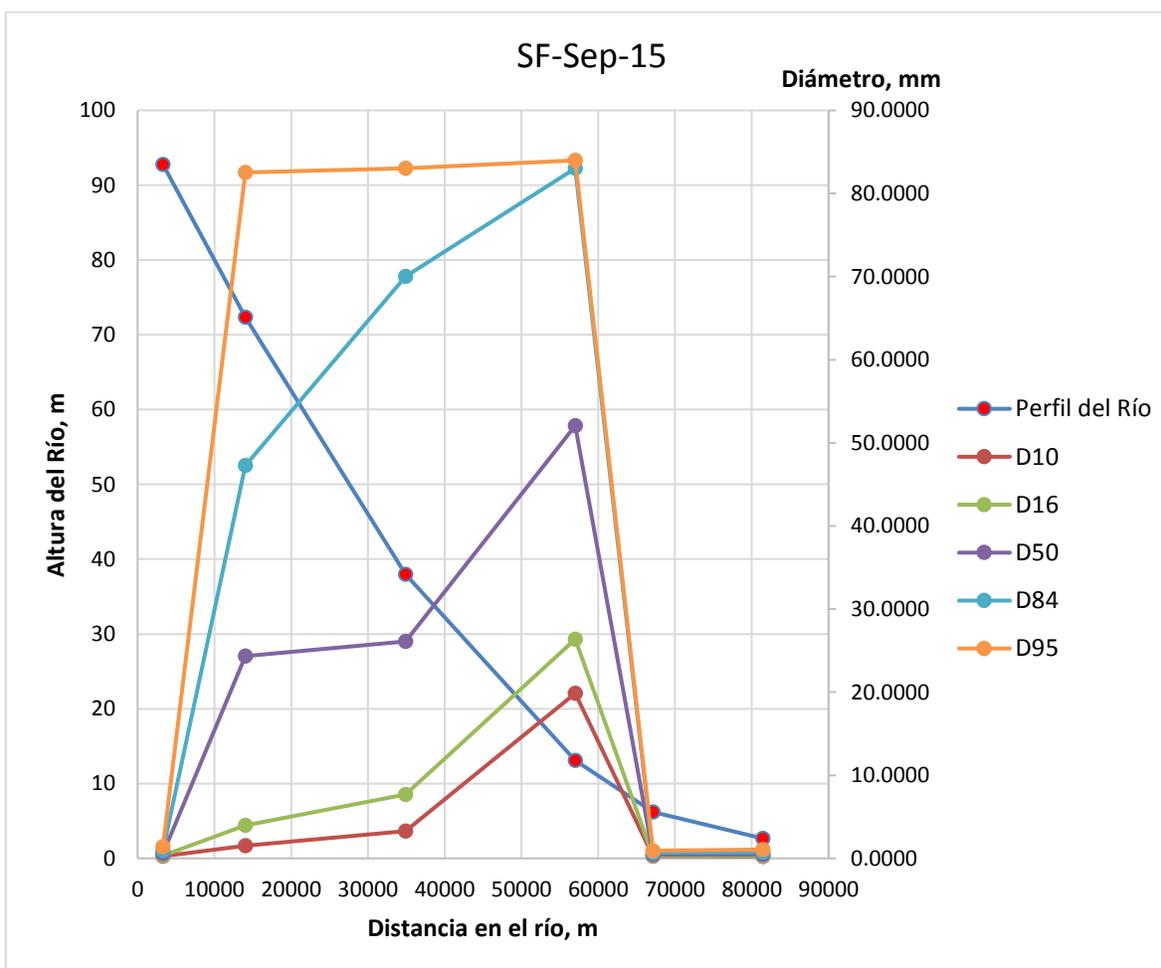


Ilustración 19.- Sedimento de fondo de septiembre 2015.

Para el mes de septiembre sí se cuenta con el muestreo con draga y de sedimento en suspensión.

Analizando el sedimento en suspensión, sólo se cuenta con las muestras 1 y 3, sin embargo, el tamaño de sedimento es mayor que el de los meses anteriores, y al encontrarse la muestra 1 en una zona libre de contaminación humana, se concluye que afectó principalmente la precipitación ocurrida en ese mes para lograr el aumento de tamaño, la muestra tres presenta también una

cantidad mayor de sedimento en suspensión por lo que se infiere que el río Naranjo es también un importante aportador de sedimentos en suspensión para el río San Pedro Mezquital.

Lo anterior es más notorio al observar la ilustración 19 dónde se observa que a partir de la entrada del río Naranjo el tamaño del sedimento de fondo incrementa drásticamente, y crece hasta llegar a un pico en la ubicación de la muestra 6 (cercana a la población Ruiz) y posteriormente llegar a ser casi nula. Se concluye que en el mes de septiembre hubo precipitaciones mayores y que el río Naranjo aporta la mayor parte de los sedimentos de fondo al río San Pedro Mezquital y que estos son acarreados hasta llegar a la población de Ruiz, donde finalmente la pendiente y velocidad del agua no les permiten ser arrastrados aguas abajo. En este mes se tienen los tamaños de sedimentos de fondo más grandes registrados en el año que se muestreó.

Tabla 15.- Sedimento en suspensión de octubre 2015.

SS-Oct-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
7256	78.1618133	0.1994	0.2392	0.4508	0.9726	1.6896
34880	37.9906013	0.2655	0.3245	0.4866	0.7396	1.0148
57010	13.0817222	0.2663	0.3103	0.4741	0.7274	0.9632
67115	6.21830652	0.1791	0.2074	0.3360	0.5288	0.7282
81434	2.66529265	0.2193	0.2528	0.3768	0.6183	0.9066

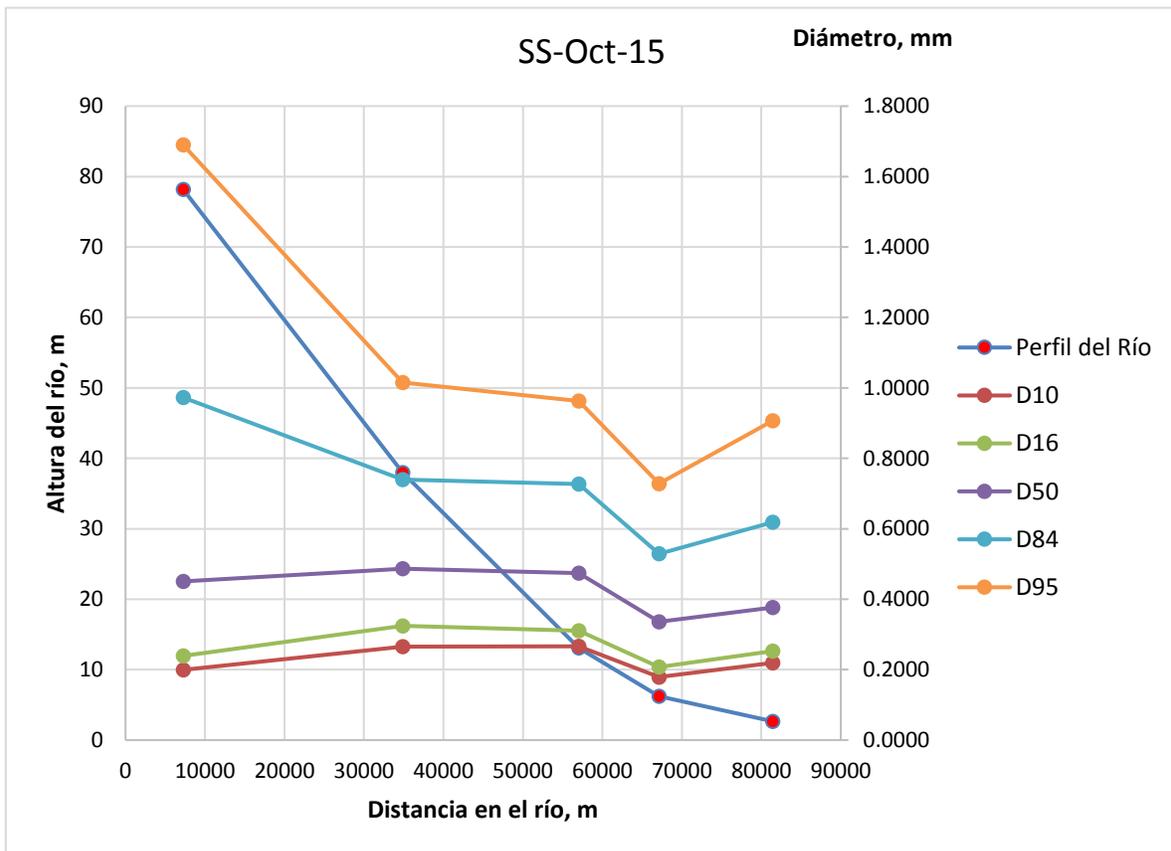


Ilustración 20.- Sedimento en suspensión de octubre 2015.

Tabla 16.- Sedimento de fondo de octubre 2015.

SF-Oct-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
3297	92.778	0.2099	0.2598	0.4609	0.7703	1.1088
14047	72.3308302	0.0603	0.0793	0.1554	0.2582	0.3632
34880	37.9906013	0.3874	0.5014	6.2242	19.0988	31.7059
57010	13.0817222	0.1751	0.2121	0.3382	0.6221	1.1773
67115	6.21830652	0.1769	0.1981	0.3297	0.5633	0.7913
81434	2.66529265	0.0682	0.0453	0.1868	0.3650	0.5338

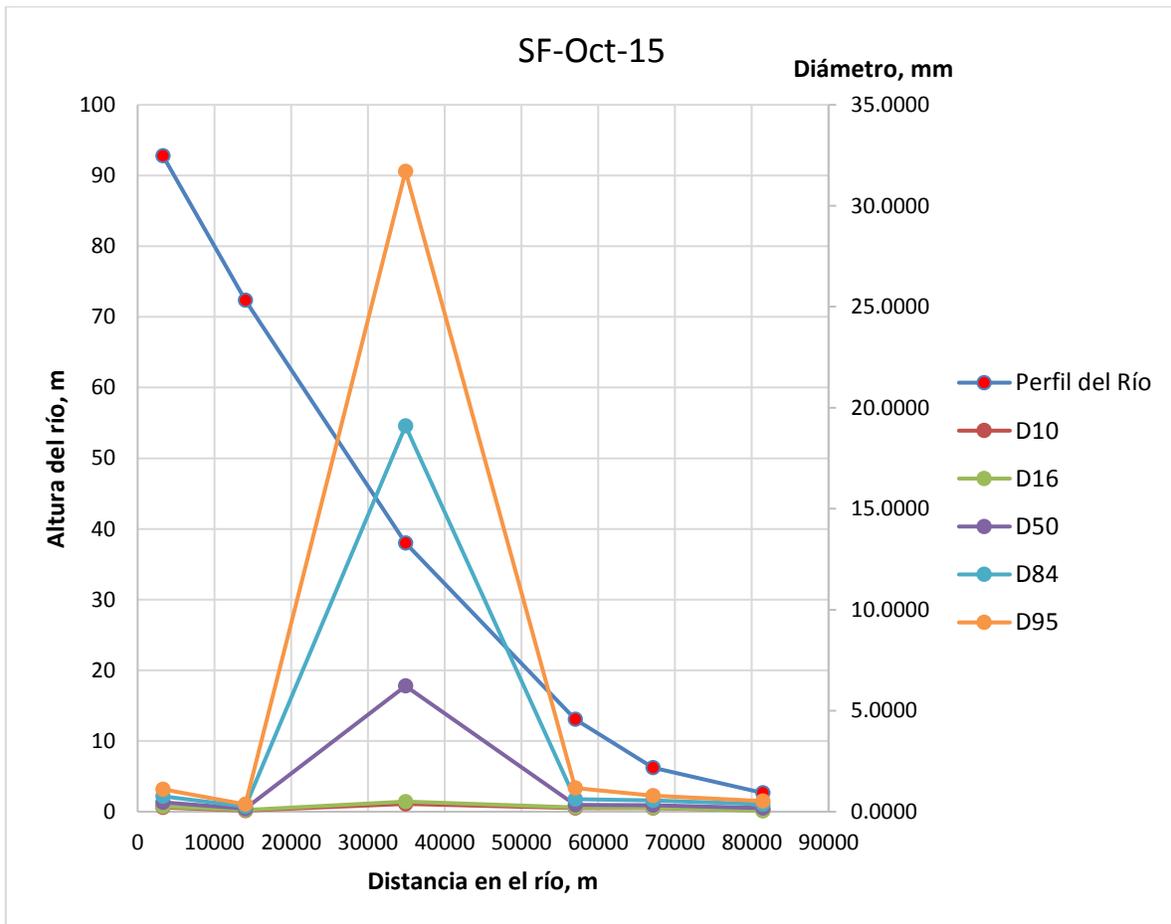


Ilustración 21.- Sedimento de fondo de octubre 2015.

Para el mes de octubre sí se cuenta con el muestreo con draga y de sedimento en suspensión.

Analizando el sedimento en suspensión, se observa que se cumple con la dinámica de fluidos ya que a mayor pendiente mayor tamaño de sedimento, y a medida que la pendiente disminuye, el tamaño del sedimento lo hace también. No tiene ningún pico relevante, más que el de la muestra 2, reforzando la teoría de la dinámica de fluidos. Para este mes, el río Naranjo no formó parte importante en la aportación de sedimento superficial al río San Pedro Mezquital.

Si se observa el comportamiento del sedimento de fondo, se entiende que se desplazó de la entrada del río Naranjo hacia aguas abajo, teniendo un pico en la muestra 5. Sin embargo, la falta de muestreo en la ubicación de las muestras 4, y 6, imposibilitan el saber exactamente qué sucedió con el sedimento de fondo en ese mes; es probable que se comporte de manera semejante al mes de septiembre pero disminuyendo antes de lo esperado a partir de la ubicación de la muestra 6 y no volviendo a ascender después debido a la pendiente y a la velocidad del agua en esa última parte del río.

Tabla 17.- Sedimento en suspensión de noviembre 2015.

SS-Nov-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
3297	92.778	0.1938	0.2587	0.3770	0.5105	0.6417
14047	72.3308302	0.4558	0.5452	1.0463	1.9436	3.1881
34880	37.9906013	0.3126	0.3471	0.5336	0.8196	1.2064
57010	13.0817222	0.2999	0.3363	0.4938	0.7259	0.9688
67115	6.21830652	0.1322	0.1531	0.2653	0.5835	0.7382
81434	2.66529265	0.2281	0.2631	0.3862	0.5613	0.7336

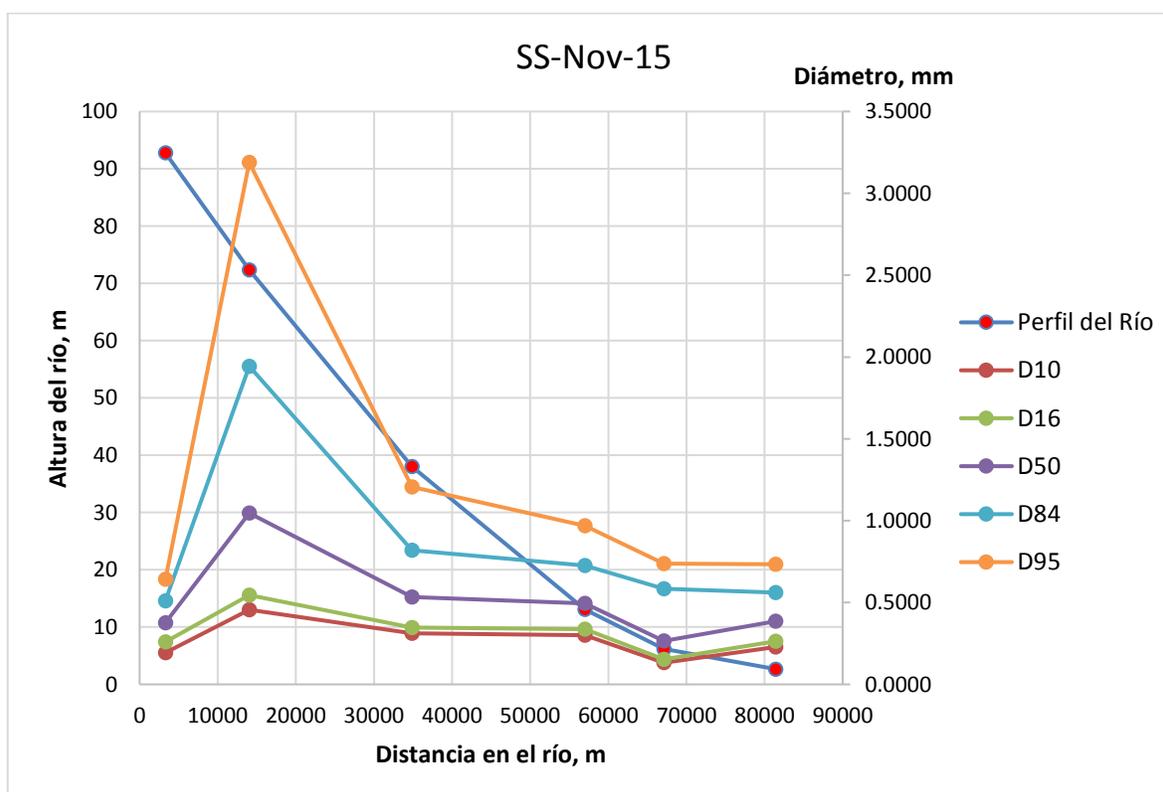


Ilustración 22.- Sedimento en suspensión de noviembre 2015.

Tabla 18.- Sedimento de fondo de noviembre 2015.

SF-Nov-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
3297	92.778	0.0784	0.1262	0.1752	0.4206	0.5725
14047	72.3308302	0.2402	0.2504	1.5066	25.1917	42.2521
34880	37.9906013	0.5949	0.7864	1.7496	32.1690	52.0000
57010	13.0817222	0.2728	0.3163	0.5253	0.8652	1.2337
67115	6.21830652	0.1432	0.1761	0.3148	0.5591	0.7728
81434	2.66529265	0.1500	0.2111	0.3647	0.5745	0.8390

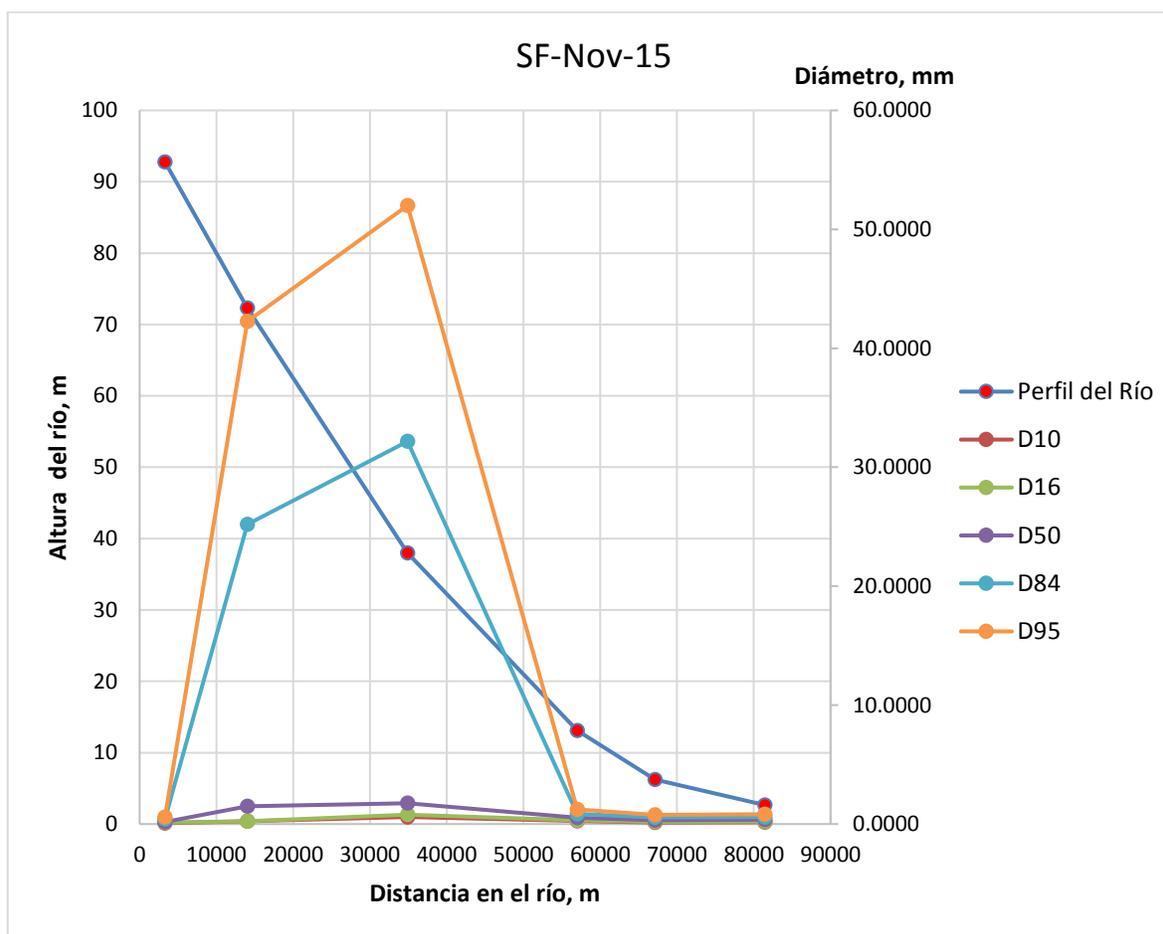


Ilustración 23.- Sedimento de fondo de noviembre 2015.

Para el mes de noviembre sí se cuenta con el muestreo con draga y de sedimento en suspensión.

Analizando el sedimento en suspensión, se observa que en la entrada del río Naranjo, hay un pico máximo, reforzando la teoría anterior de que el río Naranjo es un importante aportador de sedimentos al río San Pedro Mezquital.

Todavía más notorio es esto al observar el comportamiento del sedimento de fondo, que incrementa drásticamente en la entrada del río Naranjo al río San Pedro Mezquital, teniendo un tamaño máximo en la ubicación de la muestra 5 y descendiendo en la ubicación de la muestra 6 para posteriormente no volver a ascender seguramente por la velocidad del flujo y la pendiente del río.

Tabla 19.- Sedimento en suspensión de diciembre 2015.

SS-Dic-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
7256	78.1618133	0.1176	0.1595	0.3238	0.6193	0.9289
14047	72.3308302	0.5216	0.6014	0.9819	1.8327	2.7046
30982	42.6100243	0.32766	0.51530	1.59690	3.19833	4.35555
57010	13.0817222	0.2546	0.2965	0.4339	0.6410	0.8938
67115	6.21830652	0.2449	0.3029	0.5003	0.7379	0.9563
81434	2.66529265	0.25710	0.29134	0.41571	0.64185	0.88103

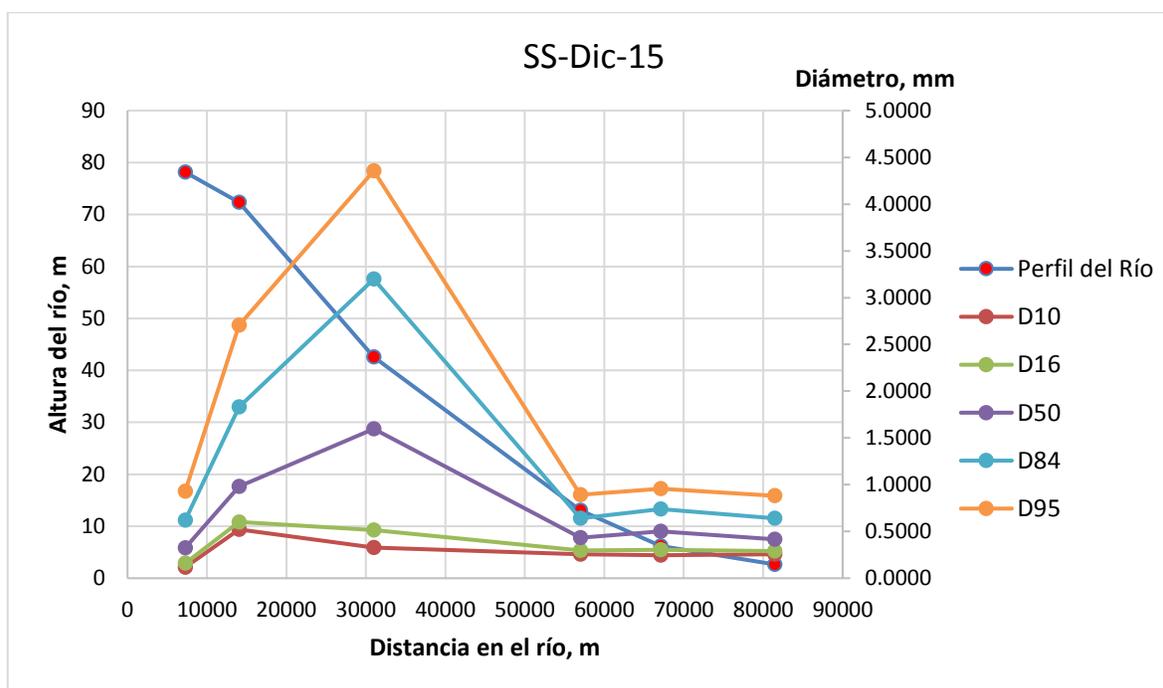


Ilustración 24.- Sedimento en suspensión de diciembre 2015.

Tabla 20.- Sedimento de fondo de diciembre 2015.

SF-Dic-15						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
3297	92.778	0.0495	0.0689	0.1566	0.3880	0.6836
14047	72.3308302	1.1174	1.3740	3.4506	48.9461	69.6773
34880	37.9906013	0.14057	0.17666	0.34243	13.57279	22.99556
57010	13.0817222	0.1592	0.1924	0.3535	0.6971	0.9777
67115	6.21830652	0.1427	0.1779	0.3256	0.5732	0.7558
81434	2.66529265	0.09394	0.12473	0.31355	0.53510	0.77723

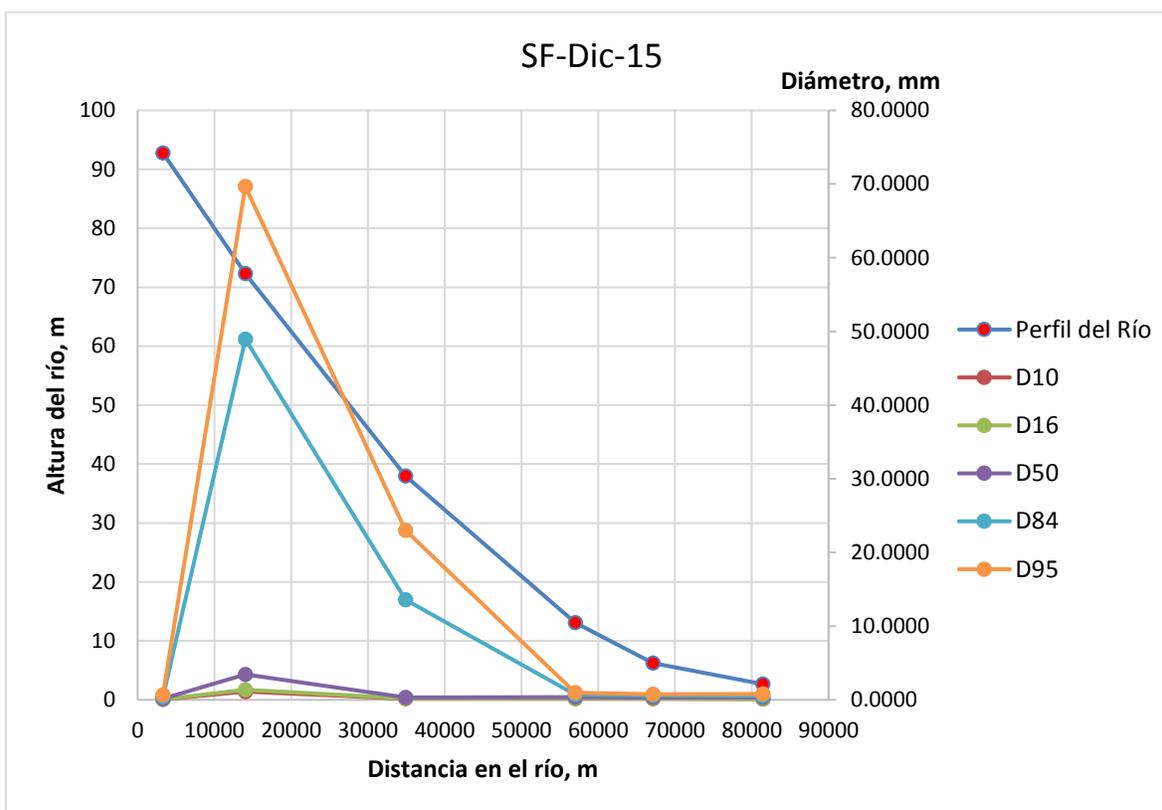


Ilustración 25.- Sedimento de fondo de diciembre 2015.

Para el mes de diciembre sí se cuenta con el muestreo con draga y de sedimento en suspensión.

Analizando el sedimento en suspensión, se nota un crecimiento en el tamaño a partir de la entrada del río Naranjo al río San Pedro Mezquital, que crece hasta tener un pico en la ubicación de la muestra 4, para después disminuir paulatinamente. La muestra 4 se encuentra justo después de una de las más largas secciones del río que son casi rectas, por lo que es certero suponer que la velocidad en este punto de muestreo es mayor y por ende el sedimento en suspensión presenta mayor tamaño.

El sedimento de fondo cumple con las aseveraciones antes hechas sobre el río Naranjo y su aporte de sedimentos al río San Pedro Mezquital. Disminuye paulatinamente el sedimento de tamaño

concordando con la pendiente. En este mes se tiene el segundo más grande tamaño de sedimento de fondo registrado.

Tabla 21.- Sedimento en suspensión de marzo 2016.

SS-Mar-16						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
30982	42.6100243	0.40576	0.46606	0.74614	1.47000	2.62341
57010	13.0817222	0.28487	0.31581	0.47166	0.73571	1.02790

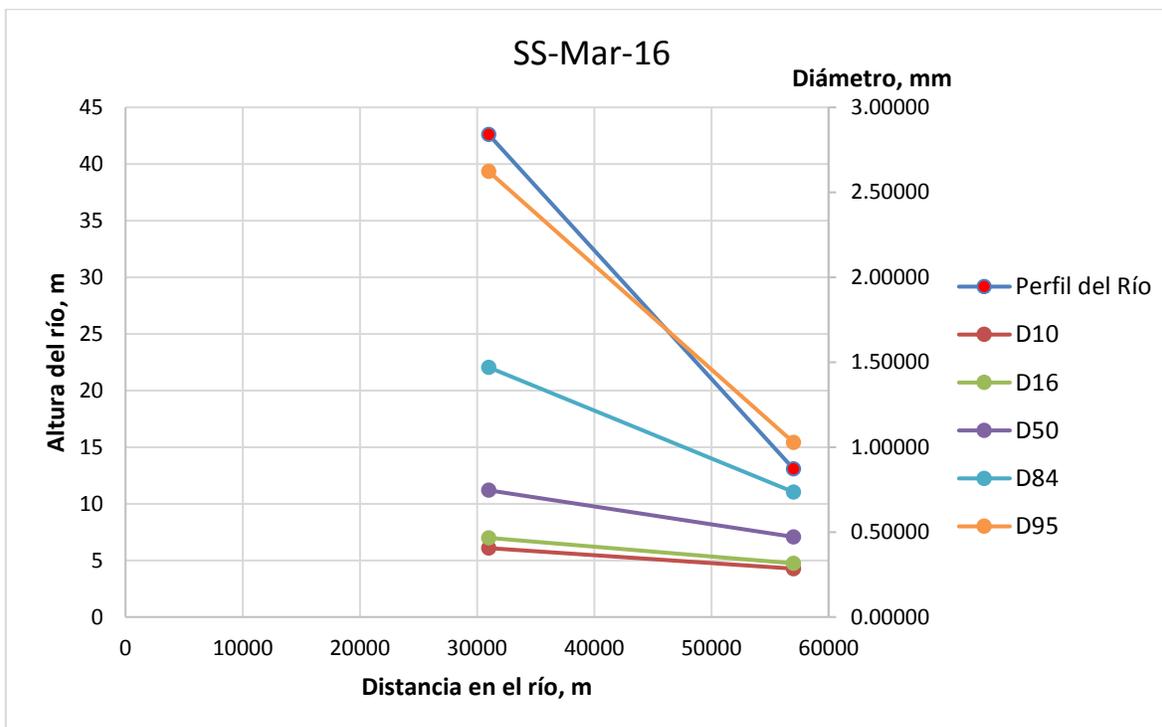


Ilustración 26.- Sedimento en suspensión de marzo 2016.

Tabla 22.- Sedimento de fondo de marzo 2016.

SF-Mar-16						
Distancia en el río, m	Altura del río, m	D10	D16	D50	D84	D95
3297	92.778	0.08497	0.11347	0.24045	0.45535	0.71963
14047	72.3308302	0.8826	1.0047	1.6310	2.8820	5.0452
34880	37.9906013	0.3978	0.4523	0.6545	0.9912	1.3976
57010	13.0817222	0.2351	0.2928	0.5019	0.8425	1.2372
67115	6.21830652	0.0829	0.1209	0.4022	0.7547	1.1247

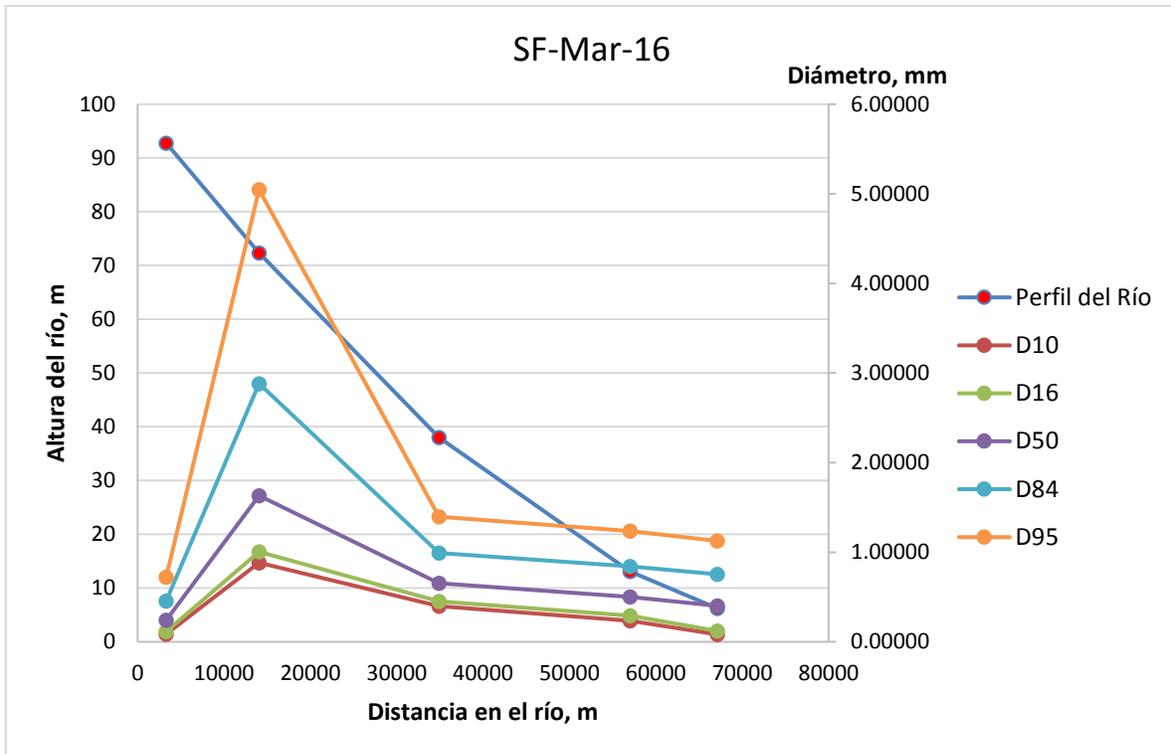


Ilustración 27.- Sedimento de fondo de marzo 2016.

Para el mes de marzo sí se cuenta con el muestreo con draga y de sedimento en suspensión.

Analizando el sedimento en suspensión, hay nuevamente un tamaño máximo en la ubicación de la muestra 4, para después disminuir de tamaño en la ubicación de la muestra 6. Se reitera que la cualidad de la ubicación de la muestra 4 es el estar justo después de uno de los tramos más largos y rectos del río, con una pendiente pronunciada, por lo que la velocidad es un factor determinante para proporcionar ese volumen alto de sedimento en suspensión.

El sedimento de fondo cumple nuevamente con las aseveraciones antes hechas sobre el río Naranjo y su aporte de sedimentos al río San Pedro Mezquital. De igual forma, disminuye paulatinamente el sedimento de tamaño a partir de la muestra 5 concordando con la pendiente.

B. Análisis y comparación del sedimento con las pendientes del río San Pedro Mezquital

Finalmente se observa que el comportamiento esperado según teoría de la dinámica fluvial coincide con el de las muestras obtenidas, ya que a mayor pendiente sí hay un mayor tamaño de sedimento en la sección del río y viceversa. Sin embargo, también cabe mencionar que la temporada de lluvias afecta de manera más significativa al tamaño de los mismos, ya que las muestras obtenidas en septiembre-diciembre tuvieron un sedimento de fondo hasta 15 veces más grande que el obtenido en marzo del 2016. A su vez, el comportamiento del sedimento en suspensión en temporada de lluvias fue similar, teniendo su máximo tamaño en el mes de diciembre, seguido por noviembre. También se observa que las muestras incrementan de tamaño

considerablemente a partir de la entrada del río Naranjo en el río San Pedro Mezquital (ubicación de la muestra 3) lo que supone un aporte de sedimentos importante por parte del río Naranjo al San Pedro Mezquital, posiblemente por las características hidrogeológicas del río Naranjo sea posible comprobar en futuros estudios la hipótesis de que la mayoría de los sedimentos en el río San Pedro Mezquital provienen del río Naranjo, sin embargo, para ello sería deseable contar con más información y mayores zonas de muestreo que hagan comprobable ésta hipótesis.

Se notó que en la ubicación de la muestra 4, hay un importante arrastre de sedimento en suspensión ya que la velocidad y pendiente en ese punto son elevadas.

También se observa que en temporada de estiaje los aportadores principales del sedimento en suspensión son las poblaciones aledañas al río San Pedro.

Cabe mencionar que los sedimentos de fondo de mayor tamaño registrados ocurrieron durante septiembre del 2015, y que no fueron arrastrados más allá de la ubicación de la muestra 6, la cual tiene en su sección cambios bruscos de dirección del flujo, y variaciones grandes de su pendiente transversal, por lo que se concluye que el sedimento de fondo es retenido en este lugar.

C. Figuras de las planicies de inundación

Las secciones 7, 8 y 9 al encontrarse en la parte más baja del río y tener una pendiente muy ligera, su sección transversal acotada no es suficiente para que pasen gastos muy grandes, por lo que se tomaron como referencias los últimos dos puntos de cada sección y se extendió la sección utilizando la misma pendiente que la obtenida por esos dos puntos, si la pendiente que se obtiene de ellos va otorgando alturas menores con respecto al nivel del mar, entonces se utilizaron el par de puntos más cercanos a los extremos cuya pendiente propiciara lo contrario.

Las figuras correspondientes a cada planicie de inundación de cada sección se muestran a continuación:



Ilustración 28.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 1.

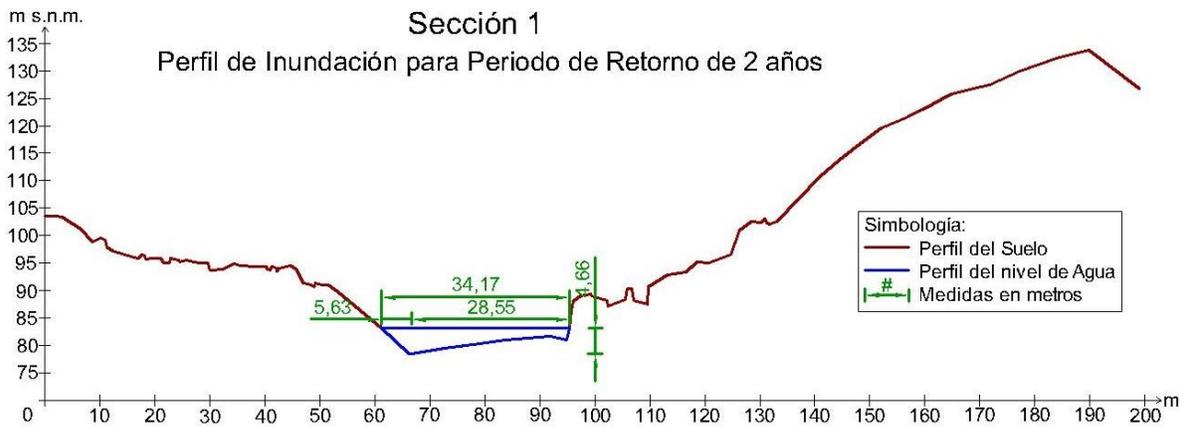


Ilustración 29.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 1.

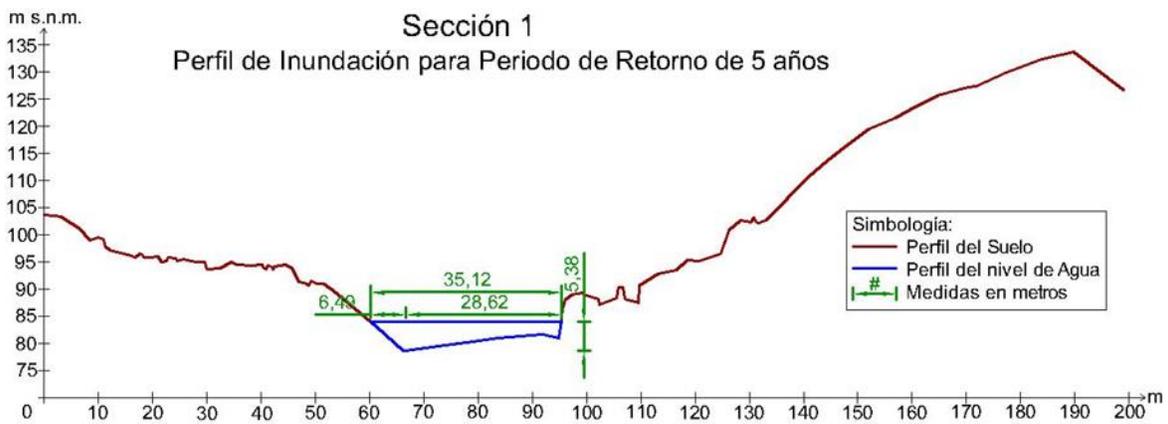


Ilustración 30.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 1.

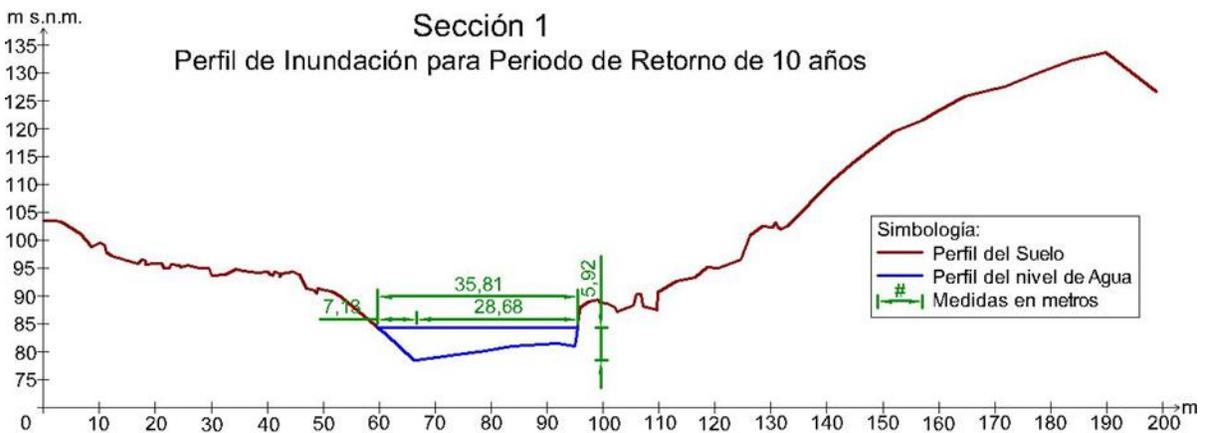


Ilustración 31.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 1.

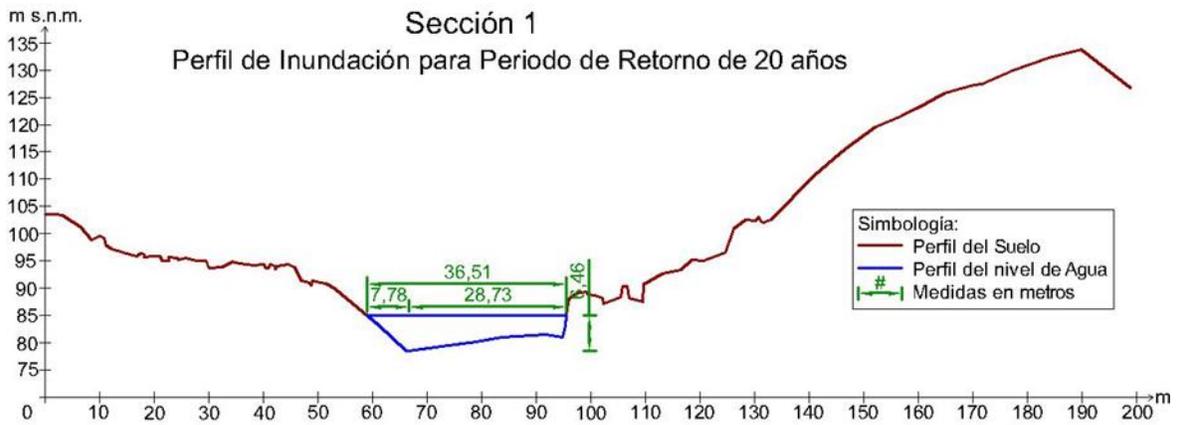


Ilustración 32.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 1.

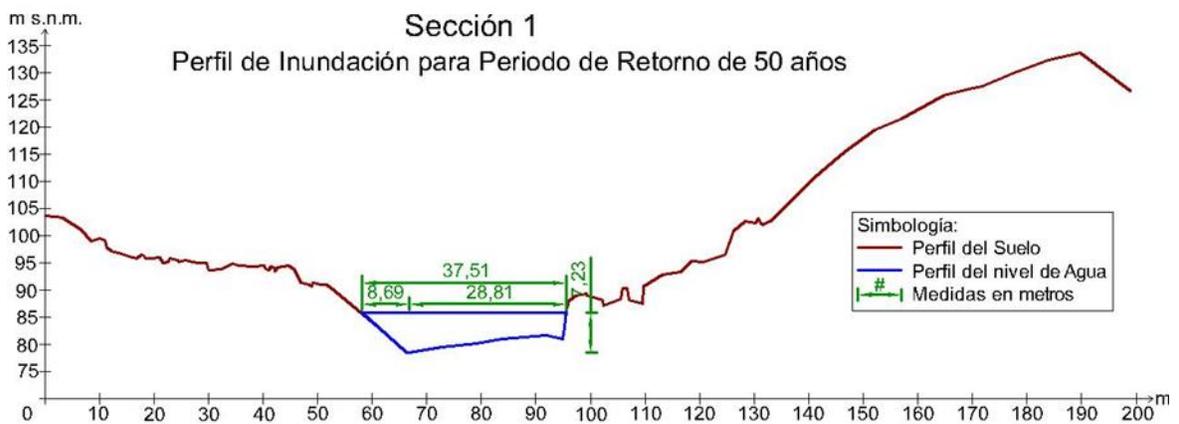


Ilustración 33.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 1.

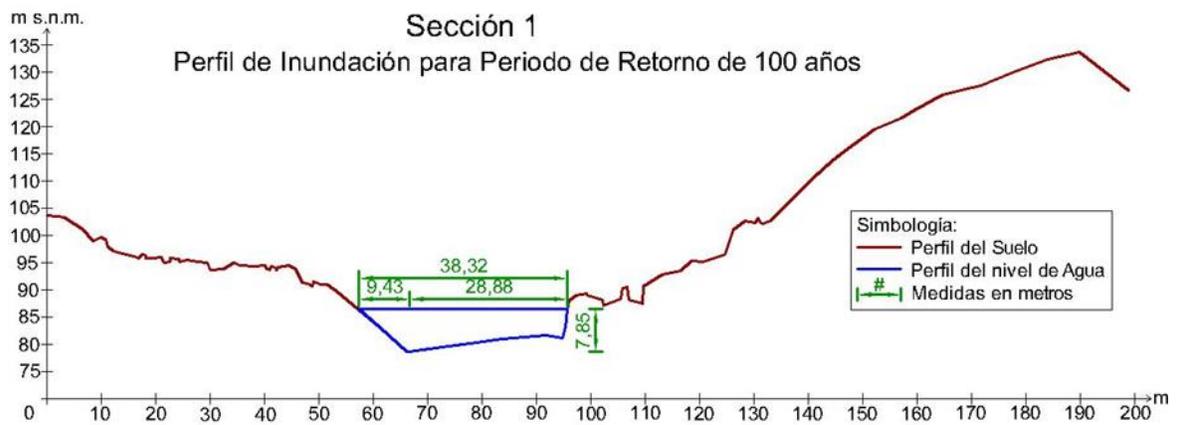


Ilustración 34.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 1.

Tabla 23.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 1.

Sección 1					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	3.78	24.13	27.91	78.556	81.526
Tr2	5.63	28.55	34.17	78.556	83.216
Tr5	6.49	28.62	35.12	78.556	83.936
Tr10	7.12	28.68	35.81	78.556	84.476
Tr20	7.78	28.73	36.51	78.556	85.016
Tr50	8.69	28.81	37.51	78.556	85.786
Tr100	9.43	28.88	38.32	78.556	86.406

De la sección 1 se observa que los márgenes del río son de medidas menores a todas las demás secciones, la velocidad en esta sección hace casi nula la posibilidad de asentamiento de partículas pequeñas y es por ello que la zona inundada tiene pendientes muy pronunciadas, ya que al ir con tanta fuerza el agua no permite la formación de llanuras y con la ayuda de la pendiente del río en esta zona, permite que pasen gastos muy grandes sin afectar mucho a la sección transversal, a pesar de que el nivel de la superficie del agua aumenta en mayor medida en esta sección con respecto a todas las demás, las pendientes tan pronunciadas que presenta hacen casi imposible el daño directo por inundaciones del río a cualquier población que se encuentre cercana.

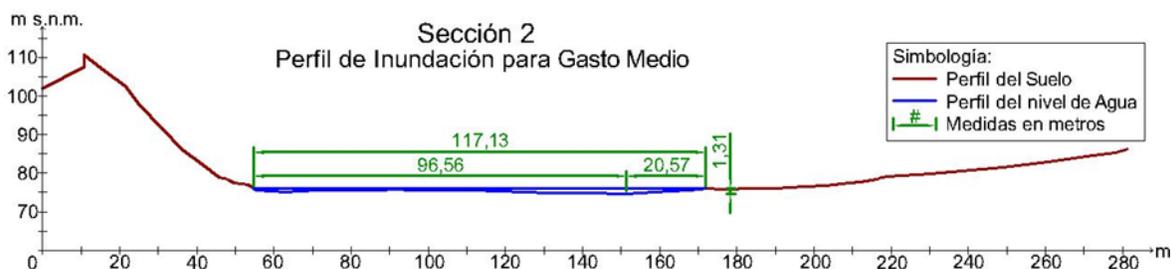


Ilustración 35.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 2.



Ilustración 36.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 2.



Ilustración 37.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 2.

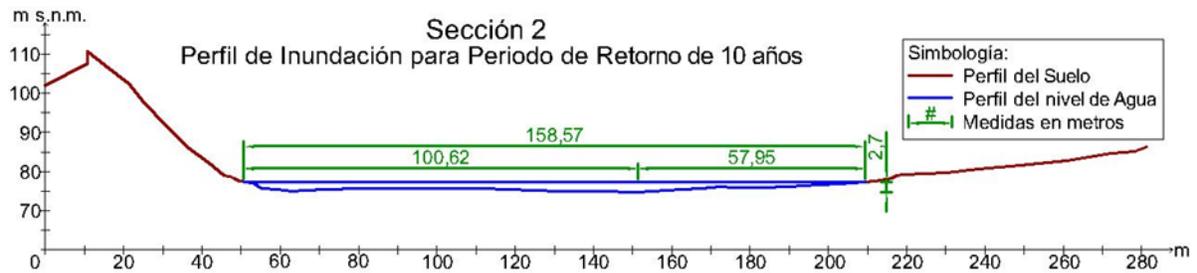


Ilustración 38.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 2.



Ilustración 39.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 2.

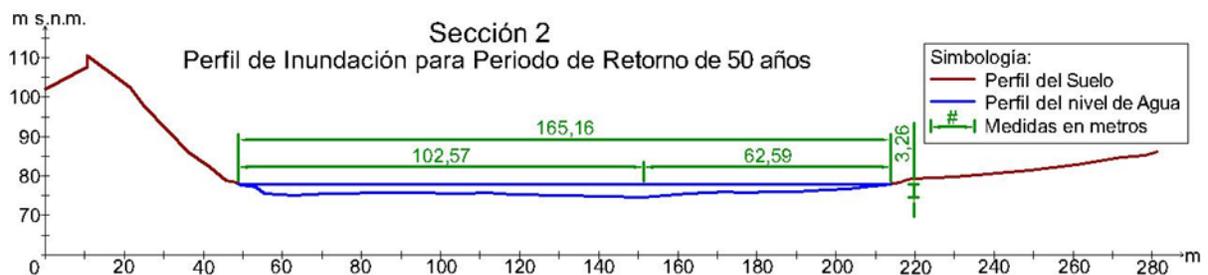


Ilustración 40.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 2.

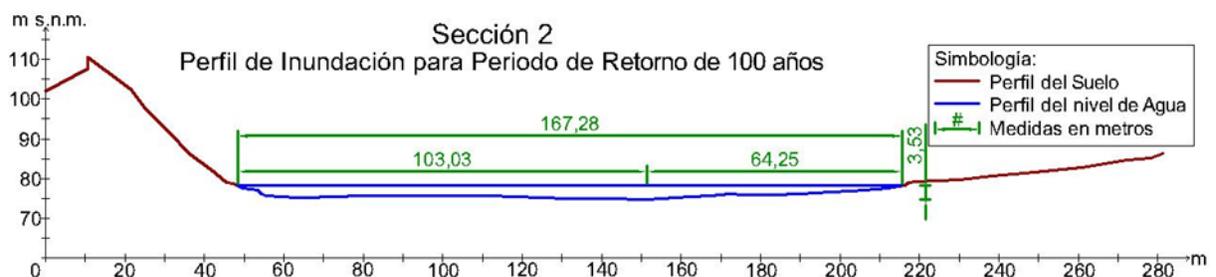


Ilustración 41.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 2.

Tabla 24.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 2.

Sección 2					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	96.56	20.57	117.13	74.71	76.02
Tr2	97.71	51.8	149.51	74.71	76.83
Tr5	98.59	55.35	153.94	74.71	77.16
Tr10	100.62	57.95	158.57	74.71	77.41
Tr20	102	60.46	162.46	74.71	77.65
Tr50	102.57	62.59	165.16	74.71	77.97
Tr100	103.03	64.25	167.28	74.71	78.24

La sección 2 es la siguiente en el sentido del flujo del río San Pedro Mezquital, su ancho es mayor y su elevación es menor, el margen izquierdo tiene una pendiente más pronunciada que el margen derecho por lo que en caso de inundación, el agua tendería a desbordarse por el lado derecho. En caso de asentarse una población en uno de los márgenes, es preferible se asiente en el margen izquierdo.



Ilustración 42.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 3.

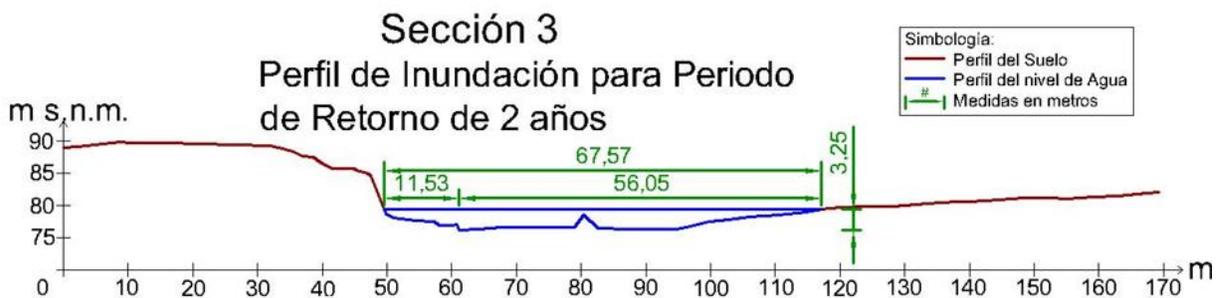


Ilustración 43.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 3.



Ilustración 44.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 3.

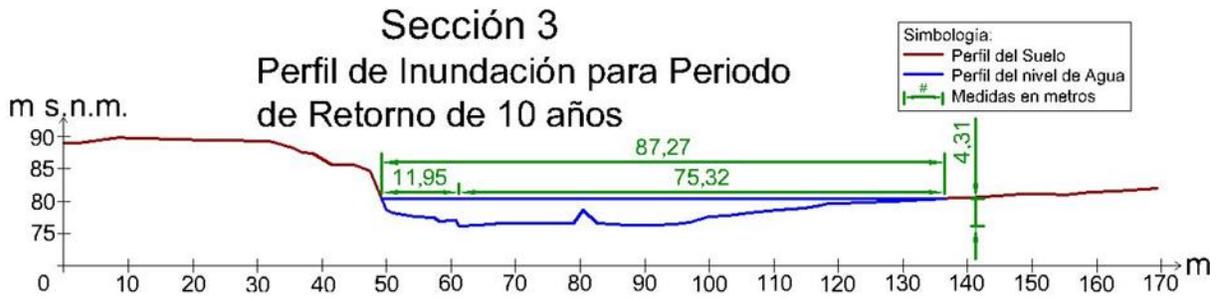


Ilustración 45.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 3.



Ilustración 46.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 3.



Ilustración 47.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 3.



Ilustración 48.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 3.

Tabla 25.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 3.

Sección 3					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	7.07	38.88	45.95	76.11	77.71
Tr2	11.53	56.05	67.57	76.11	79.36
Tr5	11.79	68.85	80.64	76.11	80.01
Tr10	11.95	75.32	87.27	76.11	80.42
Tr20	12.11	83.53	95.64	76.11	80.83
Tr50	12.35	99.38	111.73	76.11	81.42
Tr100	12.5	105.37	117.87	76.11	81.81

La sección 3, al igual que la sección 2 tiene una pendiente más pronunciada en el margen izquierdo y una menos pronunciada en el margen derecho. Sin embargo la cercanía de la sección a la población más cercana la hace de mayor importancia, ya que el margen derecho al inundarse con un gasto correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, hace que la superficie del agua quede a menos de 70 metros de la población (sin nombre registrado). Con una pendiente transversal al río similar a la observada en la ilustración 48, un gasto mayor al correspondiente al periodo de retorno de 100 años, provocaría fácilmente una inundación hacia el lado derecho.



Ilustración 49.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 4.



Ilustración 50.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 4.



Ilustración 51.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 4.



Ilustración 52.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 4.



Ilustración 53.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 4.



Ilustración 54.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 4.



Ilustración 55.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 4.

Tabla 26.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 4.

Sección 4					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	37.97	14.08	52.04	52.51	53.91
Tr2	46.24	18.42	64.66	52.51	55.59
Tr5	48.18	19.99	68.17	52.51	56.2
Tr10	49.3	20.05	69.35	52.51	56.63
Tr20	50.25	20.11	70.36	52.51	57.07
Tr50	51.58	20.19	71.78	52.51	57.69
Tr100	52.67	20.26	72.93	52.51	58.19

Para la sección 4, los márgenes son un poco más simétricos, ambos con una pendiente pronunciada y no es tan desproporcional la crecienta de un lado comparada con la del otro, sin embargo, el agua tiende a irse un poco más hacia el margen izquierdo. El agua sube casi 6 metros con respecto al fondo del río al tener un gasto de 100 años de periodo de retorno. Y ya que no se encuentra cercana ninguna población, no presenta mayor peligro la crecienta del río.



Ilustración 56.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 5.



Ilustración 57.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 5.

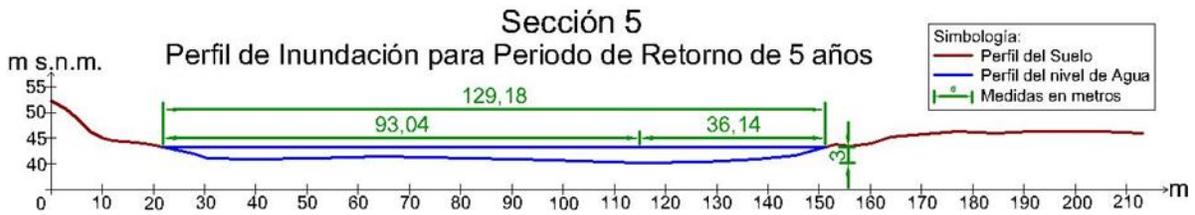


Ilustración 58.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 5.

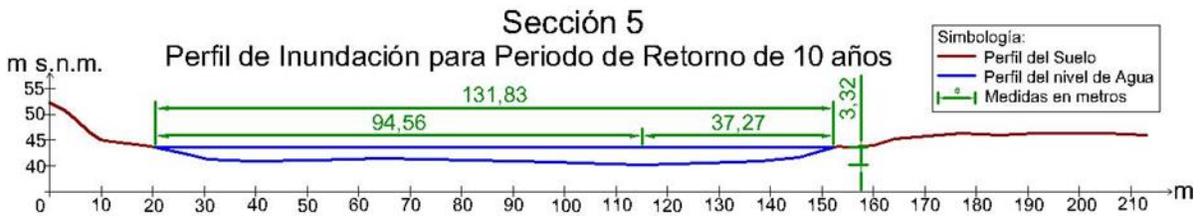


Ilustración 59.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 5.

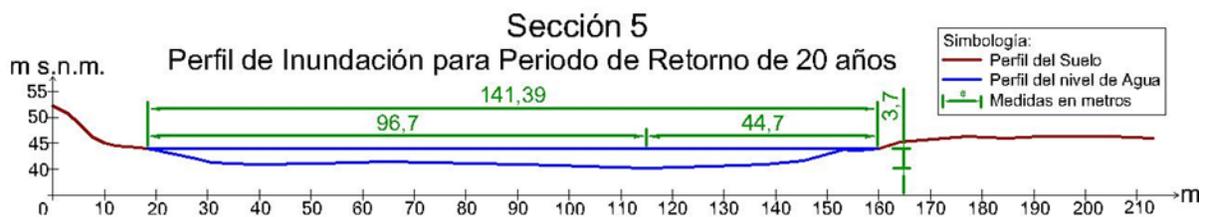


Ilustración 60.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 5.

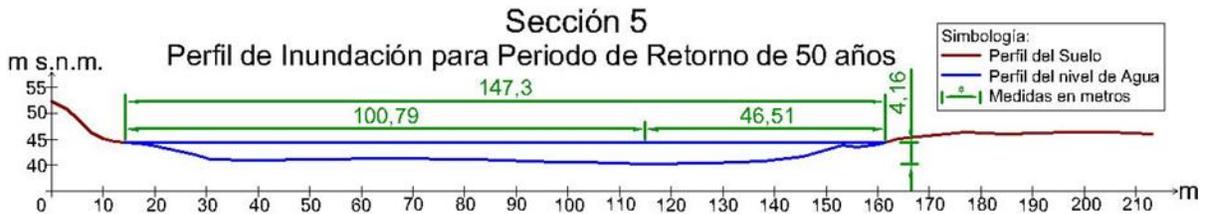


Ilustración 61.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 5.

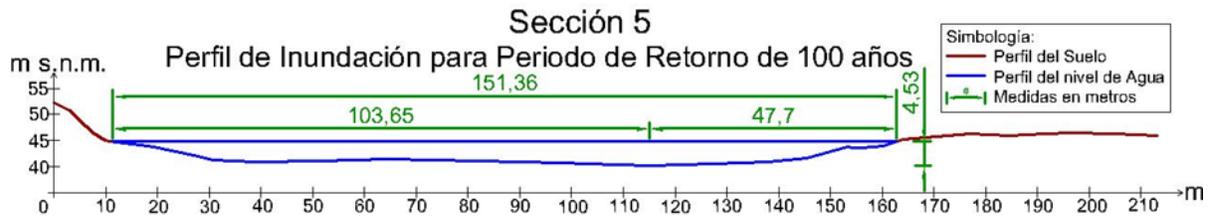


Ilustración 62.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 5.

Tabla 27.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 5.

Sección 5					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	85.92	30.51	116.43	40.25	41.64
Tr2	90.96	34.58	125.54	40.25	42.8
Tr5	93.04	36.14	129.18	40.25	43.25
Tr10	94.56	37.27	131.83	40.25	43.57
Tr20	96.7	44.7	141.39	40.25	43.95
Tr50	100.79	46.51	147.3	40.25	44.41
Tr100	103.65	47.7	151.36	40.25	44.78

La sección 5 tiene pendientes menos pronunciadas que la sección 4 y con ello provocando un perfil de inundación más extenso, llegando hasta un ancho total de 151 metros, y con sólo una diferencia de alturas del fondo del río hasta la superficie correspondiente a un gasto para un periodo de retorno de 100 años de 4.5 metros. El margen izquierdo se inunda con mayor facilidad al tener una pendiente menos pronunciada que el margen derecho, y esto es de importancia ya que la población (sin nombrar) que se asentó cercana al río está ubicada en el margen izquierdo del río.



Ilustración 63.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 6.

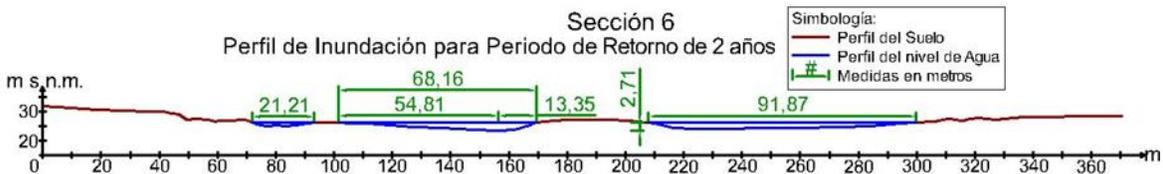


Ilustración 64.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 6.

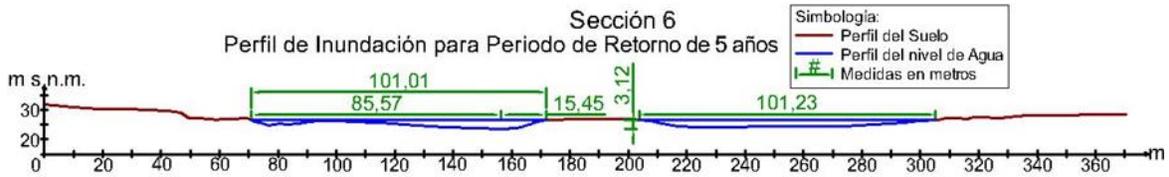


Ilustración 65.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 6.

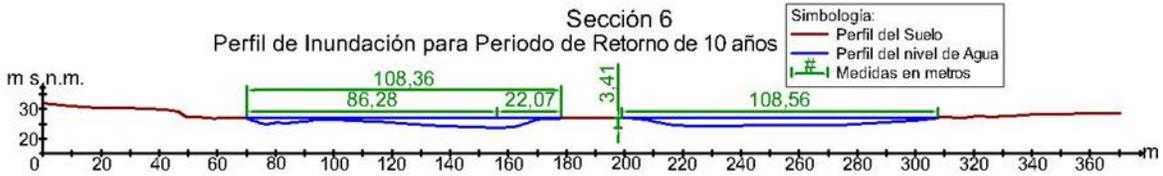


Ilustración 66.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 6.

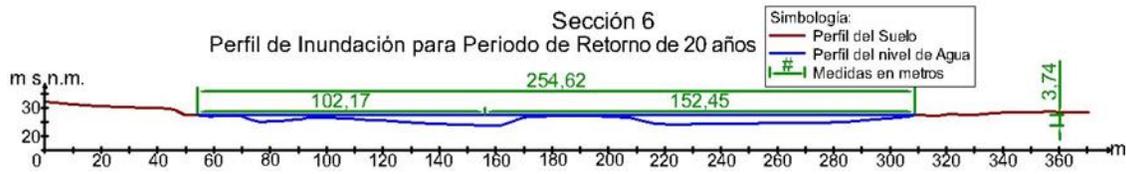


Ilustración 67.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 6.

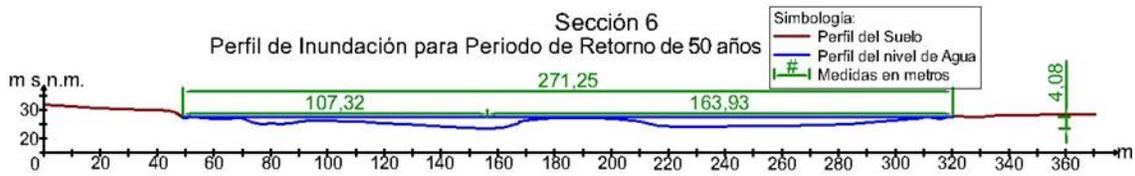


Ilustración 68.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 6.

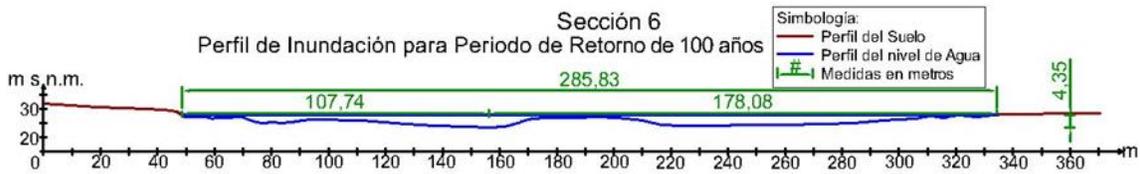


Ilustración 69.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 6.

Tabla 28.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 6.

Sección 6					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	34.38	80.98	115.36	23.56	25.07
Tr2	76.02	105.22	181.24	23.56	26.27
Tr5	85.57	116.67	202.24	23.56	26.68
Tr10	86.28	130.64	216.92	23.56	26.97
Tr20	102.17	152.45	254.62	23.56	27.3
Tr50	107.32	163.93	271.25	23.56	27.64
Tr100	107.74	178.08	285.83	23.56	27.91

Para la sección 6 observamos un crecimiento aún mayor que el de las anteriores secciones en cuanto a su ancho, el desnivel que hay entre el fondo del río y la superficie del agua para el gasto máximo estudiado (Tr100) es de 4.35 metros. Aquí se inunda casi a su totalidad la superficie acotada y la pendiente es a veces creciente o decreciente por lo que se generan hasta tres diferentes zonas inundadas y provocando que se ensanche incluso más el río. Es importante notar su cercanía a la población San Lorenzo por el margen izquierdo a pesar de que no se llegue a inundar a la población con ninguno de los gastos estudiados.



Ilustración 70.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 7.



Ilustración 71.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 7.



Ilustración 72.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 7.



Ilustración 73.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 7.



Ilustración 74.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 7.



Ilustración 75.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 7.



Ilustración 76.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 7.

Tabla 29.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 7.

Sección 7					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	25.53	59.91	85.44	8.06	9.33
Tr2	27.9	73.85	101.75	8.06	10.98
Tr5	28.59	75.07	103.66	8.06	11.57
Tr10	29.09	76.07	105.16	8.06	12
Tr20	29.69	77.1	106.78	8.06	12.45
Tr50	31.26	162.23	193.49	8.06	13.6
Tr100	41.94	181.96	256.44	8.06	14.3

La sección 7 es la primera en necesitar una extensión aproximada de la superficie del terreno para el margen derecho, ya que al pasar del gasto para un periodo de retorno de 50 años, la superficie acotada no es suficiente para encausar el gasto de estudio. Se extiende el terreno hasta lograr comprender el gasto de un periodo de retorno de 100 años. El margen derecho presenta un crecimiento mayor que el izquierdo. La población de Vado de San Pedro ubicada aguas debajo de la sección está peligrosamente cerca del margen izquierdo del río y con un gasto apenas mayor del gasto máximo estudiado (Tr100) puede presentar inundaciones.

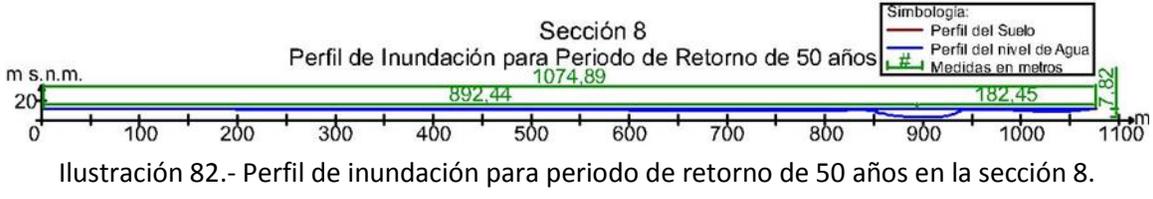
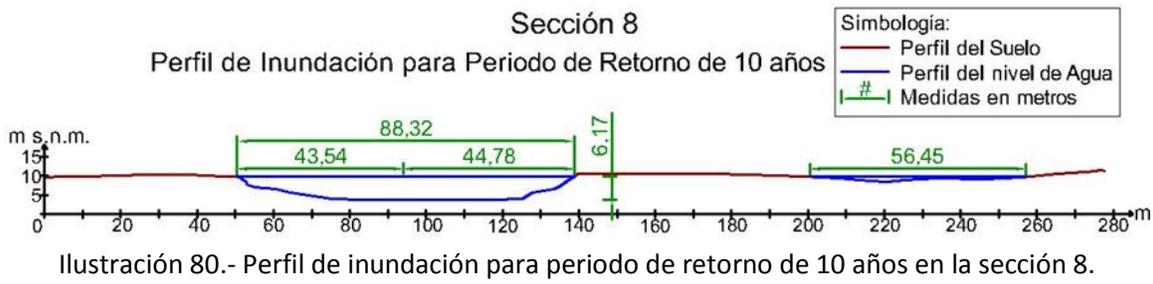
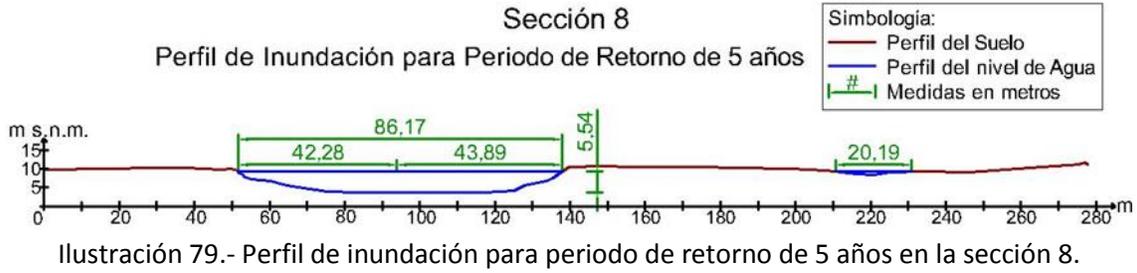
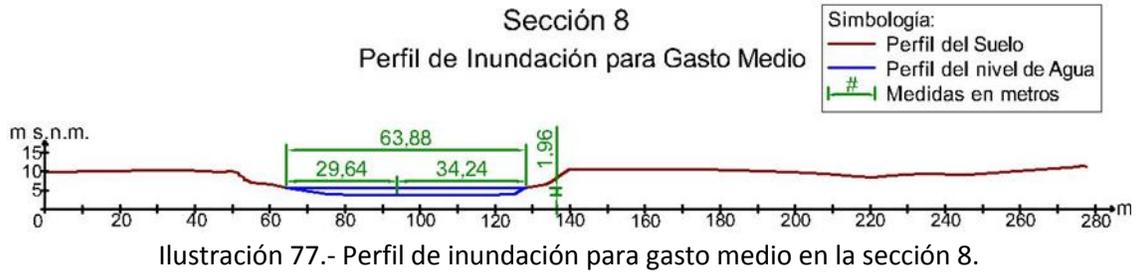




Ilustración 83.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 8.

Tabla 30.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 8.

Sección 8					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	29.64	34.24	63.88	3.63	5.59
Tr2	40.94	42.54	83.48	3.63	8.24
Tr5	42.28	43.89	86.17	3.63	9.17
Tr10	43.54	44.78	88.32	3.63	9.8
Tr20	763.2	181.88	945.08	3.63	11.17
Tr50	892.44	182.45	1074.89	3.63	11.45
Tr100	988.91	188.96	1177.86	3.63	11.66

Para la sección 8 es necesario extender el perfil acotado por ambos márgenes, en una mayor medida el margen izquierdo que el derecho. Es la sección con el mayor ancho de todas debido a que las pendientes de los extremos que fueron extendidas no son muy pronunciadas. No hay poblaciones cercanas que resulten afectadas en la zona de la sección, pero aguas abajo, las poblaciones de San Vicente y Tuxpan resultan afectadas por la creciente del río. Y aguas arriba por el remanso también se afecta la población de El Tamarindo. Es necesario tomar medidas precautorias con estas poblaciones y trasladarlas a zonas seguras alejadas del fondo del río. Posteriormente se resumen las distancias necesarias para evitar inundaciones en cada una de las poblaciones afectadas.



Ilustración 84.- Perfil de inundación para gasto medio en la sección 9.



Ilustración 85.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 2 años en la sección 9.

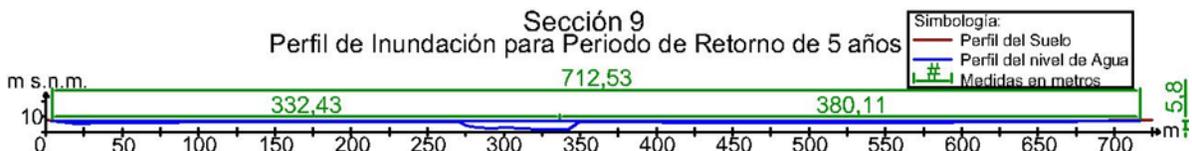


Ilustración 86.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 5 años en la sección 9.

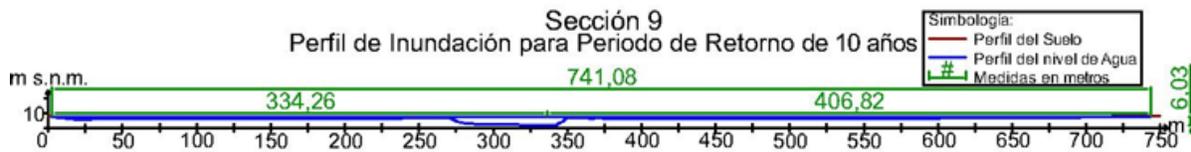


Ilustración 87.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 10 años en la sección 9.



Ilustración 88.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 20 años en la sección 9.



Ilustración 89.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 50 años en la sección 9.



Ilustración 90.- Perfil de inundación para periodo de retorno de 100 años en la sección 9.

Tabla 31.- Márgenes del río y cotas de fondo y superficie para la sección 9.

Sección 9					
	Margen Izquierdo, m	Margen Derecho, m	Ancho Total, m	MSNM	
				Fondo del Río	Superficie del Agua
Qmed	60.51	9.91	70.43	1.57	4.11
Tr2	329.88	342.98	672.86	1.57	7.04
Tr5	332.43	380.11	712.53	1.57	7.37
Tr10	334.26	406.82	741.08	1.57	7.6
Tr20	336.12	433.95	770.07	1.57	7.84
Tr50	338.69	471.48	810.18	1.57	8.17
Tr100	340.75	501.51	842.26	1.57	8.43

La sección 9 no es la mayor en cuanto a ancho de río se refiere debido a las pendientes en los extremos que fueron extendidas no fueron tan pronunciadas como las de la sección 8, sin embargo su extensión es cercana y es muy probable que se extienda mucho más aguas abajo. El margen derecho crece más que el izquierdo, pero esto es debido a las pendientes extendidas en los extremos de la sección. Cercana a la sección no hay ninguna población asentada, por lo que no es necesario tomar medidas correctoras, pero sí precautorias en caso de desear asentarse de manera cercana al río en un futuro, para lo que sería deseable contar con una sección acotada más extensa hacia los márgenes para poder calcular de manera más precisa el área de inundación correspondiente a cada uno de los gastos que sobrepasaron los puntos acotados, y así poder

planear un asentamiento de una población sin daños posibles por inundaciones en los márgenes del río.

Con la información anterior, se obtienen las planicies de inundación aproximadas a cada gasto y se ilustran a continuación.



Ilustración 91.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 1 a sección 2.



Ilustración 92.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 2 a sección 3.



Ilustración 93.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 3 a sección 4.

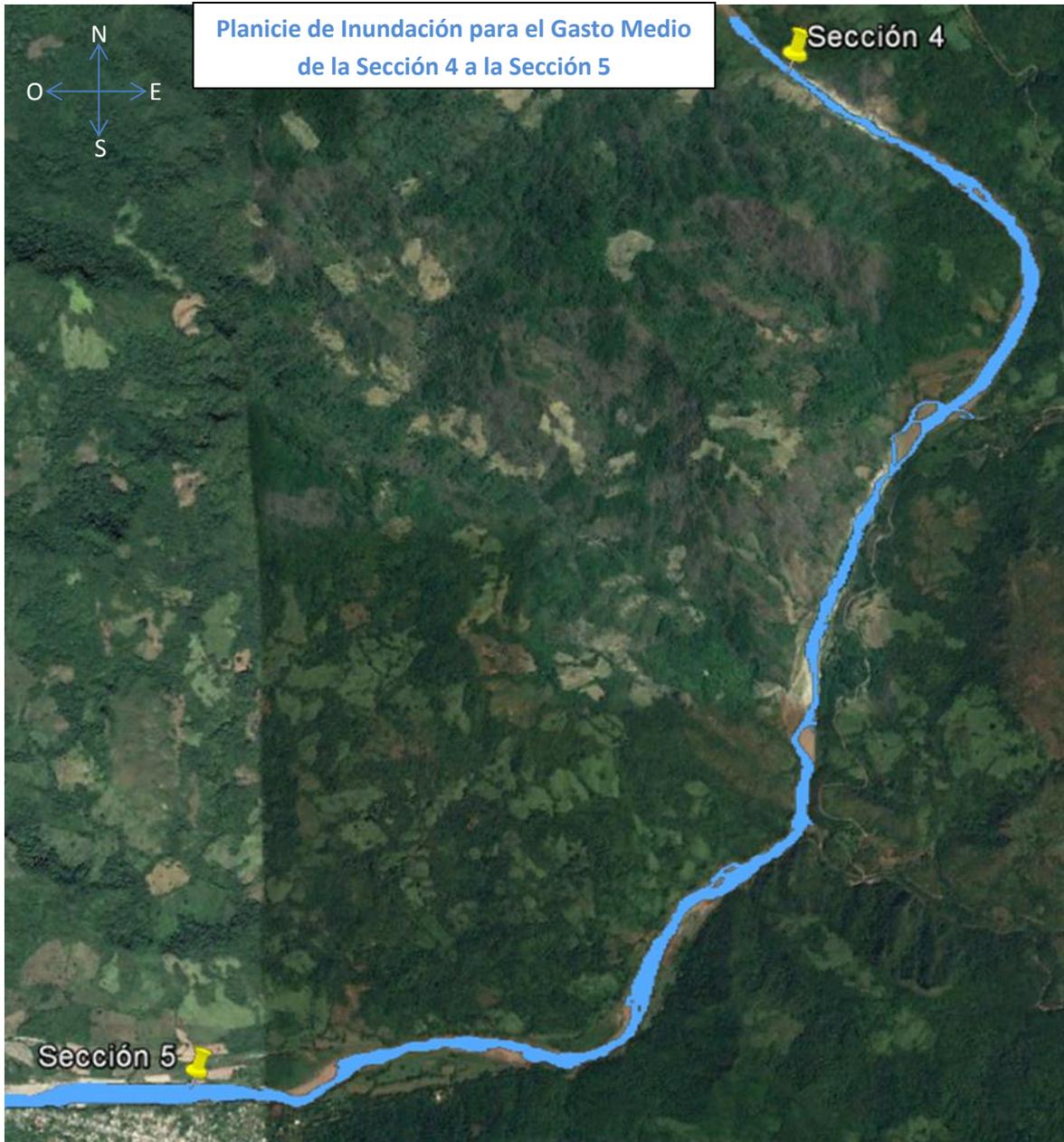


Ilustración 94.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 4 a sección 5.



Ilustración 95.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 5 a sección 6.



Ilustración 96.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 6 a sección 7.



Ilustración 97.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 7 a sección 8.



Ilustración 98.- Planicie de inundación para gasto medio, sección 8 a sección 9.

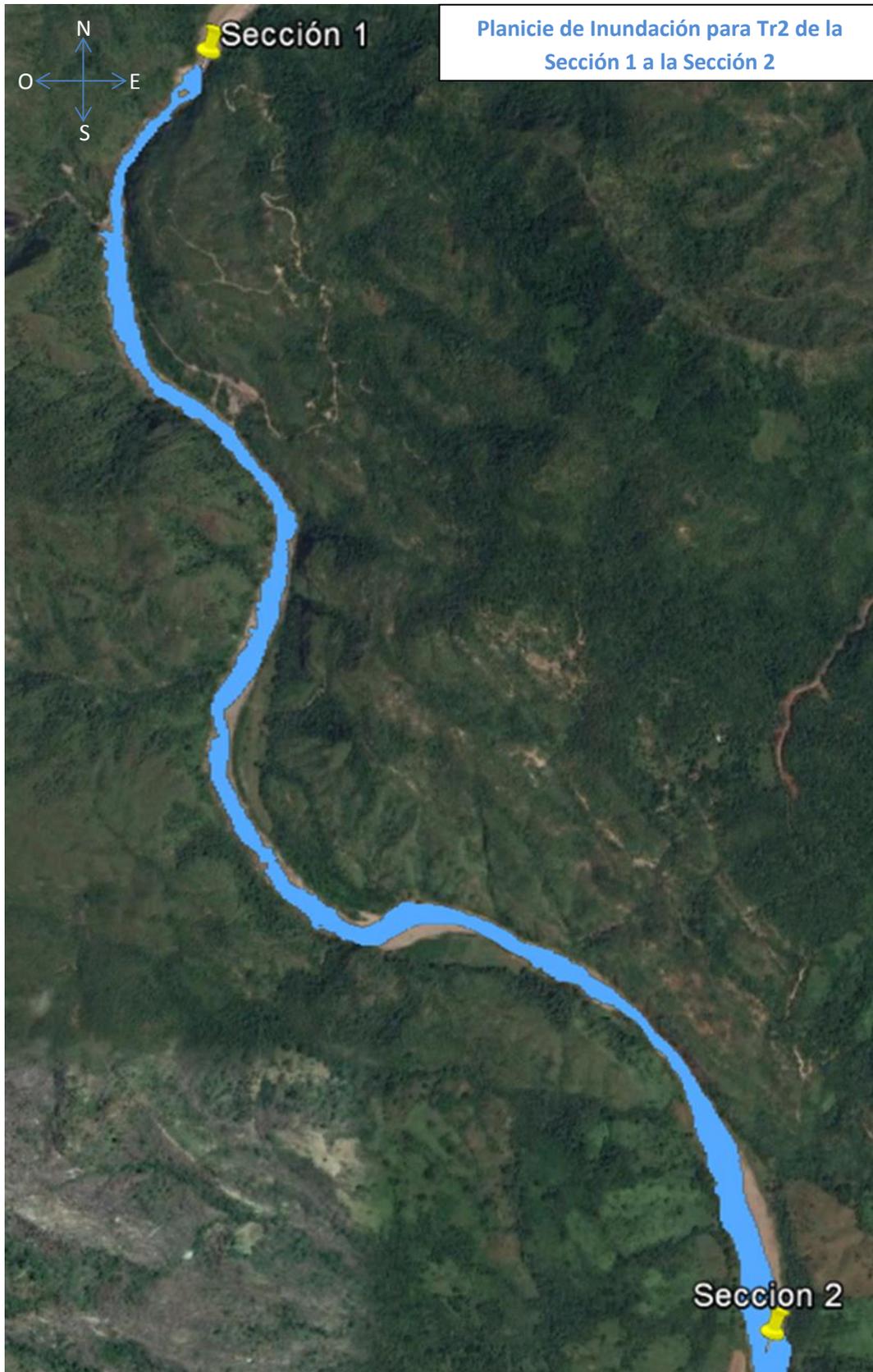


Ilustración 99.- Planicie de inundación para Tr2, sección 1 a sección 2.



Ilustración 100.- Planicie de inundación para Tr2, sección 2 a sección 3.



Ilustración 101.- Planicie de inundación para Tr2, sección 3 a sección 4.

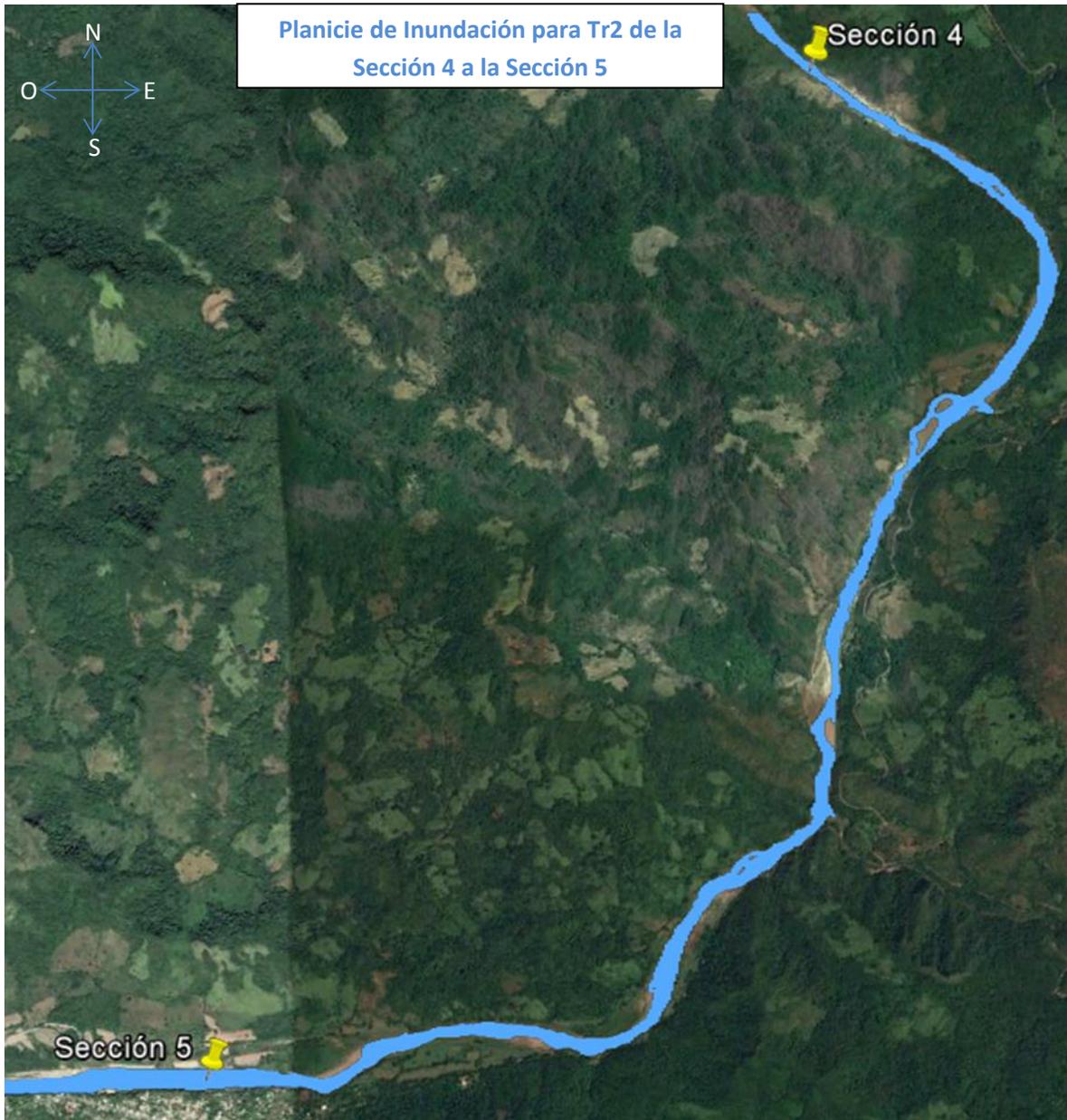


Ilustración 102.- Planicie de inundación para Tr2, sección 4 a sección 5.



Ilustración 103.- Planicie de inundación para Tr2, sección 5 a sección 6.



Ilustración 104.- Planicie de inundación para Tr2, sección 6 a sección 7.



Ilustración 105.- Planicie de inundación para Tr2, sección 7 a sección 8.



Ilustración 106.- Planicie de inundación para Tr2, sección 8 a sección 9.



Ilustración 107.- Planicie de inundación para Tr5, sección 1 a sección 2.



Ilustración 108.- Planicie de inundación para Tr5, sección 2 a sección 3.

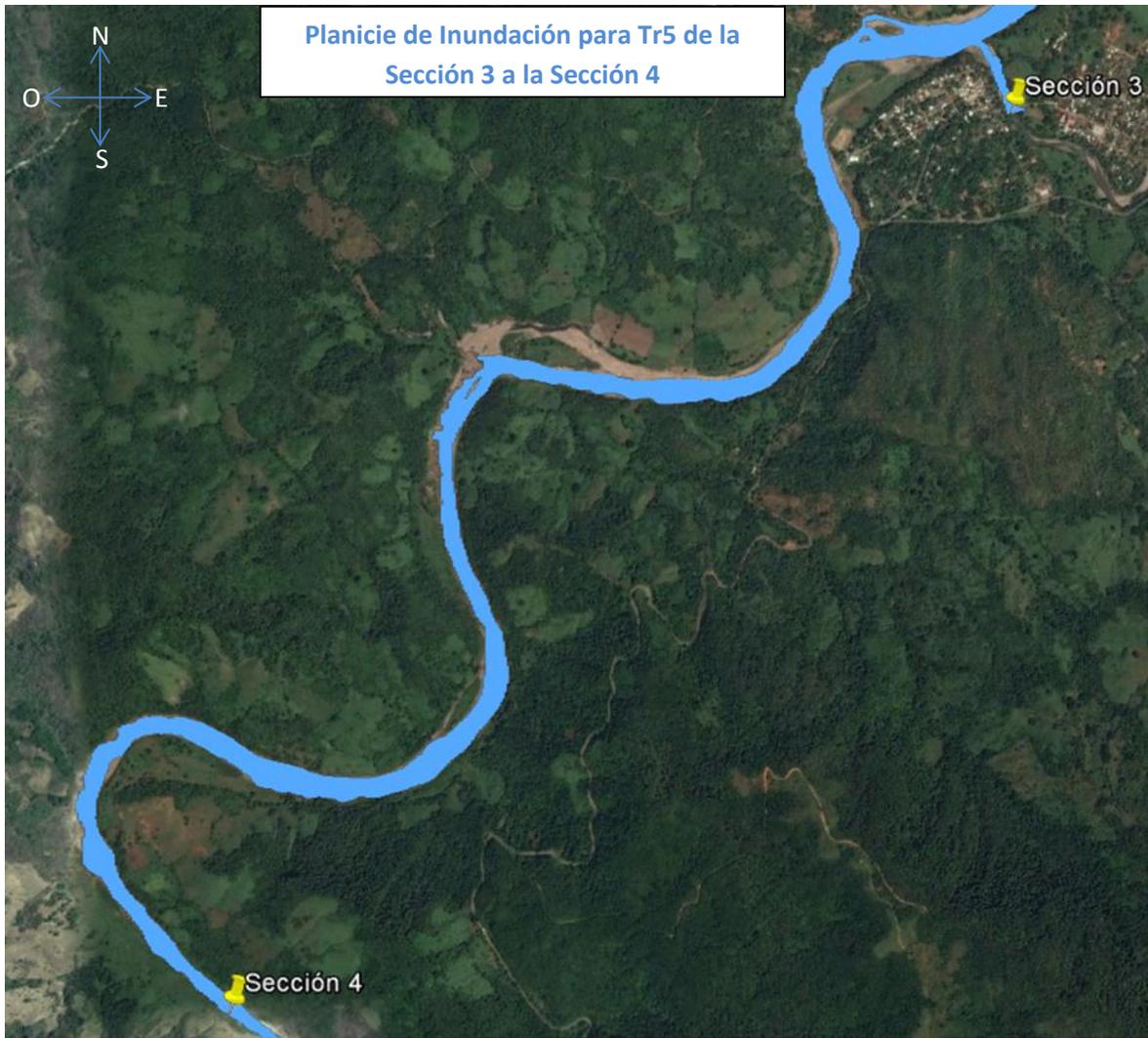


Ilustración 109.- Planicie de inundación para Tr5, sección 3 a sección 4.

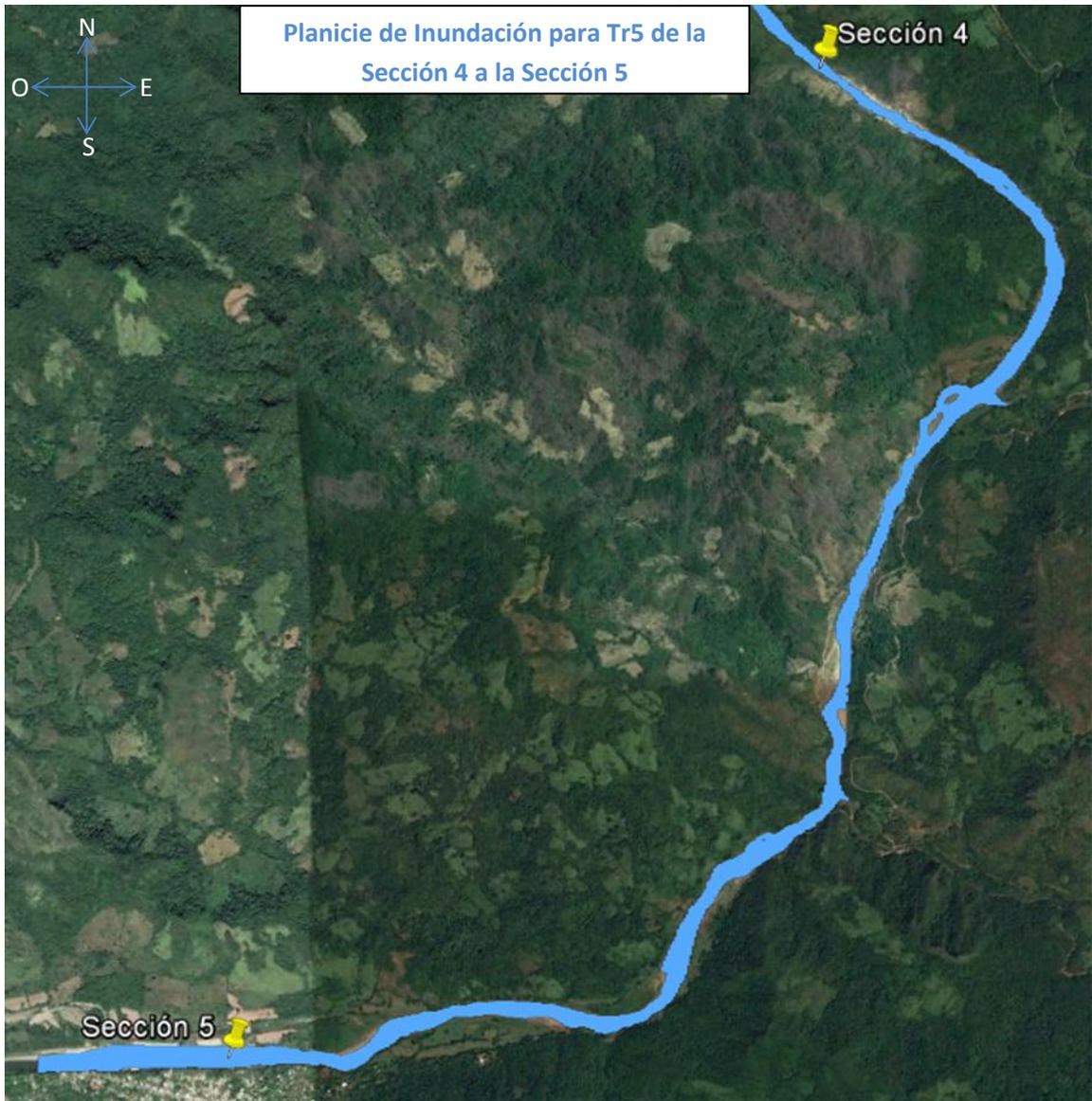


Ilustración 110.- Planicie de inundación para Tr5, sección 4 a sección 5.



Ilustración 111.- Planicie de inundación para Tr5, sección 5 a sección 6.



Ilustración 112.- Planicie de inundación para Tr5, sección 6 a sección 7.



Ilustración 113.- Planicie de inundación para Tr5, sección 7 a sección 8.



Ilustración 114.- Planicie de inundación para Tr5, sección 8 a sección 9.

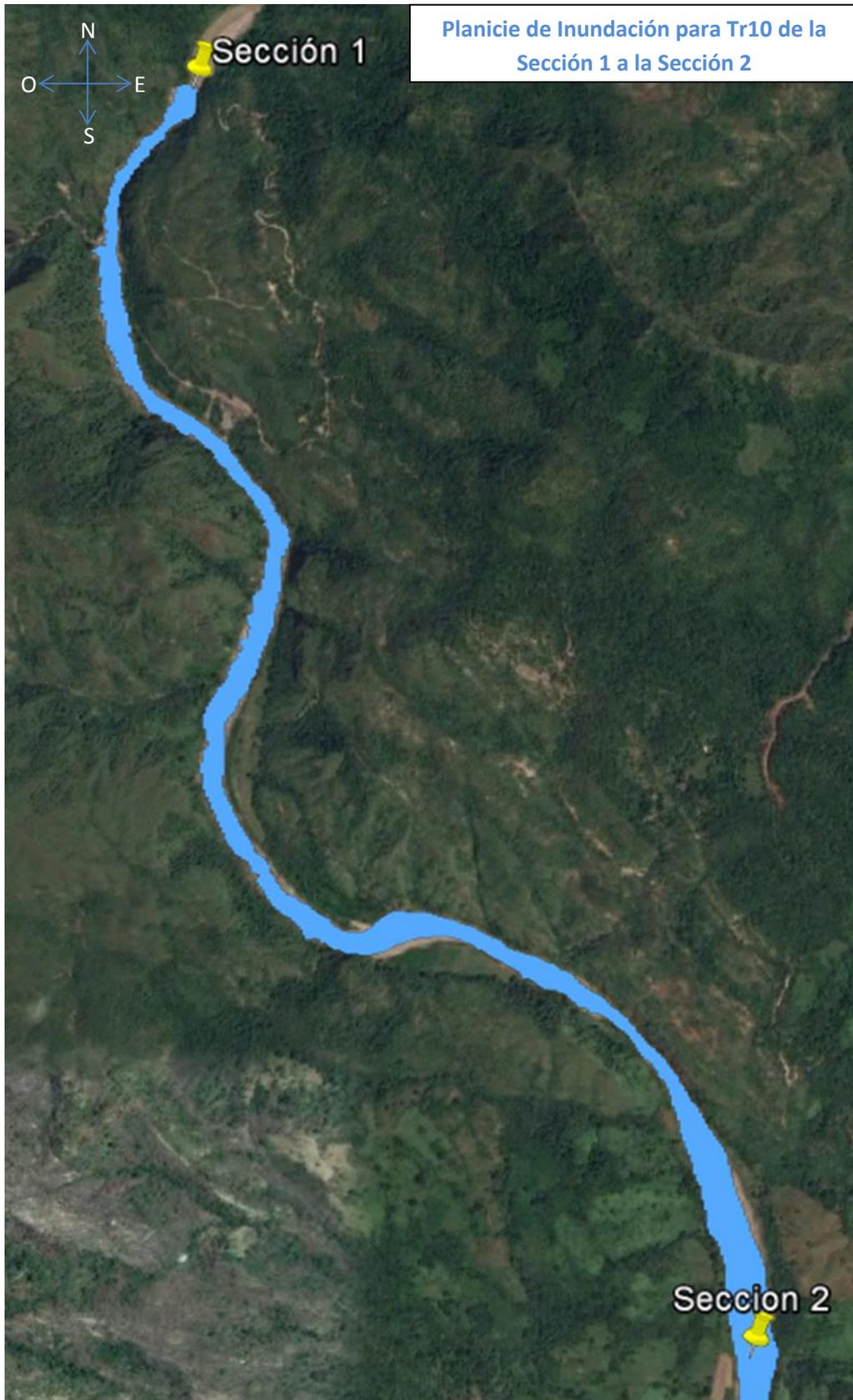


Ilustración 115.- Planicie de inundación para Tr10, sección 1 a sección 2.



Ilustración 116.- Planicie de inundación para Tr10, sección 2 a sección 3.

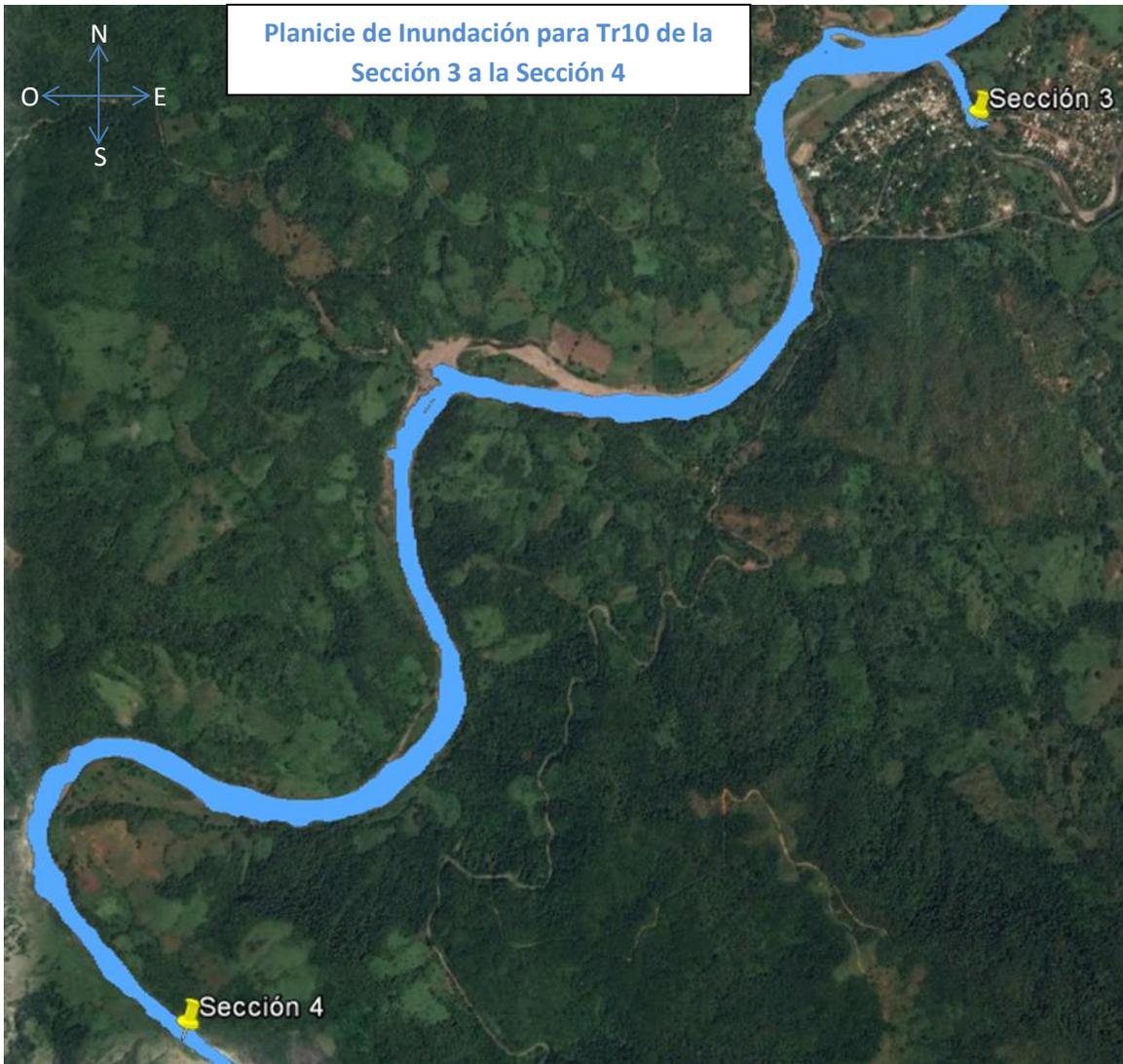


Ilustración 117.- Planicie de inundación para Tr10, sección 3 a sección 4.

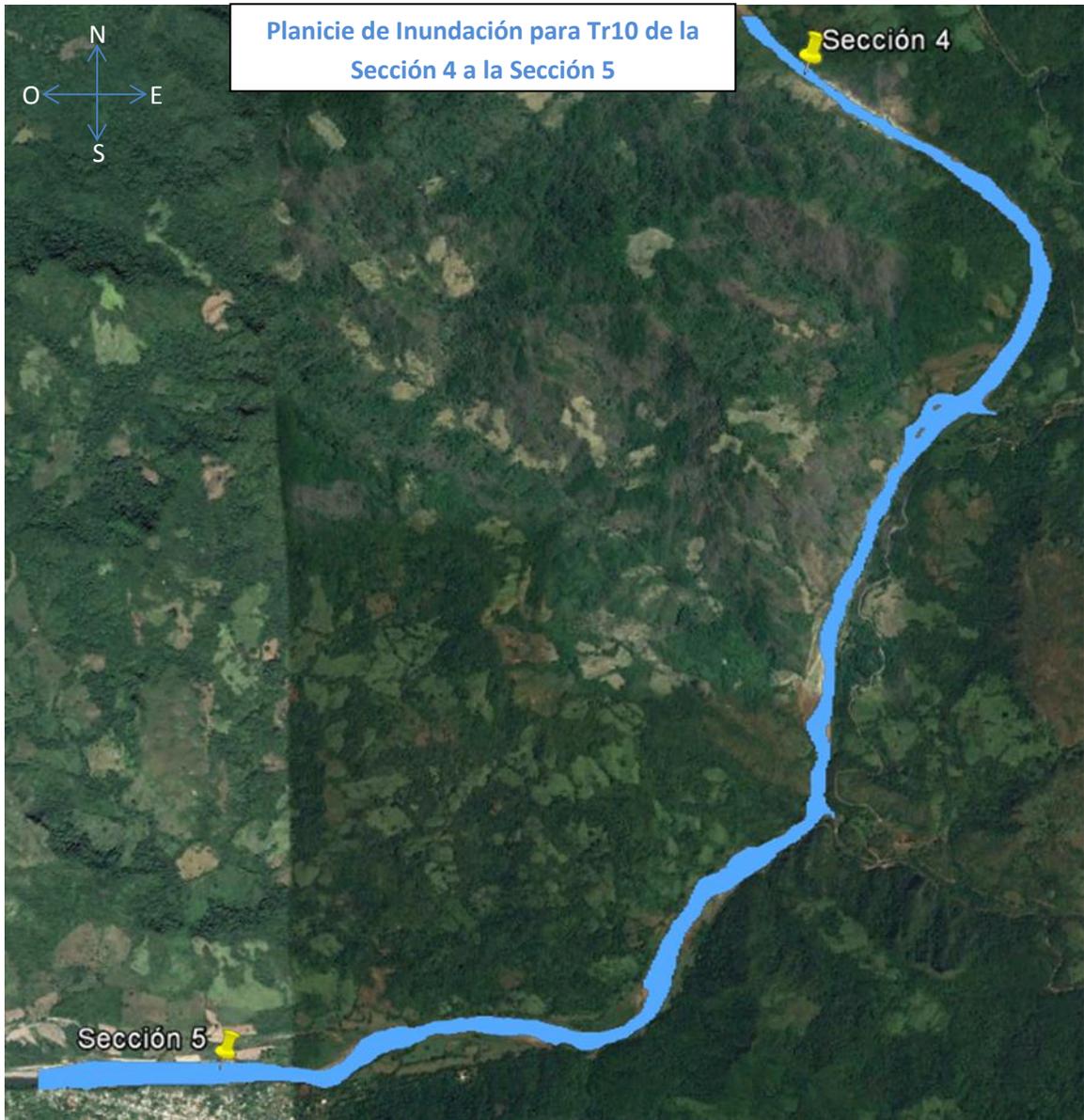


Ilustración 118.- Planicie de inundación para Tr10, sección 4 a sección 5.



Ilustración 119.- Planicie de inundación para Tr10, sección 5 a sección 6.



Ilustración 120.- Planicie de inundación para Tr10, sección 6 a sección 7.



Ilustración 121.- Planicie de inundación para Tr10, sección 7 a sección 8.



Ilustración 122.- Planicie de inundación para Tr10, sección 8 a sección 9.



Ilustración 123.- Planicie de inundación para Tr20, sección 1 a sección 2.



Ilustración 124.- Planicie de inundación para Tr20, sección 2 a sección 3.

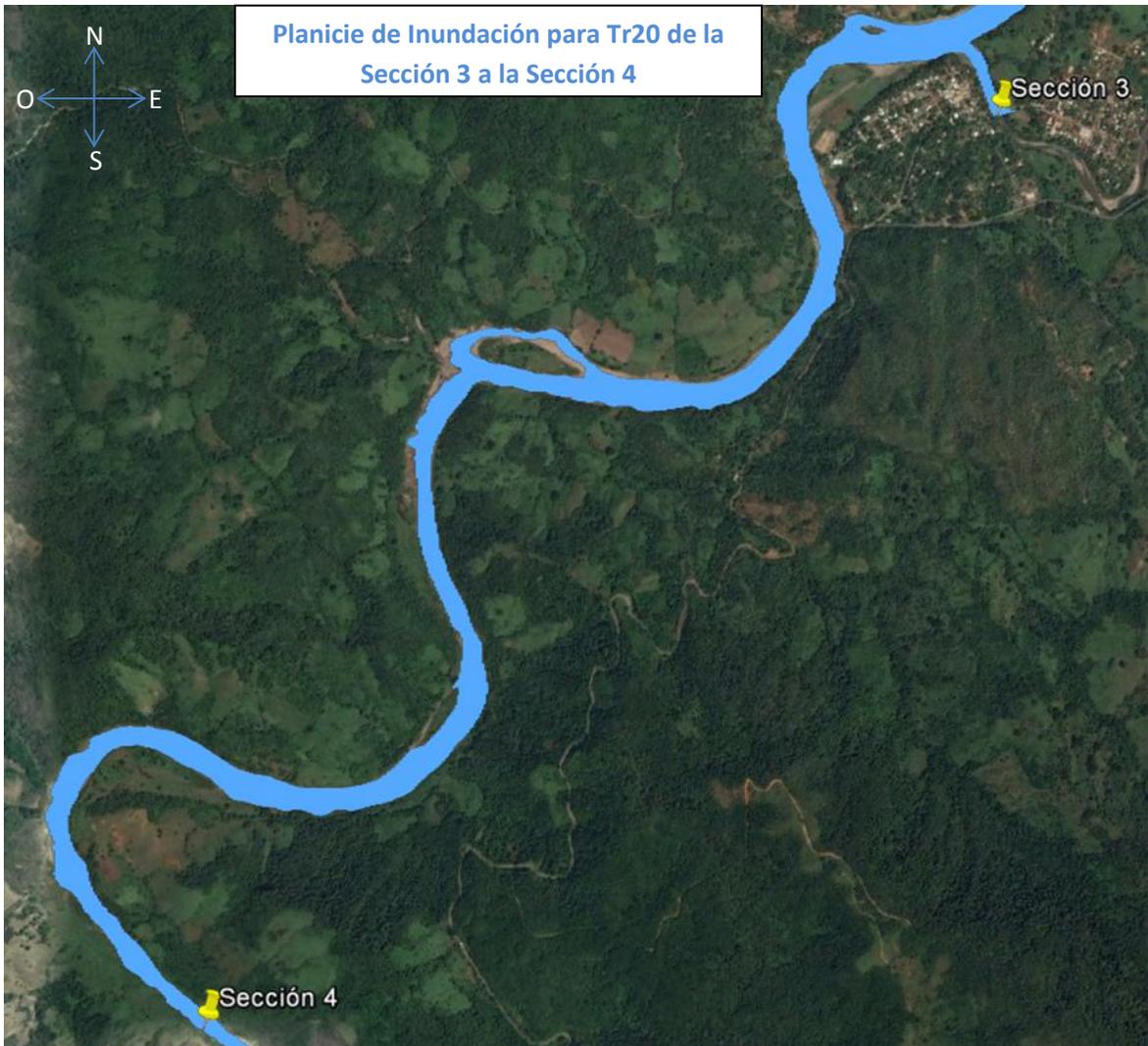


Ilustración 125.- Planicie de inundación para Tr20, sección 3 a sección 4.

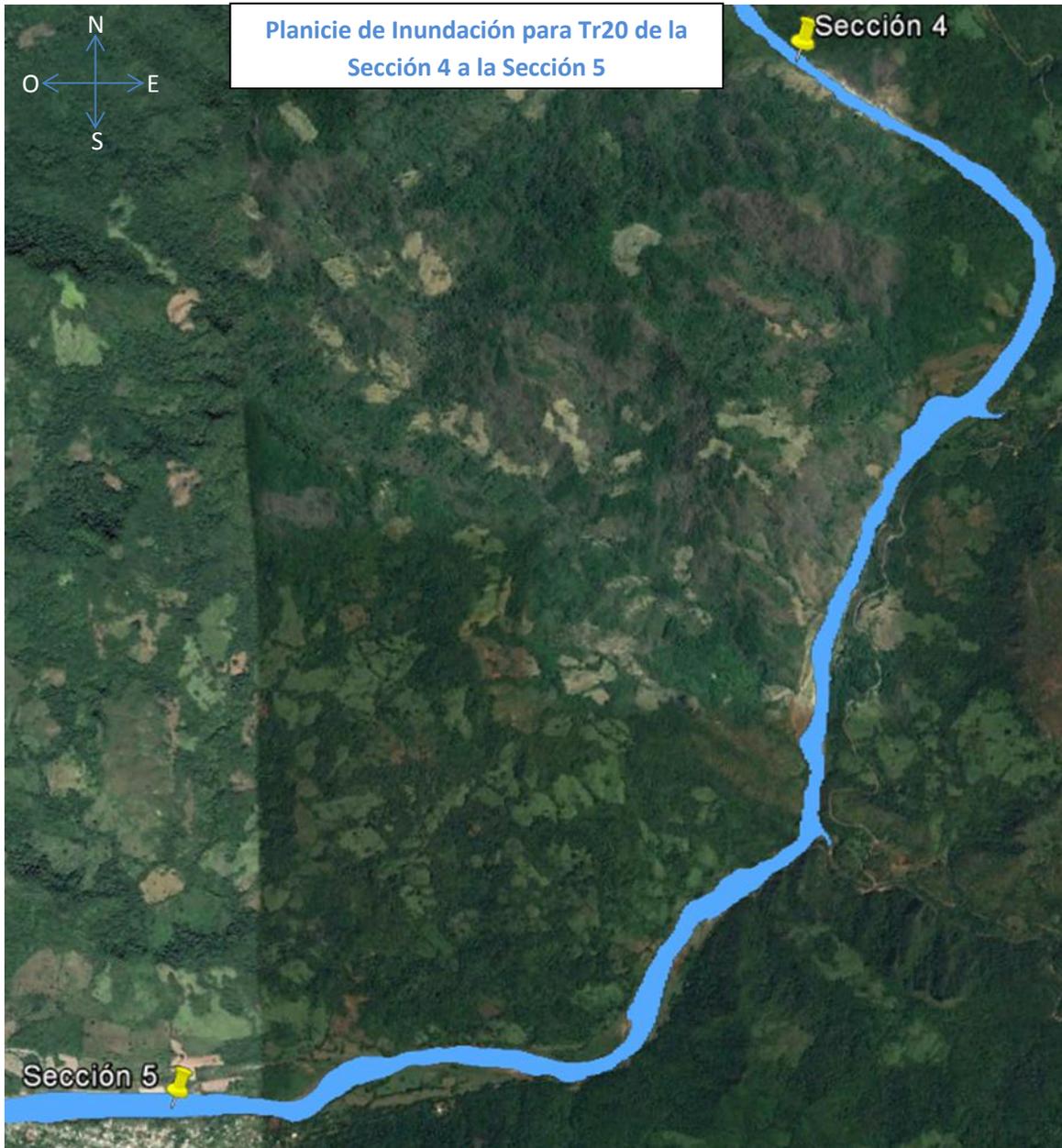


Ilustración 126.- Planicie de inundación para Tr20, sección 4 a sección 5.



Ilustración 127.- Planicie de inundación para Tr20, sección 5 a sección 6.



Ilustración 128.- Planicie de inundación para Tr20, sección 6 a sección 7.



Ilustración 129.- Planicie de inundación para Tr20, sección 7 a sección 8.



Ilustración 130.- Planicie de inundación para Tr20, sección 8 a sección 9.



Ilustración 131.- Planicie de inundación para Tr50, sección 1 a sección 2.



Ilustración 132.- Planicie de inundación para Tr50, sección 2 a sección 3.

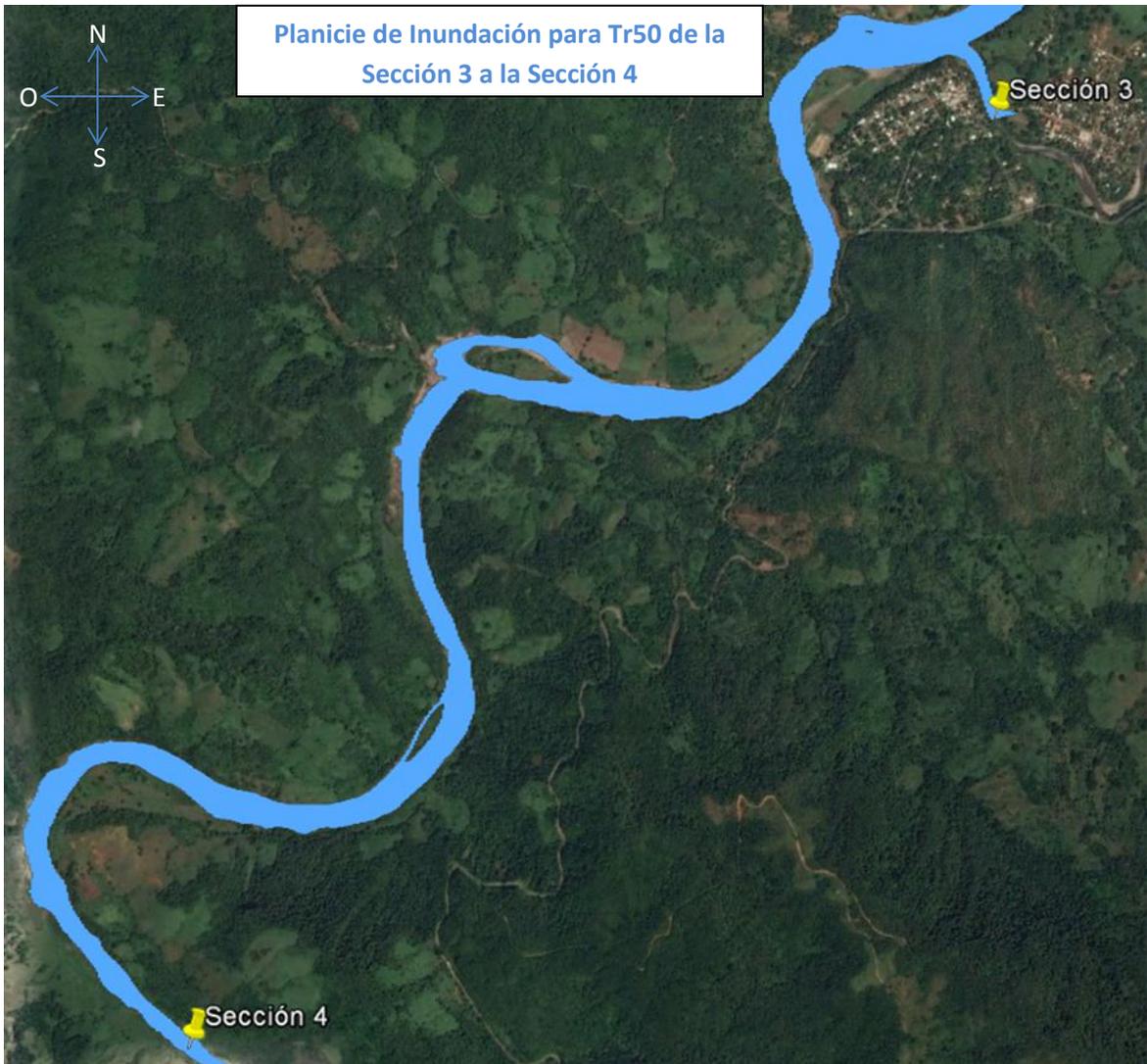


Ilustración 133.- Planicie de inundación para Tr50, sección 3 a sección 4.

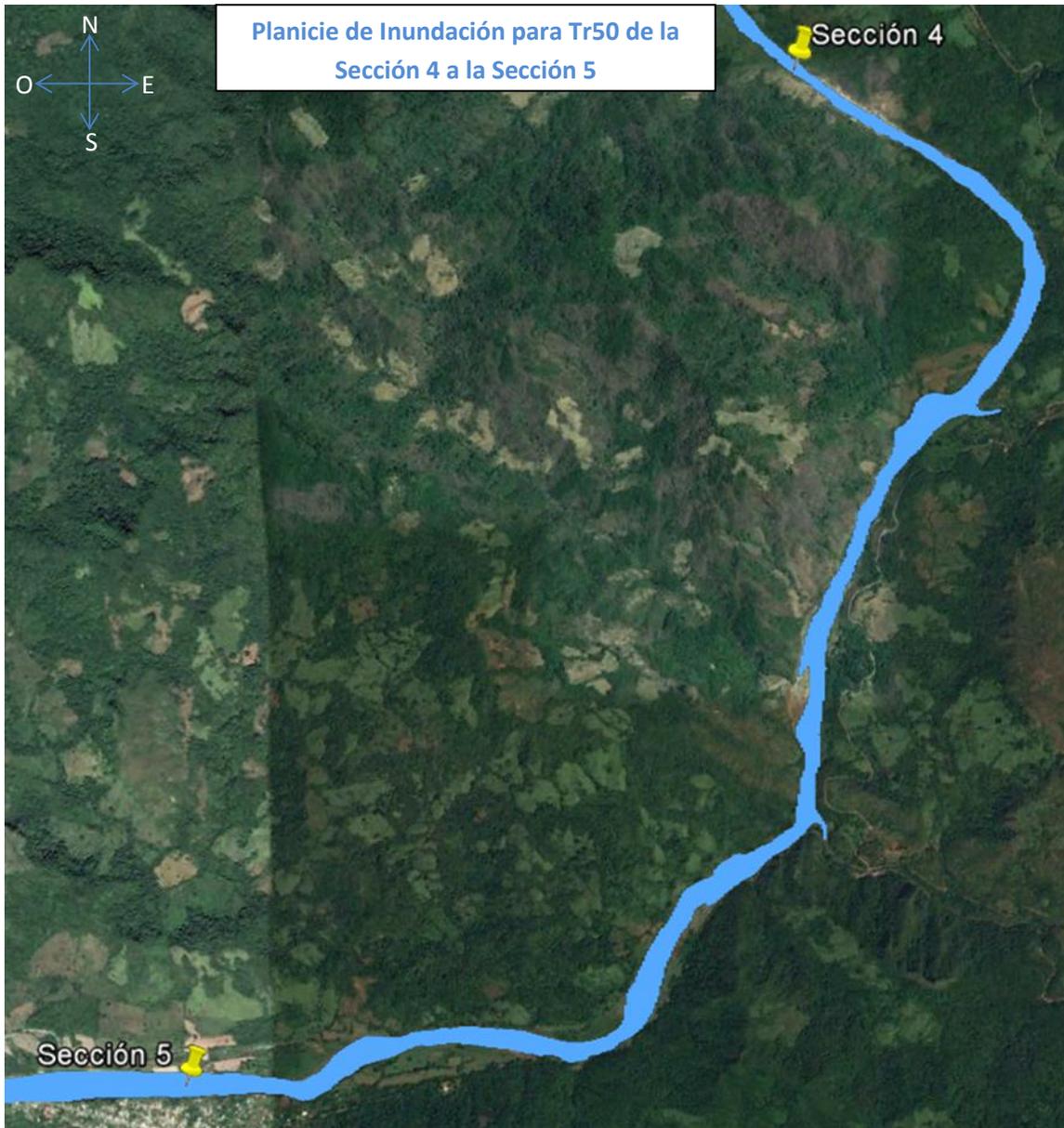


Ilustración 134.- Planicie de inundación para Tr50, sección 4 a sección 5.



Ilustración 135.- Planicie de inundación para Tr50, sección 5 a sección 6.



Ilustración 136.- Planicie de inundación para Tr50, sección 6 a sección 7.



Ilustración 137.- Planicie de inundación para Tr50, sección 7 a sección 8.



Ilustración 138.- Planicie de inundación para Tr50, sección 8 a sección 9.

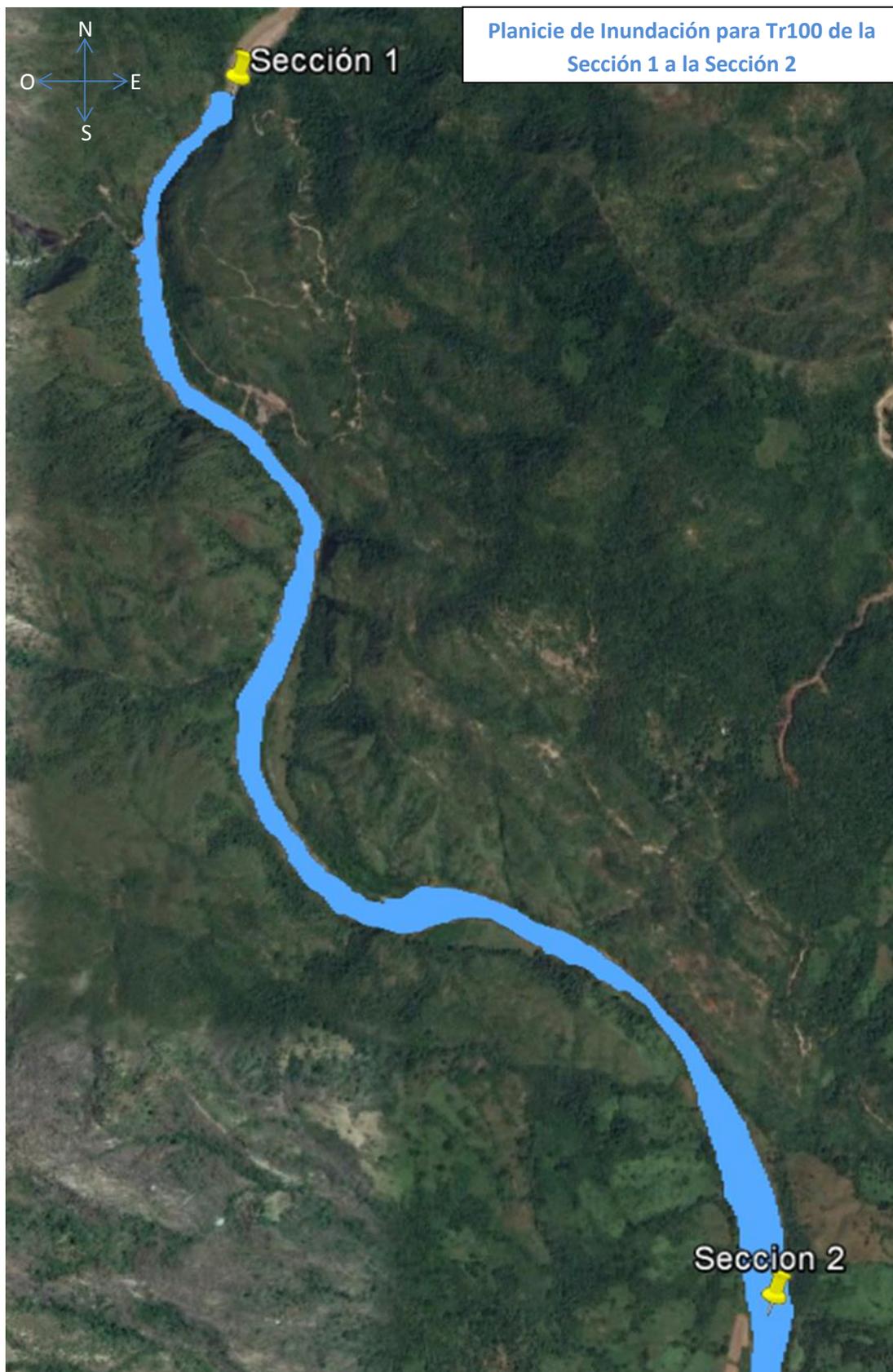


Ilustración 139.- Planicie de inundación para Tr100, sección 1 a sección 2.



Ilustración 140.- Planicie de inundación para Tr100, sección 2 a sección 3.

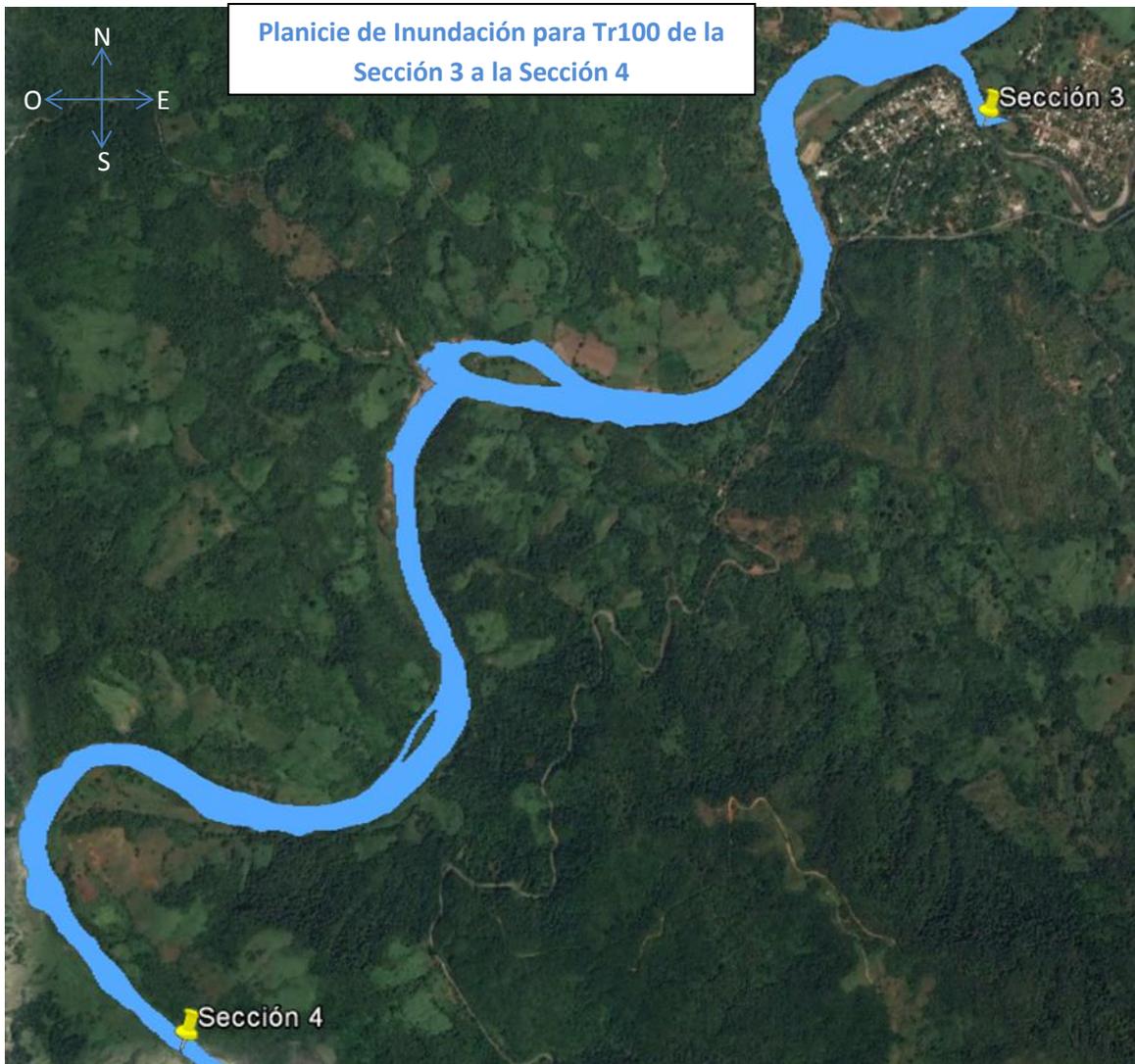


Ilustración 141.- Planicie de inundación para Tr100, sección 3 a sección 4.

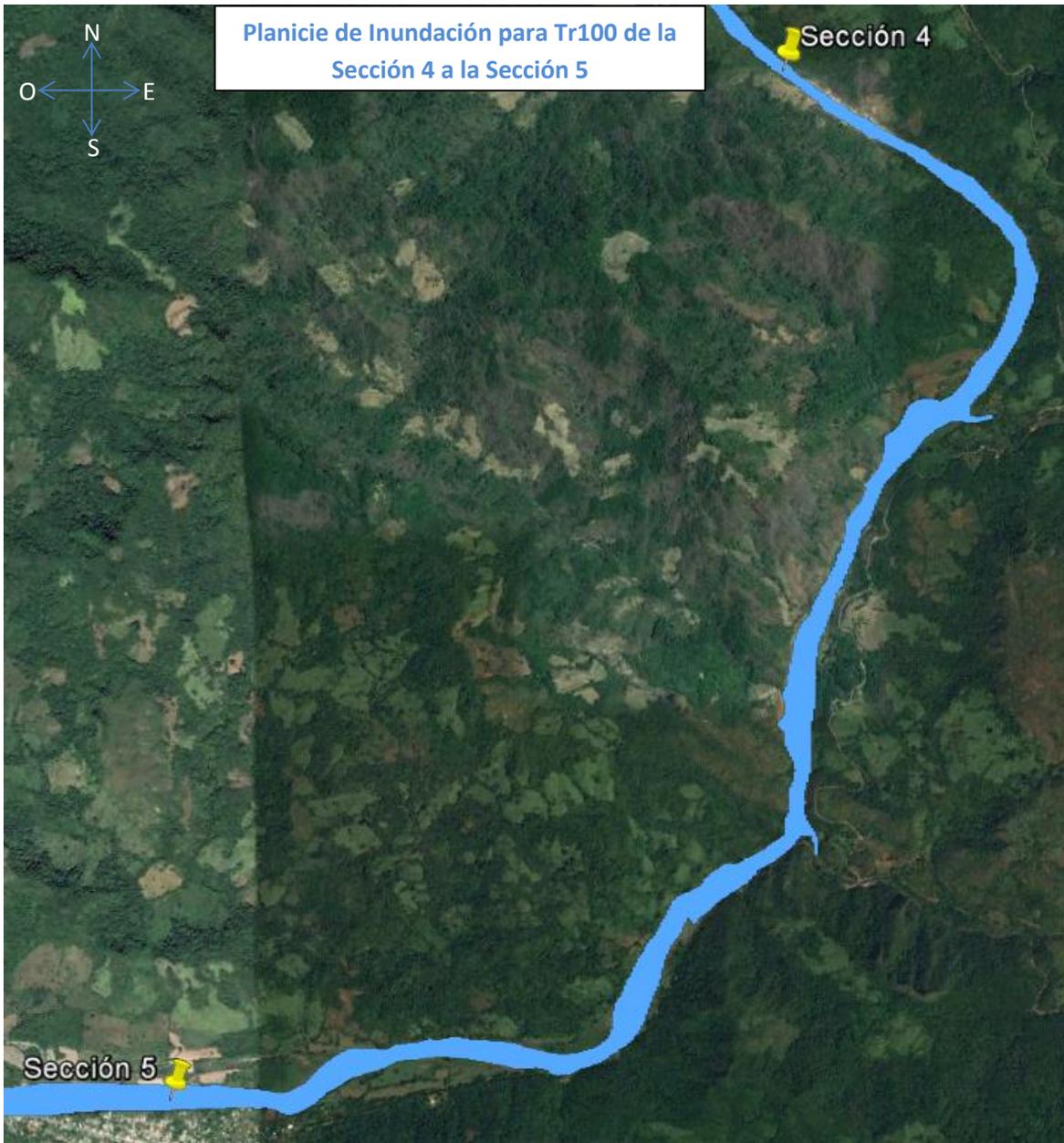


Ilustración 142.- Planicie de inundación para Tr100, sección 4 a sección 5.



Ilustración 143.- Planicie de inundación para Tr100, sección 5 a sección 6.



Ilustración 144.- Planicie de inundación para Tr100, sección 6 a sección 7.



Ilustración 145.- Planicie de inundación para Tr100, sección 7 a sección 8.



Ilustración 146.- Planicie de inundación para Tr100, sección 8 a sección 9.

Tabla 32.- Áreas de las planicies de inundación.

Áreas, m ²							
	Qmed	Tr2	Tr5	Tr10	Tr20	Tr50	Tr100
Sección 1 a 2	311406.8	382654.7	434011.0	458048.3	481882.3	504758.9	547568.4
Sección 2 a 3	99895.6	115809.7	127387.3	134600.7	140730.9	146694.6	157841.7
Sección 3 a 4	434732.0	558281.8	662952.4	732264.0	810120.8	883658.8	973084.4
Sección 4 a 5	665461.4	838342.4	955392.5	1032477.1	1088875.0	1175764.4	1252893.8
Sección 5 a 6	908241.3	1191512.9	1504097.9	1750750.8	1974365.7	2235409.0	2487488.5
Sección 6 a 7	1006832.6	1494116.2	1823669.9	2200591.7	2491175.5	2803295.1	3187151.6
Sección 7 a 8	535023.6	776127.4	935320.4	1092016.6	3846077.1	5361203.6	6333917.2
Sección 8 a 9	684649.3	2487013.0	3090783.7	3528751.2	8135168.1	10206631.7	11600068.7
Total	4646242.6	7843858.0	9533615.2	10929500.5	18968395.5	23317416.1	26540014.3

De la anterior tabla resumen, se comprueba que, obviamente, a mayor gasto hay mayor área de inundación. Además se observa que entre más cercana esté la sección a la desembocadura del río (teniendo un perfil más plano) los incrementos de área a mayor gasto, aumentan de manera más rápida que las áreas en secciones más elevadas (perfiles menos planos, con cotas de fondo mayores). Se hace énfasis en que al tener un gasto correspondiente a un periodo de retorno de 20 años o mayor, a partir de la sección 5, se tienen inundaciones en las poblaciones colindantes con el río, en menor o mayor escala dependiendo del gasto en cuestión.

Si se toma como gasto crítico el correspondiente al periodo de retorno de 100 años, la distancia mínima que se debe de tener del fondo del río a la población El Tamarindo son 170 metros para que no tenga inundaciones debidas a la creciente del río. Para la población San Vicente la distancia mínima necesaria para tener las mismas condiciones es de 730 metros y para la población Tuxpan es de 950 metros.

D. Análisis de las planicies de inundación

Se puede ver que las zonas de inundación varían de acuerdo al gasto que pasa por el río, a su vez, éstas cambian de manera más drástica cuando la sección del río es semi-plana (secciones más cercanas a la desembocadura del mismo), e influyen de manera menos relevante en las partes altas (secciones aguas arriba) dónde la sección del río es más angosta y más profunda, provocando que a mayor gasto, el agua suba de nivel más rápido, pero no aumenta su sección transversal como las secciones aguas abajo. Ocurrendo lo inverso en secciones aguas abajo, el nivel del agua permanece casi igual, sin embargo el ancho del río aumenta mucho con unos cuantos centímetros de altura más. La sección 3 y sección 6 cuentan con bifurcaciones en el río, lo que provoca que el gasto se divida en dos o hasta en 3 diferentes zonas, siendo más notoria la bifurcación ocurrida en los gastos para la sección 6 ya que la sección 3, pasando el gasto medio, la bifurcación se inunda y pasa a ser una sola sección de agua la que inunda el perfil de río. Las secciones 7, 8 y 9 al encontrarse en la parte más baja del río y tener una pendiente muy ligera, su sección transversal acotada no es suficiente para que pasen gastos muy grandes, por lo que se tomaron como referencias los últimos dos puntos de cada sección y se extendió la sección utilizando la misma

pendiente que la obtenida por esos dos puntos, si la pendiente que se obtiene de ellos va otorgando alturas menores con respecto al nivel del mar, entonces se utilizaron el par de puntos más cercanos a los extremos cuya pendiente propiciara lo contrario.

Se observa que a mayor gasto las secciones transversales del río aumentan de manera significativa, pudiendo ser peligroso para las comunidades aledañas al río. Es conveniente tener éstas planicies de inundación presentes también en el estudio sedimentológico del mismo, ya que con ellas podemos tener una idea más certera del origen de los sedimentos encontrados aguas abajo que pudiera parecer imposible en temporada de estiaje.

VI. Conclusiones

Con la elaboración de esta tesis se cumple el objetivo de la misma. Se estudió el flujo sedimentológico y las planicies de inundación del río San Pedro Mezquital, lográndose así tener por escrito y con valores exactos, la forma en la que se comporta el río en las secciones de estudio y con las muestras tomadas. A su vez, se hizo un estimado de las planicies de inundación para con ello prevenir posibles catástrofes que puedan suceder en comunidades aledañas, pero también en futuros estudios poder explicar el origen de los sedimentos y su desplazamiento por el río.

Quizás uno de los más importantes puntos de la tesis reside en la motivación que hubo para realizarla, ya que la zona de marismas nacionales es un ecosistema tan abundante, resulta ser de interés imperativo el proteger y cuidar esta zona. Cualquier construcción y cambio por la mano del hombre a la zona, debería de tener en cuenta los efectos secundarios que tienen en la zona de marismas nacionales.

Se logró definir y limitar concretamente la zona de estudio, su localización, y sus características hidrológicas. Además de presentarse generalidades de hidráulica fluvial que se requiere conocer para entender en su totalidad el texto.

Los materiales y métodos utilizados fueron los adecuados para lograr los resultados esperados, gracias a la simplicidad de su operación, fueron lo suficientemente fáciles de usar y reutilizar en caso de encontrar algún error en los cálculos. Además siempre estuvieron disponibles para su uso en caso de ser necesaria la generación de una mayor información.

Se determinó la rugosidad del río con un ajuste de las tablas de Manning y una comparación con ríos de Estados Unidos. Además se determinó la pendiente de los tramos de río muestreados para así comparar el tamaño de sedimentos a lo largo del río con sus pendientes.

Se obtuvo el perfil del río San Pedro Mezquital, con lo que se comprobó también la teoría de la dinámica fluvial que dice que a mayor pendiente mayor tamaño del sedimento. Y posteriormente se comparó las pendientes del río con su tamaño de sedimento encontrado en fondo y en suspensión.

El sedimento en suspensión presenta picos cercanos a la población de Ruiz, Tuxpan y San Vicente posiblemente siendo consecuencia de la contaminación de las poblaciones sobre el río. Además el sedimento en suspensión aumenta de concentración en la entrada del río Naranjo por lo que se considera que es un importante aportador de sedimento en suspensión.

En cuanto al sedimento de fondo, se observan comportamientos que apoyan la teoría que el río Naranjo es un importante aportador de sedimentos al río San Pedro, además se nota que al pasar la población de Ruiz, el sedimento se asienta y es a partir de ella que ya no se encuentran muestras de diámetros muy grandes.

Con los gastos medios anuales y los gastos correspondientes a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años se calcularon las planicies de inundación.

Se calcularon los gastos que pasaban por cada sección para así, tener las medidas exactas de hasta qué nivel y que ancho llega el agua en cada uno de ellos. Se observa que entre más cóncava es la sección de estudio, mayor gasto es el que puede pasar por ella, y mientras más plana menor gasto es el que pasa por ella. Además al tener un gasto correspondiente a un periodo de retorno de 20 años o mayor, a partir de la sección 5 se tienen inundaciones en las poblaciones colindantes con el río, en menor o mayor escala dependiendo del gasto en cuestión. Este estudio resulta también útil para cualquier obra civil que se planee construir en el río o cercana a él, pudiendo ver si está correctamente diseñada para no ser afectada por alguna avenida, o bien, no afectar el curso natural de éste.

VII. Recomendaciones

Se recomienda hacer un muestreo más homogéneo sobre el río, a su vez que sería deseable contar con muestras de sedimento de fondo no sólo en el cauce del río, sino también en los márgenes del mismo para así poder inducir si el sedimento del fondo que se encuentra en el río fue producto de la erosión de los márgenes del mismo, o proviene del arrastre de algún material externo o fuera del área de estudio. Además sería deseable que se midiera el nivel de fondo del lugar donde se muestrea, para así obtener valores más exactos de las pendientes en los puntos de muestreo.

Se recomienda también realizar un estudio semejante al hecho por la USGS en varios ríos dentro de México para así contar con la rugosidad calculada con mayor exactitud dentro del área a estudiar, logrando con ello resultados más exactos en cuanto a gastos y velocidades en el río entre otras cosas.

También se recomienda a toda persona que busque modificar el curso natural del río, que mida de manera específica la zona donde realizará la obra para poder delimitar el área de influencia que tendrá su obra y las repercusiones aguas arriba y aguas debajo de la misma.

Se recomienda también tener presente que un importante aportador de sedimentos al río San Pedro Mezquital es el río Naranjo, por lo que una obra dentro de este río resulta de suma importancia para ser contemplado en los efectos que provoca en el río San Pedro.

VIII. Referencias

- 1.-Villar R. Carlos, "Marismas Nacionales", Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras, documento electrónico, 2009, consultado el 20 de noviembre de 2016 <http://www.whsrn.org/es/perfil-de-sitio/marismas-nacionales>.
- 2.-Orsini L.F., Silva R., Mendoza E., y Domínguez R. (2016), "Régimen hidrológico de los ríos San Pedro y Mezquital", Informe de trabajo posdoctoral, Instituto de Ingeniería-UNAM, 26pp.
- 3.-Real Academia Española, "erosión", Diccionario de la Lengua Española, Madrid, 2014.
- 4.-Graf W., "Hydraulics of Sediment Transport", McGraw Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, Highlands Ranch, Colorado, 1984, pág. 1.
- 5.-Hudson N.W., "Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía", Boletín de Suelos de la FAO – 68, Silsoe Associates, Ampthill, Bedford, United Kingdom, 1997, cap. 5.
- 6.-Cortés B., D. y Nava H., A., "Hidráulica de Ríos", Tesis de titulación, Instituto Politécnico Nacional, 2009, páginas 53 y 54.
- 7.-Capítulo III. Fenómeno de Acorazamiento recuperado el 5 de febrero de 2017 de la página: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_132_183_85_1203.pdf
- 8.-García F., M. y Maza A., J. A., "Origen y Propiedades de los Sedimentos"-Capítulo 7 del Manual de Ingeniería de Ríos, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1998, página 32.
- 9.-Larburu A., N., "Máquinas. Prontuario. Técnicas máquinas herramientas.", Thomson Editores Spain, Madrid, España, 2003, página 134 y 278
- 10.-Concepto Definición, "Inundación", recuperado el 7 de febrero de la página: <http://conceptodefinicion.de/inundacion/>
- 11.-Mundo agua, "Las Inundaciones", recuperado el 7 de febrero de la página: http://platea.pntic.mex.es/~aabadias/webs0506/mundoagua/causas_de_las_inundaciones.htm
- 12.-García F., M. y Maza A., J. A., "Origen y Propiedades de los Sedimentos"-Capítulo 7 del Manual de Ingeniería de Ríos, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1998, página 5.
- 13.-Sotelo A., G., "Apuntes de Hidráulica II", Departamento de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, México, D.F., 1997, pág. 50.
- 14.-Barnes H. (1967), "Roughness Characteristics of Natural Channels", United States Geological Survey, Washington, 10-13 y 22-25pp.

IX. Anexo I

1. Sección 1

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
505 350.056	2 442 938.886	103.61
505 348.382	2 442 940.021	103.551
505 347.415	2 442 940.676	103.361
505 344.628	2 442 942.566	101.16
505 342.931	2 442 943.716	98.922
505 341.696	2 442 944.553	99.561
505 340.971	2 442 945.045	99.156
505 340.689	2 442 945.235	97.889
505 339.912	2 442 945.762	97.169
505 338.496	2 442 946.722	96.705
505 336.729	2 442 947.920	96.078
505 336.042	2 442 948.386	95.845
505 335.457	2 442 948.783	96.472
505 334.975	2 442 949.109	96.31
505 334.895	2 442 949.164	95.78
505 333.714	2 442 949.964	95.86
505 332.645	2 442 950.689	95.941
505 332.139	2 442 951.032	94.982
505 331.302	2 442 951.599	95.104
505 331.175	2 442 951.685	95.789
505 329.929	2 442 952.530	95.573
505 329.707	2 442 952.680	95.191
505 328.803	2 442 953.293	95.518
505 326.903	2 442 954.581	95.052
505 325.529	2 442 955.512	94.998
505 325.216	2 442 955.725	93.644
505 323.156	2 442 957.121	93.832
505 321.519	2 442 958.230	94.903
505 320.604	2 442 958.851	94.496
505 319.214	2 442 959.793	94.479
505 318.385	2 442 960.355	94.303
505 316.840	2 442 961.403	94.425
505 316.509	2 442 961.627	93.806
505 316.072	2 442 961.923	93.651
505 315.768	2 442 962.129	94.355
505 315.130	2 442 962.561	93.989
505 315.130	2 442 962.561	93.579

505 314.802	2 442 962.784	94.091
505 313.127	2 442 963.919	94.468
505 312.234	2 442 964.525	93.826
505 311.139	2 442 965.267	91.37
505 309.969	2 442 966.060	91.035
505 309.528	2 442 966.359	90.628
505 309.389	2 442 966.454	91.41
505 308.323	2 442 967.176	91.021
505 307.375	2 442 967.819	90.951
505 306.015	2 442 968.741	89.873
505 299.432	2 442 973.203	83.2
505 295.253	2 442 976.036	78.57
505 294.787	2 442 976.352	78.556
505 289.855	2 442 979.695	79.445
505 284.611	2 442 983.250	80.258
505 280.780	2 442 985.847	80.983
505 273.982	2 442 990.455	81.6
505 271.459	2 442 992.165	81.036
505 271.165	2 442 992.365	83.111
505 271.131	2 442 992.388	83.105
505 270.887	2 442 992.553	86.36
505 270.562	2 442 992.773	88.008
505 269.393	2 442 993.566	88.986
505 267.959	2 442 994.538	89.31
505 267.845	2 442 994.616	88.955
505 266.767	2 442 995.346	88.703
505 265.465	2 442 996.229	88.142
505 265.292	2 442 996.346	87.186
505 262.684	2 442 998.114	88.353
505 262.408	2 442 998.301	90.316
505 261.693	2 442 998.786	90.378
505 261.391	2 442 998.991	88.165
505 259.336	2 443 000.384	87.507
505 259.226	2 443 000.458	90.701
505 256.360	2 443 002.401	92.781
505 253.620	2 443 004.258	93.412
505 251.935	2 443 005.401	95.254
505 250.156	2 443 006.606	95.092
505 246.849	2 443 008.848	96.505
505 245.545	2 443 009.732	100.89
505 243.752	2 443 010.948	102.622

505 242.288	2 443 011.940	102.369
505 241.714	2 443 012.329	103.133
505 241.402	2 443 012.541	102.316
505 241.049	2 443 012.780	102.076
505 239.956	2 443 013.521	102.595
505 233.372	2 443 017.984	110.72
505 230.489	2 443 019.938	113.728
505 228.608	2 443 021.213	115.562
505 224.124	2 443 024.253	119.527
505 220.113	2 443 026.972	121.52
505 217.929	2 443 028.453	122.991
505 213.655	2 443 031.350	125.78
505 209.166	2 443 034.393	127.191
505 207.905	2 443 035.248	127.448
505 203.302	2 443 038.369	129.872
505 197.774	2 443 042.116	132.309
505 192.944	2 443 045.390	133.71
505 185.417	2 443 050.492	126.718

2. Sección 2

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
507504.39	2438329.79	101.98
507493.84	2438328.08	107.57
507493.82	2438328.07	110.57
507489.41	2438327.36	107.07
507483.27	2438326.36	102.5
507479.64	2438325.77	97.64
507473.97	2438324.86	91.71
507468.49	2438323.97	85.94
507463.39	2438323.14	82.31
507459.31	2438322.48	78.93
507457.89	2438322.25	78.69
507456.77	2438322.07	78.27
507455.52	2438321.87	77.55
507451.8	2438321.26	77.1
507450.67	2438321.08	76.22
507449.69	2438320.92	75.64
507445.82	2438320.29	75.37
507442.23	2438319.71	75.08
507438.62	2438319.13	75.29

507433.9	2438318.36	75.52
507431.03	2438317.9	75.51
507427.78	2438317.37	75.62
507423.81	2438316.73	75.68
507417.99	2438315.78	75.66
507414.16	2438315.16	75.71
507409.5	2438314.41	75.69
507404.23	2438313.55	75.63
507399.68	2438312.81	75.6
507394.41	2438311.96	75.7
507387.49	2438310.84	75.33
507374.75	2438308.77	74.99
507364.88	2438307.17	74.86
507355.01	2438305.57	74.71
507344.11	2438303.81	75.47
507338.99	2438302.98	75.68
507334.29	2438302.22	76.05
507330.86	2438301.66	75.85
507328.87	2438301.34	75.83
507323.73	2438300.5	76.02
507316.75	2438299.37	76.06
507309.42	2438298.18	76.58
507304.03	2438297.31	76.82
507297.97	2438296.33	77.39
507295.11	2438295.87	77.67
507290.89	2438295.18	78.35
507289.8	2438295	78.88
507288.01	2438294.72	79.2
507277.16	2438292.96	79.79
507269.15	2438291.66	80.54
507258.69	2438289.96	81.48
507247.03	2438288.07	82.88
507235.59	2438286.22	84.66
507229.77	2438285.27	85.21
507226.68	2438284.77	86.28

3. Sección 3

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
507050.32	2437126.04	88.96
507052.55	2437126.52	89.01

507058.89	2437127.87	89.81
507060.59	2437128.24	89.71
507063.49	2437128.86	89.7
507065.77	2437129.34	89.6
507081.46	2437132.7	89.27
507083.55	2437133.15	88.74
507084.87	2437133.43	88.29
507086.51	2437133.78	87.58
507088.04	2437134.11	87.41
507089.46	2437134.42	86.47
507090.95	2437134.73	85.68
507092.39	2437135.04	85.66
507094.25	2437135.44	85.64
507094.67	2437135.53	85.45
507096.25	2437135.87	84.98
507096.81	2437135.99	84.56
507099.11	2437136.48	78.66
507100.23	2437136.72	78.12
507103.48	2437137.41	77.67
507106.38	2437138.04	77.45
507107.09	2437138.19	76.89
507109.14	2437138.62	76.97
507109.75	2437138.76	77
507110.11	2437138.83	76.11
507113.1	2437139.47	76.28
507116.56	2437140.21	76.58
507122.58	2437141.5	76.63
507127.53	2437142.56	76.61
507128.93	2437142.86	78.58
507131.17	2437143.34	76.52
507135.68	2437144.3	76.27
507139.64	2437145.15	76.25
507142.9	2437145.85	76.39
507145.18	2437146.34	76.8
507147.95	2437146.93	77.56
507150.88	2437147.56	77.81
507154.03	2437148.23	78.18
507158.43	2437149.17	78.56
507162.52	2437150.05	78.93
507164.99	2437150.58	79.37
507166.17	2437150.83	79.61

507167.87	2437151.19	79.63
507171.22	2437151.91	79.8
507175.67	2437152.86	79.9
507180.83	2437153.96	80.22
507185.48	2437154.96	80.53
507187.25	2437155.34	80.58
507191.74	2437156.3	80.83
507195.48	2437157.1	81.13
507199.35	2437157.93	81.1
507202.03	2437158.5	81
507205.91	2437159.33	81.37
507209.75	2437160.15	81.52
507213.98	2437161.06	81.88
507215.91	2437161.47	82.02

4. **Sección 4**

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
503860.67	2433426.66	79.94
503858.09	2433422.88	77.46
503856	2433419.83	75.46
503853.78	2433416.58	73.67
503848.97	2433409.55	69.71
503848.58	2433408.98	68.92
503846.86	2433406.45	67.59
503844.62	2433403.19	65.78
503843.18	2433401.07	65.13
503840.54	2433397.22	63.4
503839.29	2433395.38	62.48
503836.87	2433391.84	60.76
503834.59	2433388.52	60.22
503832.72	2433385.78	58.66
503829.97	2433381.75	56.4
503827.78	2433378.56	55.18
503825.36	2433375.01	54.31
503823.11	2433371.72	53.71
503820.12	2433367.35	53.05
503815.77	2433360.98	53.04
503809.4	2433351.66	52.66
503802.43	2433341.46	52.51
503798	2433334.99	52.55

503795.03	2433330.65	53.64
503793.45	2433328.33	54.41
503792.38	2433326.76	55.38
503791.15	2433324.97	56.11
503790.93	2433324.64	59.01
503789.79	2433322.97	58.68
503789.5	2433322.55	57.8
503787.89	2433320.2	59.02
503786.28	2433317.84	59.83
503784.21	2433314.81	60.98
503783.14	2433313.25	61.39
503782.05	2433311.65	61.35
503779.31	2433307.65	62.32
503776.09	2433302.94	62.87
503774.16	2433300.12	63.48
503771.62	2433296.4	63.98
503768.5	2433291.84	65.19
503765.73	2433287.79	65.69
503760.71	2433280.44	67.14
503758.64	2433277.41	68.56

5. Sección 5

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
500074.94	2426935.46	52.3
500074.52	2426938.46	50.74
500074.52	2426940.33	49.02
500074.52	2426943.04	46.43
500074.52	2426945.33	45.09
500074.52	2426947.46	44.63
500074.52	2426952.14	44.16
500074.52	2426954.75	43.81
500074.52	2426963.28	41.98
500074.52	2426966.03	41.2
500074.52	2426974.39	40.96
500074.52	2426986.95	41.13
500074.52	2426999.92	41.42
500074.52	2427017.59	41.15
500074.52	2427033.83	40.71
500074.52	2427038.63	40.62
500074.52	2427050.72	40.25

500074.52	2427063.21	40.47
500074.52	2427073.61	40.89
500074.52	2427081.21	41.63
500074.52	2427088.9	43.83
500074.52	2427090.22	43.67
500074.52	2427091.77	43.55
500074.52	2427095.9	44
500074.52	2427099.74	45.19
500074.52	2427112.75	46.33
500074.52	2427120.32	46.03
500074.52	2427127.12	46.28
500074.52	2427132.26	46.41
500074.52	2427140.63	46.38
500074.52	2427148.89	45.97

6. Sección 6

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
491385.36	2426741.44	31.97
491378.75	2426748.46	31.14
491372.53	2426755.06	30.54
491366.17	2426761.82	30.34
491360.69	2426767.64	29.99
491356.7	2426771.87	29.88
491356.15	2426772.46	29.74
491355.04	2426773.64	29.52
491353.39	2426775.39	29.1
491351.48	2426777.42	27.32
491349.27	2426779.76	27.4
491346.51	2426782.7	27.12
491344.68	2426784.64	26.75
491343.81	2426785.57	27
491341.35	2426788.18	27.02
491337.97	2426791.76	27.18
491337.09	2426792.7	26.85
491336.01	2426793.8	26.19
491334.9	2426795.03	25.66
491334.1	2426795.88	25.29
491332.66	2426797.41	24.92
491330.09	2426800.14	25.35
491328.48	2426801.84	25.08

491325.64	2426804.86	25.45
491324.42	2426806.15	25.71
491323.23	2426807.43	25.92
491321.17	2426809.61	26.37
491317.58	2426813.43	26.37
491311.21	2426820.19	26.01
491308.65	2426822.9	25.86
491306.41	2426825.28	25.65
491303.62	2426828.25	25.38
491298.17	2426834.04	24.88
491291.35	2426841.28	24.27
491283.63	2426849.47	23.88
491278.25	2426855.19	23.56
491274.36	2426859.32	23.8
491270.66	2426863.25	25.43
491270.24	2426863.69	25.83
491268.87	2426865.16	26.36
491267.54	2426866.56	26.69
491264.64	2426869.64	26.78
491262.18	2426872.26	27.08
491257.26	2426877.48	27.07
491252.22	2426882.84	27.09
491247.42	2426887.93	26.91
491243.11	2426892.51	26.37
491241.47	2426894.25	25.85
491236.83	2426899.18	24.4
491231.73	2426904.59	24.12
491224.56	2426912.21	24.23
491215.9	2426921.41	24.4
491207.4	2426930.43	24.45
491197.71	2426940.72	24.62
491190.57	2426948.31	25.04
491183.5	2426955.82	25.85
491180.18	2426959.35	26.23
491175.61	2426964.2	26.75
491174.41	2426965.48	26.98
491173.7	2426966.23	27.32
491171.88	2426968.16	27.44
491170.37	2426969.76	27.15
491169.13	2426971.08	26.99
491168.38	2426971.87	27.02

491167.92	2426972.36	27.17
491166.97	2426973.37	27.5
491165.06	2426975.4	27.74
491161.36	2426979.33	27.37
491158.79	2426982.07	27.53
491157.18	2426983.77	27.81
491154.33	2426986.8	28.09
491151.03	2426990.31	28.19
491146.98	2426994.61	28.23
491142.97	2426998.86	28.35
491141.74	2427000.17	28.54
491137	2427005.21	28.48
491131.37	2427011.18	28.49

7. Sección 7

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
481616.51	2427547.04	14.36
481606.74	2427551.38	14.15
481599.04	2427554.79	14.13
481592.43	2427557.73	14.25
481585.36	2427560.87	14.12
481578.15	2427564.07	14.12
481571.26	2427567.13	14.55
481568.14	2427568.52	14.62
481566.66	2427569.17	13.84
481564.44	2427570.16	12.07
481561.72	2427571.37	9.49
481560.07	2427572.06	9.05
481557.63	2427573.18	8.36
481553.17	2427575.16	8.26
481547.74	2427577.58	8.22
481537.79	2427582	8.06
481527.53	2427586.55	8.07
481514.59	2427592.3	8.2
481497.27	2427599.99	8.44
481489.83	2427603.29	8.61
481483.86	2427605.94	9.13
481481.29	2427607.09	9.75
481476.06	2427609.41	10.04
481471.86	2427611.27	10.14

481469.18	2427612.47	11.57
481466.81	2427613.52	12.7
481465.14	2427614.25	13
481463.62	2427614.94	12.87
481460.32	2427616.4	12.77
481452.77	2427619.75	12.53
481445.4	2427623.03	12.59
481438.07	2427626.28	12.66
481428.63	2427630.47	12.77
481420.84	2427633.93	12.92
481417.15	2427635.57	12.63
481411.22	2427638.2	12.94
481407.75	2427639.75	13.11
481402.09	2427642.26	13.11
481396.94	2427644.55	13.31
481390.69	2427647.32	13.24

8. Sección 8

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
473446.64	2427369.75	9.71
473442.12	2427371.87	9.85
473435.68	2427374.9	9.95
473430.82	2427377.17	10.1
473420.91	2427381.83	10.25
473412.62	2427385.72	10.23
473403.98	2427389.77	9.81
473401.46	2427390.95	9.94
473400.12	2427391.59	9.53
473399.63	2427391.81	8.83
473398.67	2427392.27	8.41
473398.59	2427392.3	7.79
473397.96	2427392.6	7.6
473396.79	2427393.15	7.07
473391.99	2427395.4	6.6
473388.19	2427397.19	5.52
473378.43	2427401.76	3.88
473370.99	2427405.26	3.76
473361.59	2427409.67	3.63
473349.8	2427415.2	3.7
473340.47	2427419.58	3.69

473333.34	2427422.93	4.01
473330.92	2427424.06	5.52
473325.62	2427426.55	6.62
473324.08	2427427.27	7.49
473322.02	2427428.24	9.04
473320.09	2427429.14	10.56
473312.11	2427432.89	10.62
473304.77	2427436.33	10.56
473296.91	2427440.03	10.51
473288.29	2427444.07	10.47
473279.85	2427448.03	10.3
473266.87	2427454.12	9.9
473258.18	2427458.2	9.41
473250.78	2427461.67	8.6
473246.85	2427463.52	8.44
473242.63	2427465.5	8.97
473235.18	2427469	9.27
473223.64	2427474.41	9.15
473215.03	2427478.45	9.71
473206.2	2427482.6	10.49
473196.98	2427486.93	11.15
473196.46	2427487.17	11.45
473195.81	2427487.47	11.52
473195.21	2427487.76	11.16

9. Sección 9

Coordenadas UTM		MSNM
X	Y	Z
463123.18	2425809.29	5.99
463123.16	2425809.73	6.04
463123.02	2425810.58	5.93
463122.74	2425812.4	5.41
463121.56	2425819.96	5.44
463120.59	2425826.15	5.85
463119.18	2425835.18	6.06
463118.13	2425841.92	6.14
463116.24	2425854	6.14
463114.83	2425863.04	6.12
463113.42	2425872.05	6.14
463110.77	2425889.03	6.19
463108.66	2425902.51	6.18

463106.27	2425917.83	6.19
463103.33	2425936.62	6.23
463099.99	2425958.03	6.32
463098.25	2425969.12	6.29
463095.71	2425985.44	6.29
463093.17	2426001.69	6.24
463089.94	2426022.36	6.3
463087.38	2426038.74	6.43
463087.26	2426039.51	6.48
463085.09	2426053.42	6.55
463083.75	2426061.95	6.4
463083.06	2426066.38	4.34
463082.03	2426072.99	2.72
463080.49	2426082.84	2.36
463079.06	2426091.96	2.53
463077.35	2426102.91	2.21
463075.79	2426112.91	1.85
463074.53	2426120.96	1.68
463073.58	2426127.09	1.57
463072.61	2426133.25	1.64
463072.24	2426135.64	3.36
463071.96	2426137.44	4.45
463071.64	2426139.51	6.22
463071.37	2426141.19	6.43
463071.05	2426143.17	6.55
463070.69	2426145.58	6.43
463070.5	2426146.76	6.55
463069.9	2426150.65	6.41
463068.83	2426157.46	6.33
463068.75	2426157.95	6.43
463066.98	2426169.29	6.2
463065.84	2426176.6	6.39
463063.85	2426189.36	6.25
463062.55	2426197.68	6.13
463059.42	2426217.7	6.13
463056.02	2426239.49	6.11
463052.54	2426261.73	5.9
463049.69	2426279.99	5.84
463047.76	2426292.33	5.91
463045.15	2426309.04	5.77
463041.63	2426331.61	5.97

463040.05	2426341.69	5.94
-----------	------------	------