

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

Convenio de Colaboración
No. SGIH-GPIH-SGPOPR-UNAM-II-RF-14-01

Informe Final

CAPÍTULO 12 Estudio de caracterización y cuantificación de sedimentos

Dr. Fernando Jorge González Villareal *
Director del proyecto

M. en I. Juan Javier Carrillo Sosa **
Coordinador del proyecto

Dr. José Guadalupe Fabián Rivera Trejo ****
C.P. Carlos A. Rosas Figueroa ****
Participantes

**Elaborado para:
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA***

NOVIEMBRE, 2014

* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM
** Técnico académico, Instituto de Ingeniería, UNAM
**** Consultor Externo

ÍNDICE

12	ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS.....	1
12.1	INTRODUCCIÓN	1
12.1.1	<i>Zona de estudio</i>	2
12.1.2	<i>Metodología</i>	7
12.2	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	9
12.2.1	<i>Reporte de la campaña de mediciones</i>	9
12.2.2	<i>Reporte fotográfico de la campaña de mediciones</i>	12
12.3	ESTIMACIÓN DEL BALANCE DE SEDIMENTOS	29
12.3.1	<i>Parámetros de gasto sólido y gasto líquido</i>	37
12.3.2	<i>Caracterización de los materiales</i>	39
12.4	CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE DE MATERIAL SÓLIDO EN CAUCES 58	
12.4.1	<i>Sedimentogramas</i>	58
12.5	DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PERMANENTE DE MEDICIÓN DE SEDIMENTOS	100
12.5.1	<i>Sistema Río Mezcalapa</i>	101
12.5.2	<i>Sistema Río Usumacinta</i>	116
12.5.3	<i>Sistema de ríos de la Sierra</i>	124
12.5.4	<i>Sistema de obras derivadoras (Escotaduras)</i>	127
12.5.5	<i>Técnicas</i>	131
12.5.6	<i>Equipos</i>	140
12.5.7	<i>Formatos propuestos</i>	149
12.5.8	<i>Metodología de cálculo para estimar el balance de transporte de sedimentos</i> 150	
12.6	ACCIONES PARA EL CONTROL Y MANEJO DE LOS SEDIMENTOS	152
12.7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	158

12.8	BIBLIOGRAFÍA	160
------	--------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 12.1.1.	Resumen de campaña de medición	7
Tabla 12.2.1.	Equipos de aforo líquido.....	9
Tabla 12.2.2.	Escalas y caudales.....	10
Tabla 12.2.3.	Aforo con ADP	11
Tabla 12.3.1.	Numeración y abertura de tamices	39
Tabla 12.3.2.	Análisis granulométrico río Mezcalapa	47
Tabla 12.3.3.	Análisis granulométrico río Carrizal	48
Tabla 12.3.4.	Análisis granulométrico río Samaria	49
Tabla 12.3.5.	Análisis granulométrico río Platanar	50
Tabla 12.3.6.	Análisis granulométrico río Comoapa	51
Tabla 12.3.7.	Análisis granulométrico río González	51
Tabla 12.3.8.	Análisis granulométrico río Grijalva	52
Tabla 12.3.9.	Análisis granulométrico río Chilapilla	52
Tabla 12.3.10.	Zonas de muestreo de material del lecho	55
Tabla 12.4.1.	Resumen Río Platanar	63
Tabla 12.4.2.	Resumen río Comuapa	68
Tabla 12.4.3.	Resumen de caudales.....	77
Tabla 12.4.4.	Resumen Confluencia Samaria - González	88
Tabla 12.4.5.	Resumen Confluencia Grijalva - Chilapilla.....	93
Tabla 12.4.6.	Aforo líquido estación El Censo.....	97
Tabla 12.4.7.	Resumen canal derivador El Censo	97
Tabla 12.5.1.	Etapa 1. Estiaje	112
Tabla 12.5.2.	Etapa 2. Temporada de avenidas.....	112
Tabla 12.5.3.	Programa referencial de muestreo, Río Mezcalapa	114
Tabla 12.5.4.	Reporte de fluviomorfología	115
Tabla 12.5.5.	Primer informe de transporte de sedimentos	116
Tabla 12.5.6.	Informe final	116
Tabla 12.5.7.	Etapa 1. Estiaje	121
Tabla 12.5.8.	Etapa 2. Temporada de avenidas.....	121
Tabla 12.5.9.	Programa referencial de muestreo, Río Usumacinta	122

Tabla 12.5.10. Reporte de fluviomorfología	123
Tabla 12.5.11. Primer informe de transporte de sedimentos	123
Tabla 12.5.12. Informe final	123
Tabla 12.13. Etapa 1. Estiaje	125
Tabla 12.14. Etapa 2. Temporada de avenidas.....	125
Tabla 12.15. Programa referencial de muestreo, Sistema Ríos de la Sierra	125
Tabla 12.5.16. Reporte de fluviomorfología	126
Tabla 12.5.17. Primer informe de transporte de sedimentos	126
Tabla 12.5.18. Informe final	127
Tabla 12.5.19. Programa referencial de muestreo, Escotaduras.....	130
Tabla 12.5.20. Informe estructuras de control	131
Tabla 12.5.21 Procesos fluviomorfológicos. (Q_s) Carga de sedimentos, (Q_w) caudal líquido, (+) incremento, (-) decremento, (=) constante. (Fuente: Thorne, 1997).	134
Tabla 12.5.22. Datos de sedimento y su utilidad (Fuente: Peters, 1998).....	136
Tabla 12.5.23. Balance de sedimentos Mezcalapa-Samaria.....	150
Tabla 12.5.24. Balance de sedimentos Mezcalapa-Carrizal.....	151
Tabla 12.6.1. Acciones para el manejo y control de los sedimentos	156
Tabla 12.7.1. Observaciones a los sistemas estudiados.....	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 12.1.1. Zona de estudio	3
Figura 12.1.2. Sitio de muestreo Río Platanar	4
Figura 12.1.3. Sitio de muestreo Río Comuapa	4
Figura 12.1.4. Sitio de muestreo Río Mezcalapa.....	5
Figura 12.1.5. Sitio de muestreo Río Chilapilla	5
Figura 12.1.6. Sitio de muestreo Río González.....	6
Figura 12.1.7. Sitio de muestreo Escotadura el Censo	6
Figura 12.2.1. Trabajo de campo escotadura el Censo.....	13
Figura 12.2.2. Visita de reconocimiento Sistema Mezcalapa	13
Figura 12.2.3. Trabajo de campo Río Platanar.....	14
Figura 12.2.4. Prueba de grúa Puente Samaria	15
Figura 12.2.5. Trabajo de campo Río Mezcalapa.....	16
Figura 12.2.6. Trabajo de campo Río Mezcalapa.....	17

Figura 12.2.7. Trabajo de campo Río Carrizal.....	18
Figura 12.2.8. Trabajo de campo Río Samaria y Carrizal.....	19
Figura 12.2.9. Trabajo de campo Río Samaria.....	20
Figura 12.2.10. Trabajo de campo Río Platanar.....	21
Figura 12.2.11. Trabajo de campo Río Platanar.....	22
Figura 12.2.12. Trabajo de campo Río Comuapa y Paredón	23
Figura 12.2.13. Trabajo de campo Río Comuapa y Paredón	24
Figura 12.2.14. Trabajo de campo Río González.....	25
Figura 12.2.15. Trabajo de campo Río González.....	26
Figura 12.2.16 Trabajo de campo Río Chilapilla	27
Figura 12.2.17. Trabajo de campo Río Chilapilla	28
Figura 12.3.1. a) DH-48; b) DH-59; c) DH-74; d) Variedad.....	30
Figura 12.3.2. Generación de Isotácas y selección de dovelas.....	31
Figura 12.3.3- Muestreador de sedimento en suspensión DH-48	31
Figura 12.3.4. a) Muestreador DH-59; b) Muestreador DH-74	32
Figura 12.3.5. Gasto sólido en suspensión Q_{si} para cada dovela.....	33
Figura 12.3.6. A) H-S con mango extensible; b) H-S 8020; c) H-S 8040; d) H-S 8065 e) Variedad de medidores de fondo	35
Figura 12.3.7. Empleo de muestreador Helley-Smith a) Isotácas b) Dovelas	35
Figura 12.3.8. Muestreador de sedimento de fondo Helley - Smith.....	36
Figura 12.3.9. Gasto de fondo Q_{fi} por dovela	37
Figura 12.3.10. Analogía de la balanza de Lane (Chorley et al, 1985).....	38
Figura 12.3.11. a) Muestra de campo; b) Vasos de secado; c) Horno de secado; d) Pesado de muestra; e) Tamizado mecánico; f) Limpieza de mallas; g) Pesado de muestras retenidas; h) Creación de gráfica granulométrica	42
Figura 12.3.12. Grafica de gradaciones del agregado. Gradación de la arena a la izquierda y la del agregado grueso a la derecha.	42
Figura 12.3.13. Determinación del volumen total de las muestras	43
Figura 12.3.14 Obtención del volumen sedimentado mediante conos Imhoff.....	43
Figura 12.3.15. Registro de volumen sedimentado de cada muestra.....	43
Figura 12.3.16. Limpieza de Crisoles a 500 °C	44
Figura 12.3.17. Limpieza de crisoles a 105 °C.....	44
Figura 12.3.18. Enfriado de crisoles a temperatura ambiente dentro de desecador	45

12
67

Figura 12.3.19. Registro del peso contante de los crisoles	45
Figura 12.3.20. Secado de muestras en horno	45
Figura 12.3.21 Secado a temperatura ambiente	45
Figura 12.3.22 Muestras listas	45
Figura 12.3.23. Pesado de muestra	45
Figura 12.3.24. Ejemplo Perfil longitudinal del cauce (Rivera, 2013).....	54
Figura 12.3.25. Draga	57
Figura 12.3.26. Draga en uso	57
Figura 12.3.27. Recolección de muestra con draga	57
Figura 12.4.1. Estaciones de medición	58
Figura 12.4.2. Río Platanar y volcán Chichonal	59
Figura 12.4.3. Zona de localización estación de monitoreo y control Platanar	60
Figura 12.4.4. Zona de medición Platanar	60
Figura 12.4.5. Platanar 18/Oct/2014	61
Figura 12.4.6. Platanar a) 13/Nov/2014; b) 14/Nov/2014	61
Figura 12.4.7. Sección transversal Platanar.....	62
Figura 12.4.8. Mediciones sobre sección Platanar.....	62
Figura 12.4.9. Puntos de monitoreo. Estación Platanar	62
Figura 12.4.10. Velocidad en planta.....	63
Figura 12.4.11. Campo de velocidades en la vertical.....	63
Figura 12.4.12. Sedimentograma Estación Platanar	64
Figura 12.4.13. Material del lecho	64
Figura 12.4.14. Detalle del material	64
Figura 12.4.15. Zona de localización estación de monitoreo y control Comuapa	65
Figura 12.4.16. Estaciones de monitoreo y control Río Comuapa.....	66
Figura 12.4.17. Estación Comuapa 16/Nov/2014.....	66
Figura 12.4.18. Estación Comuapa 17/Nov/2014.....	66
Figura 12.4.19. Estación Paredón.....	67
Figura 12.4.20. Estación Paredón.....	67
Figura 12.4.21. Sección transversal Comuapa.....	67
Figura 12.4.22. Mediciones sobre Puente en la estación Paredón.....	67
Figura 12.4.23. Puntos de medición Estación Comuapa.....	68
Figura 12.4.24. Puntos de medición Estación Paredón.....	68
Figura 12.4.25. Velocidad en planta.....	69

Figura 12.4.26. Campo de velocidades en la vertical.....	69
Figura 12.4.27. Sedimentograma Estación Comuapa.....	69
Figura 12.4.28. Sedimentograma Estación Paredón.....	69
Figura 12.4.29. Zonas de monitoreo 2002 – 2005 (Fuente: UJAT, 2005).....	71
Figura 12.4.30. Tendencia de las líneas de corriente sobre la bifurcación (2004).....	72
Figura 12.4.31. Tendencia de las líneas de corriente sobre la bifurcación (2010).....	73
Figura 12.4.32. Modificaciones que ha sufrido la zona.....	74
Figura 12.4.33. Sitios de medición bifurcación Mezcalapa-Samaria-Carrizal.....	74
Figura 12.4.34. Estación de medición Mezcalapa.....	75
Figura 12.4.35. Estación Mezcalapa.....	75
Figura 12.4.36. Estación Mezcalapa.....	75
Figura 12.4.37. Sistema de anclaje.....	76
Figura 12.4.38. Posicionamiento con guías.....	76
Figura 12.4.39. Puntos de medición Estación Mezcalapa.....	76
Figura 12.4.40. Zonas de medición sobre ríos Samaria y Carrizal.....	77
Figura 12.4.41. Velocidad en planta y transversal Estación Mezcalapa 01.....	78
Figura 12.4.42. Velocidad en planta y transversal Estación Mezcalapa 02.....	78
Figura 12.4.43. Velocidad en planta y transversal Estación Carrizal 01.....	78
Figura 12.4.44. Velocidad en planta y transversal Estación Carrizal 02.....	79
Figura 12.4.45. Velocidad en planta y transversal Estación Carrizal 03.....	79
Figura 12.4.46. Velocidad en planta y transversal Estación Carrizal 04.....	79
Figura 12.4.47. Velocidad en planta y transversal Estación Carrizal 05.....	80
Figura 12.4.48. Velocidad en planta y transversal Estación Samaria 01.....	80
Figura 12.4.49. Velocidad en planta y transversal Estación Samaria 02.....	80
Figura 12.4.50. Velocidad en planta y transversal Estación Samaria 03.....	81
Figura 12.4.51. Velocidad en planta y transversal Estación Samaria 04.....	81
Figura 12.4.52. Velocidad en planta y transversal Estación Samaria 05.....	81
Figura 12.4.53. Velocidad en planta y transversal Estación Samaria bifurcación.....	82
Figura 12.4.54. Hidrodinámica del sistema Mezcalapa – Samaria – Carrizal ($Q \approx 400 \text{ m}^3/\text{s}$)	82
Figura 12.4.55. Sedimentograma Estación Mezcalapa.....	83
Figura 12.4.56. Sedimentograma Estación Samaria.....	83
Figura 12.4.57. Sedimentograma Estación Carrizal.....	83
Figura 12.4.58. Distribución de caudales sólidos en el sistema.....	84



Figura 12.4.59. Confluencia Río Samaria y Río González	84
Figura 12.4.60. Zona de localización estación de monitoreo y control González.....	85
Figura 12.4.61. Zona de medición confluencia Samaria-González.....	86
Figura 12.4.62. González a) Aforo 1; b) Aforo 2.....	86
Figura 12.4.63. Sección transversal González.....	87
Figura 12.4.64. Sistema de Anclaje	87
Figura 12.4.65. Puntos de monitoreo. Confluencia Samaria – González.....	87
Figura 12.4.66. Velocidad en planta estación González.....	88
Figura 12.4.67. Campo de velocidades en la vertical estación González.....	88
Figura 12.4.68. Velocidad en Planta. Est. Samaria – Glez aguas abajo.....	89
Figura 12.4.69. Campo de velocidades en la vertical. Est. Samaria – Glez aguas abajo .	89
Figura 12.4.70. Velocidad en Planta. Est. Samaria – Glez aguas abajo.....	89
Figura 12.4.71. Campo de velocidades en la vertical. Est. Samaria – Glez aguas abajo .	89
Figura 12.4.72 Sedimentograma Estación Samaria Aguas arriba González	90
Figura 12.4.73 Sedimentograma Estación Samaria Aguas abajo González.....	90
Figura 12.4.74 Sedimentograma Estación González	90
Figura 12.4.75. Sistema Grijalva - Chilapilla	91
Figura 12.4.76. Zona de localización estación de monitoreo y control González.....	91
Figura 12.4.77. Chilapilla a) Aforo 1; b) Aforo 2	92
Figura 12.4.78. Sección transversal Grijalva.....	92
Figura 12.4.79. Sección Chilapilla.....	92
Figura 12.4.80. Velocidad en planta Río Grijalva	93
Figura 12.4.81. Campo de velocidades en la vertical, Río Grijalva.....	93
Figura 12.4.82. Velocidad en planta Río Chilapilla.....	93
Figura 12.4.83. Campo de velocidades en la vertical, Río Chilapilla	93
Figura 12.4.84 Sedimentograma Estación Grijalva	94
Figura 12.4.85 Sedimentograma Estación Chilapilla.....	94
Figura 12.4.86. Zona de localización Estación El Censo.....	95
Figura 12.4.87. Estación Hidrométrica El Censo.....	95
Figura 12.4.88. Puente vehicular El Censo	95
Figura 12.4.89. Zona de medición canal derivador El Censo	96
Figura 12.4.90. Aforo con equipo Doppler.....	96
Figura 12.4.91. Aforo con molinete Hidrométrico	96
Figura 12.4.92. Estructura derivadora El Censo.....	97

V.F.

Figura 12.4.93. Mediciones estructura derivadora El Censo	97
Figura 12.4.94. Velocidad en planta.....	98
Figura 12.4.95. Campo de velocidades en la vertical	98
Figura 12.4.96. Sedimentograma canal derivador El Censo	98
Figura 12.4.97. Material depositado en el canal derivador	99
Figura 12.5.1. Estructura de control Macayo.....	102
Figura 12.5.2. Corrimiento marginal en la bifurcación (Fuente: Fluvitecno S.A.)	104
Figura 12.5.3. Zona de estudio (Campo lejano)	108
Figura 12.5.4. Barrido batimétrico con sonda multihaz (Laguna de Pajaritos, Ver, México)	109
Figura 12.5.5. Empleo de Geotexture (Cortesía Konsberg Inc.).....	109
Figura 12.5.6. Estaciones de monitoreo de sedimentos. Campo Lejano	110
Figura 12.5.7. Zonas de monitoreo campo cercano	111
Figura 12.5.8 Zona de estudio y estaciones de monitoreo de sedimentos	119
Figura 12.5.9. Sistemas de ríos de la Sierra	124
Figura 12.5.10. Escotaduras sobre el río de la Sierra	128
Figura 12.5.11. Escotaduras sobre la zona lagunar los zapotes y margen derecha del río Grijalva	129
Figura 12.5.12. Escotaduras sobre la margen izquierda del río Grijalva.....	129
Figura 12.5.13. Mecanismos de transporte (ISO 4363).....	134
Figura 12.5.14. Perfil ideal de distribución de velocidad de la corriente y flujo de sólidos en suspensión. (Fuente: ISO 4363)	135
Figura 12.5.15. Perfil real de la distribución de flujo de sólidos en suspensión. (Fuente: Rivera <i>et al</i> , 2006)	136
Figura 12.5.16. Perfil real de la distribución de velocidad (Fuente: Rivera <i>et al</i> , 2006)...	136
Figura 12.5.17. Curvas	138
Figura 12.5.18. Puentes.....	138
Figura 12.5.19. Cambios de profundidad	138
Figura 12.5.20.Obstrucciones	138
Figura 12.5.21. Zonas con medición y zonas sin medición de sedimentos	140
Figura 12.5.22. Equipos de medición de sedimentos	141
Figura 12.5.23. Medición isocinética. Velocidad a la entrada del muestreador idéntica a la del flujo (Fuente: Thomas, 1999)	142
Figura 12.5.24. Muestreador DH-48.....	143

Figura 12.5.25. Mediciones DH-48.....	143
Figura 12.5.26. Muestreador DH-59.....	144
Figura 12.5.27. Mediciones DH-59.....	144
Figura 12.5.28. Muestreador DH-74.....	144
Figura 12.5.29. Mediciones con DH-74.....	144
Figura 12.5.30. Helley Smith Manual.....	145
Figura 12.5.31. Helley Smith varios.....	145
Figura 12.5.32. Draga de mano.....	147
Figura 12.5.33. Uso de draga.....	147
Figura 12.5.34. Muestreador US BMH-60.....	147
Figura 12.5.35. Muestreador US BMH-54.....	147
Figura 12.5.36. Muestreador perforador ligero.....	148
Figura 12.5.37. Muestreador perforador para tomas de material en zonas profundas (Adaptado de Thomas, 1999).	148
Figura 12.6.1. Diagrama de flujo de procedimientos de medición.....	155

4

12 ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SEDIMENTOS

12.1 INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista fluviomorfológico de los ríos, para lograr un buen entendimiento de su funcionamiento, se necesitan considerar y cuantificar a los sedimentos que son acarreados por el cauce. Su tipo, su tamaño (granulometría) y la manera en que se distribuyen, juegan un papel significativo en la estabilidad y escurrimiento de los mismos. Es muy común que obras hidráulicas fallen o no funcionen como son diseñadas por no tomar en cuenta la influencia de los sedimentos, y el hecho de que por los ríos no solo circula agua sino que se mueven y distribuyen también partículas sólidas.

Los ríos son elementos naturales que no pueden ser tratados como una estructura rígida e inerte de la ingeniería civil, como podría ser un puente o una carretera. El río tiene una dinámica fluvial y una interacción con el medio que lo ayuda a establecer un equilibrio natural entre él y las condiciones hidráulicas y sedimentológicas que lo rigen. Así cuando una de estas componentes se altera, el río sufre un desequilibrio y tiende a modificar sus condiciones de escurrimiento, lo que trae como consecuencias cambios en su geometría que ocasiona en la mayoría de los casos inundaciones.

La primera etapa para pronosticar los cambios que puede sufrir una corriente, se sustentan en un conocimiento lo mejor posible de las condiciones hidráulicas y sedimentológicas que están presentes de manera natural en el mismo. Entender estos fenómenos naturales es crucial para el diseño de obras hidráulicas, particularmente las de gran envergadura como son el caso de las presas y en obras de protección por salvaguardar vidas. En el primer caso, una barrera artificial es impuesta al escurrimiento natural del cauce, con lo cual el transporte natural de sedimentos se interrumpe.



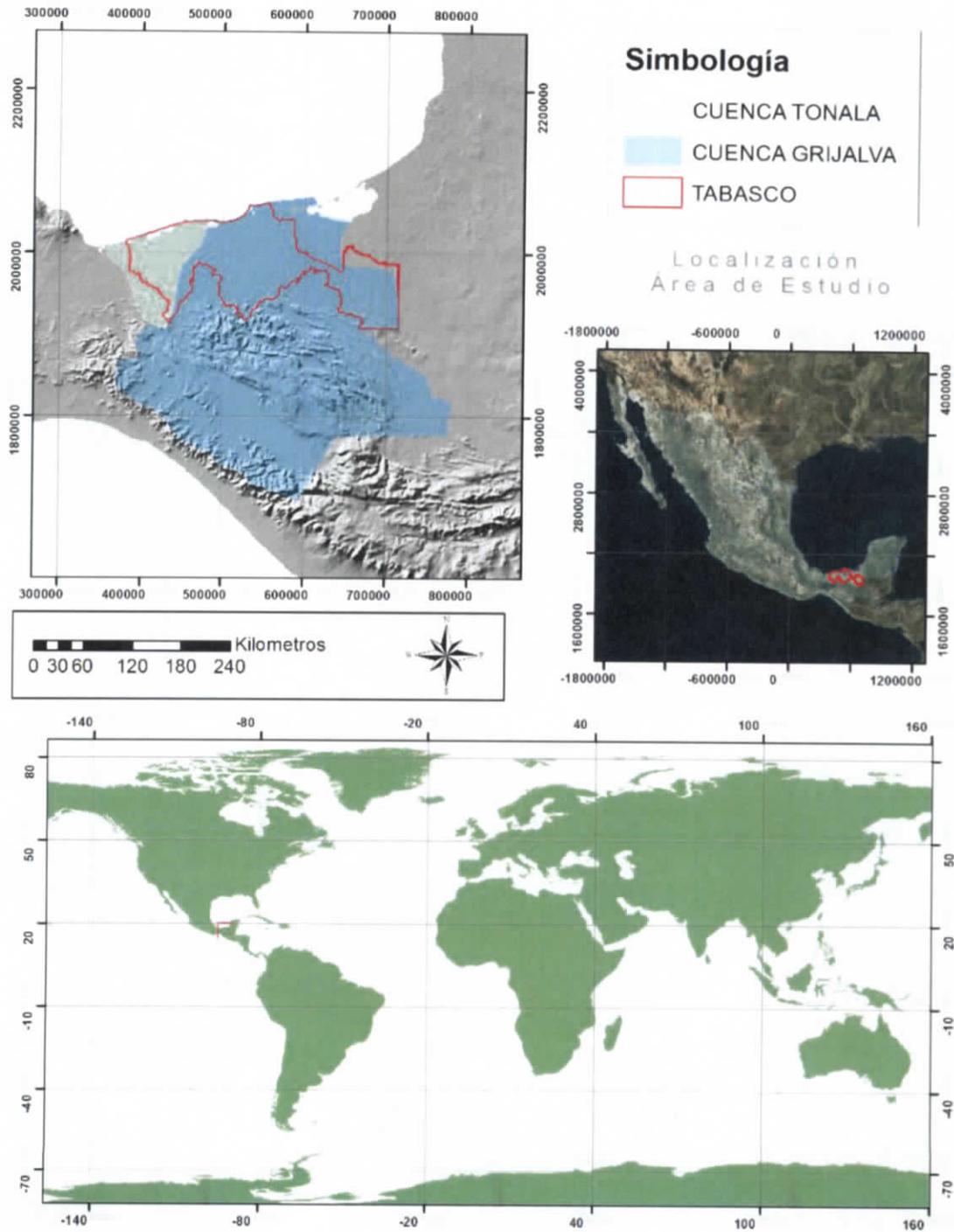
Esto trae como consecuencia que el río modifique sus condiciones de transporte sólido hacia aguas abajo, cambie las características del material transportado y las zonas de erosión y depósito se vean alteradas. Esto a su vez va íntimamente ligado con el estado de equilibrio ambiental y ecológico del mismo, pues es en los sedimentos donde se transportan los nutrientes y se concentran los contaminantes. Por ello, sus efectos son difíciles de restaurar, y requieren ante todo cambios en los sistemas de gestión del agua y en la ordenación del territorio de amplios sectores.

En el caso particular de este estudio se realizó una campaña de medición de sedimentos en 6 sitios piloto, los cuales incluyeron los procesos sedimentológicos, hidrodinámicos y geomorfológicos necesarios para entender el funcionamiento de los sistemas fluviales. Se generó con base en los resultados de la campaña de medición, una serie de estrategias para la caracterización de la dinámica fluvial de los principales ríos de Tabasco. Se incluyeron las técnicas y las frecuencias de medición de sedimentos, las mediciones hidrodinámicas, batimétricas y geomorfológicas, que son la base de los diagnósticos fluviales para el manejo, restauración y pronóstico de cambios en el sistema fluvial.

12.1.1 Zona de estudio

Localización. Las áreas de medición seleccionadas, se ubicaron en el estado de Tabasco, México (figura 12.1), y consideraron seis sitios de medición piloto: a) El río Platanar, coordenada norte 1948951.51 m N, coordenada este 459444.65 m E (figura 12.2); b) Río Comuapa, coordenada norte 1967192.75 m N, coordenada este 459273.83 m E (figura 12.3); c) Bifurcación Mezcalapa-Samaria-Carrizal, coordenada norte 1984837.90 m N, coordenada este 467661.35 m E (figura 12.4) ; Río Chilapilla, coordenada norte 2007238.31 m N, coordenada este 531619.32 m E (figura 12.5) y Río González, coordenadas norte 2027414.93 m N, coordenada este 509125.56 m E (figura 12.6) y la escotadura El Censo (figura 12.7) coordenadas norte 1977541.32 m N, coordenadas este 514014.24 m E, todas ellas se encuentran en la zona 15 N.

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACION DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)



VH

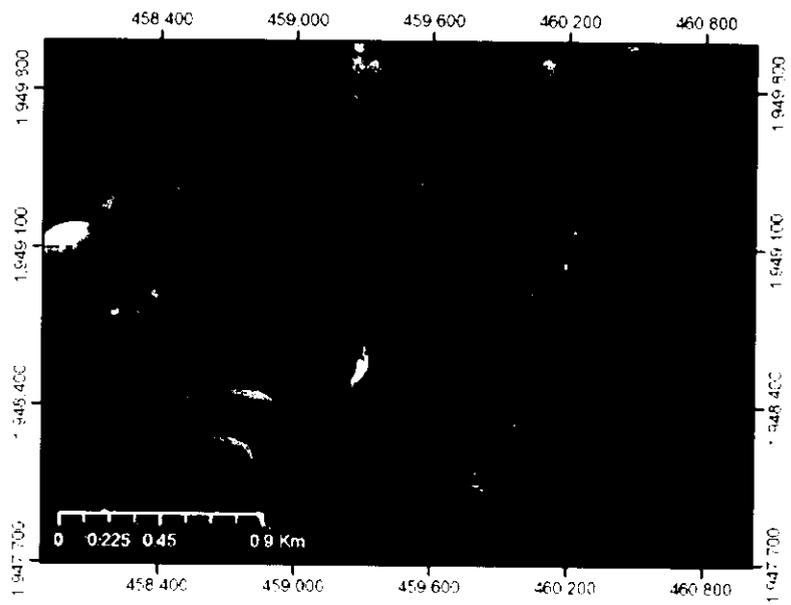


Figura 12.1.2. Sitio de muestreo Río Platanar

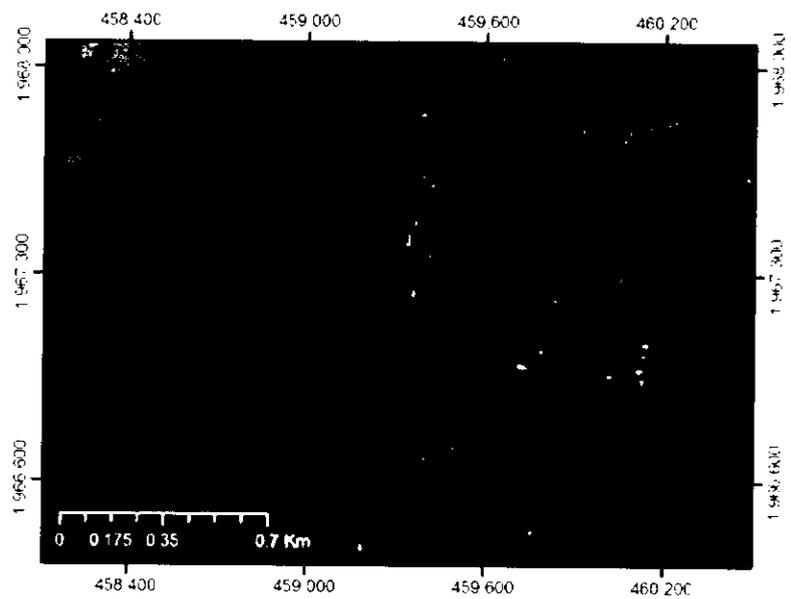


Figura 12.1.3. Sitio de muestreo Río Comuapa

6/11

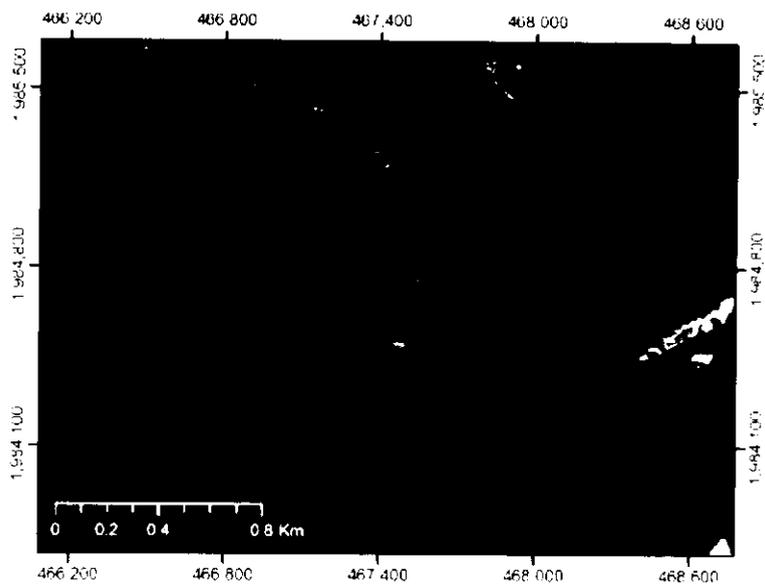


Figura 12.1.4. Sitio de muestreo Río Mezcalapa

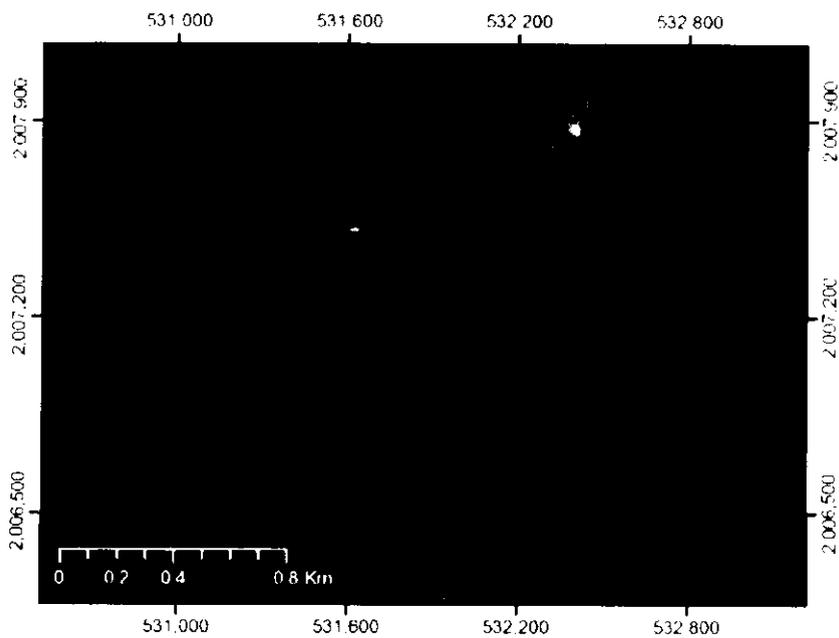


Figura 12.1.5. Sitio de muestreo Río Chilapilla

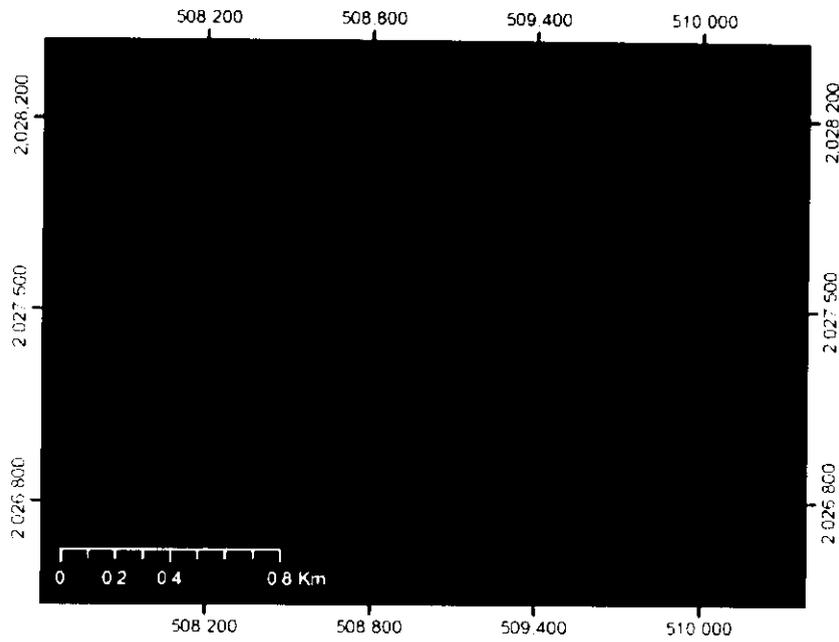


Figura 12.1.6. Sitio de muestreo Río González

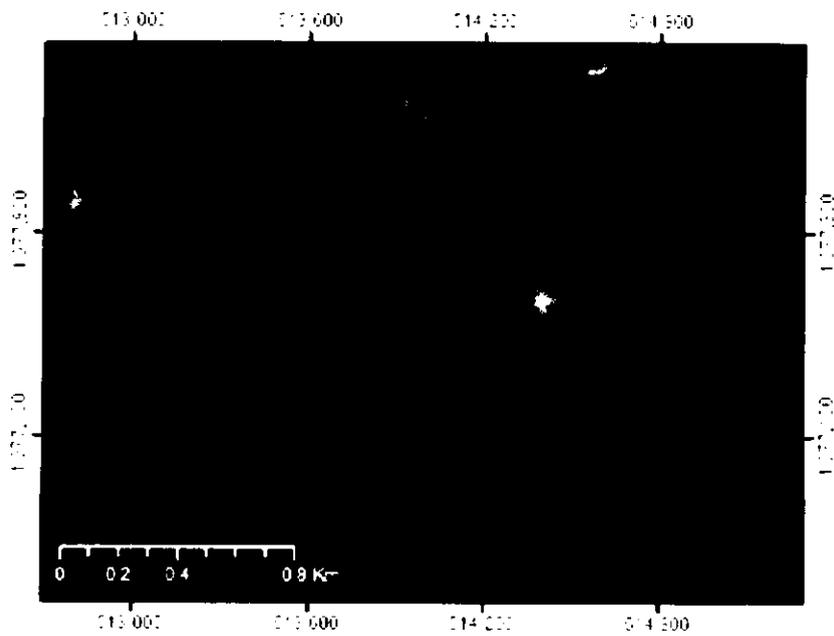


Figura 12.1.7. Sitio de muestreo Escotadura el Censo

6/17

12.1.2 Metodología

Se realizó la campaña de campo para la medición de sedimentos, tanto de fondo como en suspensión. Esto se realizó en los seis sitios de monitoreo propuestos. Durante los trabajos se tomaron fotografías y muestras para cuantificar el transporte de sedimentos. A continuación se describen cada uno de los procesos realizados.

La principal directriz de los estudios fue la evaluación del transporte de los sedimentos en los sitios piloto seleccionados en los distintos sistemas fluviales de Tabasco. El trabajo de campo se realizó durante la época de avenidas, ya que es la más significativa. Se realizaron al menos 2 aforos tanto sólidos como líquidos para caracterizar el tipo y cantidad de material transportado. En la tabla siguiente se resumen los trabajos realizados y las fechas de los mismos.

Tabla 12.1.1. Resumen de campaña de medición

ESTACION	POSICION DE GPS	ORDEN DE VOLETA (m)	FECHA	TIEMPO (h)	VOLUMEN DE MUESTRA (m³)	VOLUMEN DE SEDIMENTO (m³)	PESO DE SEDIMENTO (kg)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	CAUDAL ESTACION (m³/s)	Q (m³/día)	Q (m³/año)	GASTO SOLIDO DE SUSPENSION POR ESTACION (m³/año)
MIZCALAPA	P01	0.99	7	20	300.00	0.1	0.0109	0.924	489.75	15.32	9276.413	9,276.413
	P02	2.45	51	20	118.00	0.1	0.0115	0.811		15.32		
	P04	3.60	11	20	254.00	0.1	0.0170	1.272		15.32		
MIZCALAPA	6	2.40	100	20	249.00	0.1	0.0126	0.969	431.06	15.32	5513.974	8,853.734
	7	2.40	103	20	282.00	0.1	0.0107	0.78		15.32		
	8	3.84	102	20	761.00	0.1	0.0400	1.37		15.32		
	9	2.90	103	20	223.00	0.1	0.0074	1.4		15.32		
	10	1.80	104	20	242.00	0.1	0.0214	1.11		15.32		
	11	1.00	105	20	182.00	0.1	0.0095	1.34		15.32		
	106	1.00	106	20	240.00	0.1	0.0113	1.34		15.32		
CARRIZAL	C17	1.06	46	15	314.50	0.1	0.0087	1.069	162.63	20.43	716.511	4,166.043
	C13	1.45	78	15	325.00	0.1	0.0276	1.09		20.43	296.170	
	C14	1.33	81	15	345.00	0.1	0.0509	0.961		20.43	1086.638	
	C15	1.44	84	15	323.00	0.1	0.1391	0.809		20.43	882.383	
	C16	0.41	43	20	462.00	0.1	0.0108	0.613		15.32	217.447	
	C17	2.15	47	15	250.00	0.1	0.0148	0.48		20.43	1152.766	
CARRIZAL	CA18	1.28	53	40	310.00	0.1	0.0031	0.118	93.61	7.66	294.178	2,461.277
	C20	0.91	95	15	281.00	0.1	0.0474	1.016		20.43	379.915	
	C21	1.36	94	15	319.00	0.1	0.0066	1.068		20.43	843.362	
	C22	1.43	97	15	346.00	0.1	0.0062	0.982		20.43	580.170	
	C21	1.20	89	15	311.00	0.1	0.0284	0.71		20.43	490.213	
SAMARIA	S176	1.88	44	15	354.00	0.1	0.0537	2.01	223.74	16.21	173.617	6,076.596
	S27	2.14	3	10	258.00	0.1	0.0096	2.23		20.43	1536.000	
	S128	2.44	56	20	197.00	0.1	0.0064	1.31		20.64	2627.638	
	S129	1.67	27	33	210.00	0.1	0.0094	1.12		15.32	1121.362	
	S140	2.60	30	40	415.00	0.1	0.0149	0.82		15.32	0.000	
	S141	2.14	51.43	15	190.00	0.1	0.0857	1.167		10.21	296.596	
	S132	1.90	51.42	15	178.00	0.1	0.0134	2.24		20.43	1952.681	
SAMARIA	S133	1.10	51.43	20	115.00	0.1	0.0044	1.144	314.4	20.43	1552.100	8,480.681
	S134	1.50	51.44	20	340.00	0.1	0.0119	1.12		15.32	919.134	
	S135	1.45	51.35	30	174.00	0.1	0.0257	0.428		10.21	484.255	
	S138	1.40	50.18	20	305.00	0.1	0.0140	0.458		15.32	867.872	
	S139	1.75	50.19	15	310.00	0.1	0.0038	0.771		20.43	357.447	
	S140	1.10	50.40	15	343.00	0.1	0.0025	1.067		20.43	972.255	
PLATANAR	P44	0.11	46	40	396.00	0.1	0.0066	0.478	19.12	7.66	5.611	541.517
	P45	0.24	37	20	275.00	0.1	0.0323	0.500		15.32	24.486	
	P46	0.26	44	20	347.00	0.1	0.0049	0.758		15.32	26.527	
	P47	0.29	49	20	324.00	0.1	0.0611	0.742		15.32	29.587	
	P48	0.38	23	20	400.00	0.1	0.0064	0.632		15.32	38.770	
	P49	0.44	15	15	472.00	0.1	0.0070	0.585		20.43	50.855	
	P50	0.56	52	20	282.00	0.1	0.0349	0.585		15.32	42.884	
	P51	1.45	80	20	240.00	0.1	0.0106	0.692		15.32	111.064	
	P52	1.66	6	20	236.00	0.1	0.0069	0.664		15.32	127.149	
	P53	1.48	94	30	245.00	0.1	0.0069	0.571		10.21	75.574	
PLATANAR	P54	0.78	22	20	466.00	0.3	0.1151	0.8	174.2	45.96	268.851	2,812.820
	P56	0.89	12	20	346.00	0.2	0.0964	0.629		30.64	204.511	
	P57	1.04	2	15	350.00	0.1	0.0420	1.119		20.43	159.319	
	P58	1.35	24	15	490.00	0.2	0.1294	1.196		20.43	414.617	
	P59	1.87	31	15	360.00	0.2	0.1327	1.285		20.43	634.099	
	P60	2.62	13	15	312.00	0.2	0.1143	1.449		20.43	888.347	
P61	1.44	25	15	215.00	0.1	0.0620	1.13	20.43	244.126			

Handwritten signature or initials.

ESTACION	NUMERO DE C/P	FRANJE CUBIERTA (m)	CUBIERTA	TEMPO (s)	VOLUMEN DE MUESTRAS (ml)	VOLUMEN DE MUESTRAS (ml)	PROB DE VERIFICADO (l)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)	ELEVA ESTACION (m/2)	RS (m/2)	Q (m/2)	GASTO MEDIO DE SUSPENSIÓN POR ESTACION (m/2)						
CO 01	CO 62	1.00	CO 62	20	198.00	0.1	0.0122	0.241	34.97	15.32	457.447	1,592.936						
			CO 63	30	316.00	0.1	0.0243											
			CO 64	40	434.00	0.1	0.0364											
	CO 65	4.30	CO 65	20	198.00	0.1	0.0122											
			CO 66	30	316.00	0.1	0.0243											
			CO 67	40	434.00	0.1	0.0364											
	CO 68	1.81	CO 68	20	198.00	0.1	0.0122											
			CO 69	30	316.00	0.1	0.0243											
			CO 70	40	434.00	0.1	0.0364											
	CO 71	4.05	CO 71	20	198.00	0.1	0.0122											
			CO 72	30	316.00	0.1	0.0243											
			CO 73	40	434.00	0.1	0.0364											
PAREDON	PCO 65	1.20	PCO 65/1	20	198.00	0.1	0.0122	0.558	30	15.32	930.638	1,600.681						
			PCO 65/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 65/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	PCO 66	2.40	PCO 66/1	20	198.00	0.1	0.0122											
			PCO 66/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 66/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	PCO 67	3.20	PCO 67/1	20	198.00	0.1	0.0122											
			PCO 67/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 67/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	PCO 68	1.06	PCO 68/1	20	198.00	0.1	0.0122											
			PCO 68/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 68/3	40	434.00	0.1	0.0364											
PAREDON	PCO 72	1.70	PCO 72/1	20	198.00	0.1	0.0122	0.635	30.54	15.32	61.277	191.539						
			PCO 72/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 72/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	PCO 73	2.40	PCO 73/1	20	198.00	0.1	0.0122											
			PCO 73/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 73/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	PCO 74	1.70	PCO 74/1	20	198.00	0.1	0.0122											
			PCO 74/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 74/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	PCO 75	1.06	PCO 75/1	20	198.00	0.1	0.0122											
			PCO 75/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			PCO 75/3	40	434.00	0.1	0.0364											
GONZALEZ (camaraj)	G 77	4.80	G 77	20	198.00	0.1	0.0122	0.859	40.248	15.32	744.683	4,963.404						
			G 77/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			G 77/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	G 78	5.60	G 78	20	198.00	0.1	0.0122											
			G 78/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			G 78/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	G 79	5.30	G 79	20	198.00	0.1	0.0122											
			G 79/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			G 79/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	G 86	5.30	G 86	20	198.00	0.1	0.0122											
			G 86/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			G 86/3	40	434.00	0.1	0.0364											
G 88	5.50	G 88	20	198.00	0.1	0.0122												
		G 88/2	30	316.00	0.1	0.0243												
		G 88/3	40	434.00	0.1	0.0364												
G 89	4.90	G 89	20	198.00	0.1	0.0122												
		G 89/2	30	316.00	0.1	0.0243												
		G 89/3	40	434.00	0.1	0.0364												
CONJUNTO A GONZALEZ	CG 80	6.90	CG 80	20	198.00	0.1	0.0122	0.479	154.32	15.32	805.106	1,410.615						
			CG 80/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			CG 80/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	CG 81	5.20	CG 81	20	198.00	0.1	0.0122											
			CG 81/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			CG 81/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	CG 82	2.40	CG 82	20	198.00	0.1	0.0122											
			CG 82/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			CG 82/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	CONJUNTO A GONZALEZ	CG 90	6.50	CG 90	20	198.00	0.1						0.0122	1.1	151.18	15.32	765.957	2,014.468
				CG 90/2	30	316.00	0.1						0.0243					
				CG 90/3	40	434.00	0.1						0.0364					
CG 91		4.90	CG 91	20	198.00	0.1	0.0122											
			CG 91/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			CG 91/3	40	434.00	0.1	0.0364											
CG 92		2.50	CG 92	20	198.00	0.1	0.0122											
			CG 92/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			CG 92/3	40	434.00	0.1	0.0364											
UNION GONZALEZ		UG 83	5.70	UG 83	20	198.00	0.1	0.0122	1.15	406.86	15.32	1309.767	4,618.723					
				UG 83/2	30	316.00	0.1	0.0243										
				UG 83/3	40	434.00	0.1	0.0364										
	UG 84	6.00	UG 84	20	198.00	0.1	0.0122											
			UG 84/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			UG 84/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	UG 85	6.40	UG 85	20	198.00	0.1	0.0122											
			UG 85/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			UG 85/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	UG 94	5.40	UG 94	20	198.00	0.1	0.0122											
			UG 94/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			UG 94/3	40	434.00	0.1	0.0364											
UG 95	6.40	UG 95	20	198.00	0.1	0.0122												
		UG 95/2	30	316.00	0.1	0.0243												
		UG 95/3	40	434.00	0.1	0.0364												
GRUAIWA	GR 96	2.80	GR 96	20	198.00	0.1	0.0122	1.15	356.94	15.32	1685.106	5,837.957						
			GR 96/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			GR 96/3	40	434.00	0.1	0.0364											
	GR 97	3.40	GR 97	15	300.00	0.1	0.0143											
			GR 97/2	15	290.00	0.1	0.0159											
			GR 97/3	15	300.00	0.1	0.0143											
	GR 98	4.00	GR 98	20	198.00	0.1	0.0122											
			GR 98/2	20	198.00	0.1	0.0122											
			GR 98/3	20	198.00	0.1	0.0122											
	GR 99	7.10	GR 99	60	424.00	0.1	0.0401											
			GR 99/2	60	424.00	0.1	0.0401											
			GR 99/3	60	424.00	0.1	0.0401											
GRUAIWA	GR 103	2.70	GR 103	20	198.00	0.1	0.0122	0.637	272.65	15.32	1775.489	5,461.277						
			GR 103/2	30	316.00	0.1	0.0243											
			GR 103/3	30	316.00	0.1	0.0243											
	GR 104	5.80	GR 104	20	198.00	0.1	0.0122											
			GR 104/2	20	198.00	0.1	0.0122											
			GR 104/3	20	198.00	0.1	0.0122											
	GR 105	3.80	GR 105	20	198.00	0.1	0.0122											
			GR 105/2	20	198.00	0.1	0.0122											
			GR 105/3	20	198.00	0.1	0.0122											
	GR 106	6.40	GR 106	40	300.00	0.1	0.0313											
			GR 106/2	40	286.00	0.1	0.0334											
			GR 106/3	40	270.00	0.1	0.0354											
PUENTE CHIAPIPIA	CH 100	2.80	CH 100	20	198.00	0.1	0.0122	0.678	20.56	15.32	857.877	1,531.915						
			CH 100/2	20	198.00	0.1	0.0122											
			CH 100/3	20	198.00	0.1	0.0122											
	CH 101	2.80	CH 101	20	198.00	0.1	0.0122											
			CH 101/2	20	198.00	0.1	0.0122											
			CH 101/3	20	198.00	0.1	0.0122											
	CH 102	1.60	CH 102	20	198.00	0.1	0.0122											
			CH 102/2	20	198.00	0.1	0.0122											
			CH 102/3	20	198.00	0.1	0.0122											
	PUENTE CHIAPIPIA	CH 107	2.60	CH 107	40	306.00	0.1						0.0282	0.532	31.76	7.66	398.798	697.021
				CH 107/2	40	308.00	0.1						0.0278					
				CH 107/3	40	305.00	0.1						0.0282					
CH 108		2.60	CH 108	40	306.00	0.1	0.0282											
			CH 108/2	40	305.00	0.1	0.0282											
			CH 108/3	40	306.00	0.1	0.0282											
CH 109		1.30	CH 109	40	292.00	0.1	0.0313											
			CH 109/2	40	292.00	0.1	0.0313											
			CH 109/3	40	292.00	0.1	0.0313											

12.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

12.2.1 Reporte de la campaña de mediciones

Aforo líquido

La determinación del material transportado tanto en suspensión como de fondo, exige el conocimiento del caudal líquido circulante en el momento de la medición. Con esta finalidad se llevó a cabo el aforo líquido y la medición de niveles de la superficie libre del agua (NSLA) de manera simultánea durante el aforo del gasto sólido. Se emplearon distintos equipos de aforo, esto dependió de las condiciones de la sección transversal a medir, en la tabla 12.2.1 se muestran los equipos con que se realizó esta campaña de medición.

Tabla 12.2.1. Equipos de aforo líquido

Equipo	Características de la sección	Imagen
Medidor acústico Doppler (ADCP) Rivercat	Se emplea para aforo continuo, en secciones que tengan un tirante mínimo medio mayor a 0.70m	
Medidor acústico Doppler (ADCP) Streampro	Se emplea para aforo continuo, en secciones que tengan un tirante mínimo de hasta a 0.02m	

Equipo	Características de la sección	Imagen
Molinete hidrométrico M11	Se emplea para aforo por vadeo, con secciones que tengan un tirante mínimo medio menor a 0.70m	

En la tabla 12.2.2, se resumen los trabajos de aforo líquido. Mientras que en la tabla 12.2.3, se muestran las secciones aforadas con el medidor acústico Doppler (ADP).

Tabla 12.2.2. Escalas y caudales

ESTACIÓN	HORA DE INICIO DEL AFORO	HORA FINAL DEL AFORO	ESCALA INICIAL (msnm)	ESCALA FINAL (msnm)	$h_{\text{med}} \text{ (msnm)}$	CAUDAL (m^3/s)	CAUDAL SÓLIDO DE FONDO ESTACIÓN (m^3/d)	GASTO SÓLIDO DE SUSPENSIÓN POR ESTACIÓN (m^3/d)
Censo	6:40	10:10	6.30	6.40	6.350	134.53	S/M	21,380.630
Platanar	11:05	14:00	33.789	33.80	33.794	19.12	25.117	541.517
Platanar	11:47	17:00	34.559	34.659	34.609	124.2	398.975	2,812.820
Comuapa	9:30	10:42	26.075	26.075	26.075	34.97	1.165	1,592.936
Comuapa	9:45	10:36	26.075	26.075	26.075	39	28.100	1,600.681
Paredón	12:03	16:00	21.031	21.031	21.031	38.59	S/M	175.182
Paredón	12:00	16:00	21.091	21.031	21.061	38.59	S/M	191.539
Mezcalapa	9:00	16:05	16.705	16.695	16.700	489.75	1,528.532	9,276.413
Mezcalapa	9:35	16:30	16.685	16.665	16.675	431.06	2,585.427	8,853.734
Carrizal 02	10:20	16:40	16.505	16.495	16.500	93.61	456.171	2,461.277
Carrizal 01 y 02			16.535	16.535	16.535	112.46		
Carrizal 03			16.535	16.535	16.535	1.86		
Carrizal 04	8:30	16:10	16.535	16.535	16.535	29.71	831.429	4,166.043
Carrizal 05			16.535	16.535	16.535	18.6		
Samaria 01	10:20	16:40	16.505	16.495	16.500	223.24	133.176	6,076.596
Samaria Bifurcación	10:20	16:40	16.505	16.485	16.495	399.45	S/M	S/M
Samaria (01,02,03,04,05)	8:40	15:30	16.505	16.485	16.495	314.4	1,220.473	8,480.681
Samaria - Aguas arriba Gonzalez	9:09	12:17	1.933	1.933	1.933	402.38	42.857	4,963.404
Samaria - Aguas arriba Gonzalez	9:26	11:11	1.933	1.933	1.933	418.4	125.544	4,539.574
González	12:50	14:05	1.813	1.813	1.813	154.32	0.010	1,410.615
González	11:28	12:11	1.813	1.813	1.813	151.18	0.415	2,014.468
Samaria - Aguas abajo Gonzalez	15:04	16:30	1.793	1.793	1.793	466.86	118.968	4,618.723
Samaria - Aguas abajo Gonzalez	12:31	13:55	1.793	1.793	1.793	502.27	86.696	4,488.511
Grijalva	11:06	13:30	1.169	1.169	1.169	356.94	63.171	5,837.957
Grijalva	10:11	12:05	1.669	1.669	1.669	272.65	58.444	5,461.277
Chilapilla	1:45	15:30	1.669	1.669	1.669	20.56	0.972	1,531.915
Chilapilla	12:27	13:52	1.669	1.669	1.669	11.26	0.130	697.021

VF

Tabla 12.2.3. Aforo con ADP

ESTACIÓN	Mezcalapa01	Mezcalapa02	Mezcalapa 01	Mezcalapa 02
CAUDAL (m ³ /s)	<u>239.46</u>	<u>223.13</u>	<u>265.49</u>	<u>131.28</u>
	<u>275.83</u>	<u>208.89</u>	<u>295.44</u>	<u>151.80</u>
	<u>321.12</u>	<u>208.21</u>	<u>260.65</u>	<u>142.96</u>
		<u>205.05</u>	<u>336.23</u>	<u>140.40</u>
		<u>209.43</u>		
GASTO PROMEDIO (m ³ /s)	278.80	210.94	289.45	141.61
GASTO PROMEDIO TOTAL (m ³ /s)	489.75		431.06	

ESTACIÓN	Carrizal 01	Carrizal 02	Carrizal 03	Carrizal 04	Carrizal 05
CAUDAL (m ³ /s)	<u>9.86</u>	<u>102.02</u>	<u>1.77</u>	<u>28.73</u>	<u>20.00</u>
	<u>9.34</u>	<u>99.34</u>	<u>1.84</u>	<u>29.83</u>	<u>17.64</u>
	<u>9.17</u>	<u>104.93</u>	<u>1.48</u>	<u>31.32</u>	<u>17.80</u>
	<u>9.55</u>	<u>105.55</u>	<u>2.10</u>	<u>29.17</u>	<u>18.52</u>
	<u>9.58</u>		<u>2.11</u>	<u>29.49</u>	<u>19.06</u>
GASTO PROMEDIO (m ³ /s)	9.50	102.96	1.86	29.71	18.60
GASTO PROMEDIO TOTAL (m ³ /s)	162.63				

ESTACIÓN	Samaria Bifurcación	Samaria 01	Samaria 02	Samaria 03	Samaria 04	Samaria 05
CAUDAL (m ³ /s)	<u>399.45</u>	<u>227.51</u>	<u>10.30</u>	<u>3.29</u>	<u>10.40</u>	<u>64.01</u>
		<u>226.76</u>	<u>11.82</u>	<u>3.99</u>	<u>10.92</u>	<u>58.68</u>
			<u>11.15</u>	<u>5.75</u>	<u>12.12</u>	
			<u>9.81</u>	<u>4.48</u>	<u>10.50</u>	
					<u>9.85</u>	
GASTO PROMEDIO (m ³ /s)	399.45	227.14	10.77	4.38	10.76	61.35
GASTO PROMEDIO TOTAL (m ³ /s)	399.45	314.39				

VF

En el anexo A.12.1. Hojas de campo, se incluyen las hojas de campo generadas durante la campaña de medición, e incluyen tanto aforos líquidos como sólidos.

12.2.2 Reporte fotográfico de la campaña de mediciones

A continuación se muestra el reporte fotográfico por día de la campaña de mediciones



VF

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACION DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)



Figura 12.2.1. Trabajo de campo escotadura el Censo



Figura 12.2.2. Visita de reconocimiento Sistema Mezcalapa





Figura 12.2.3. Trabajo de campo Río Platanar



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)



Figura 12.2.4. Prueba de grúa Puesto Samaria





Figura 12.2.5. Trabajo de campo Río Mezcalapa

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACION DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)



Figura 12.2.6. Trabajo de campo Río Mezcalapa



Figura 12.2.7. Trabajo de campo Río Carrizal

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

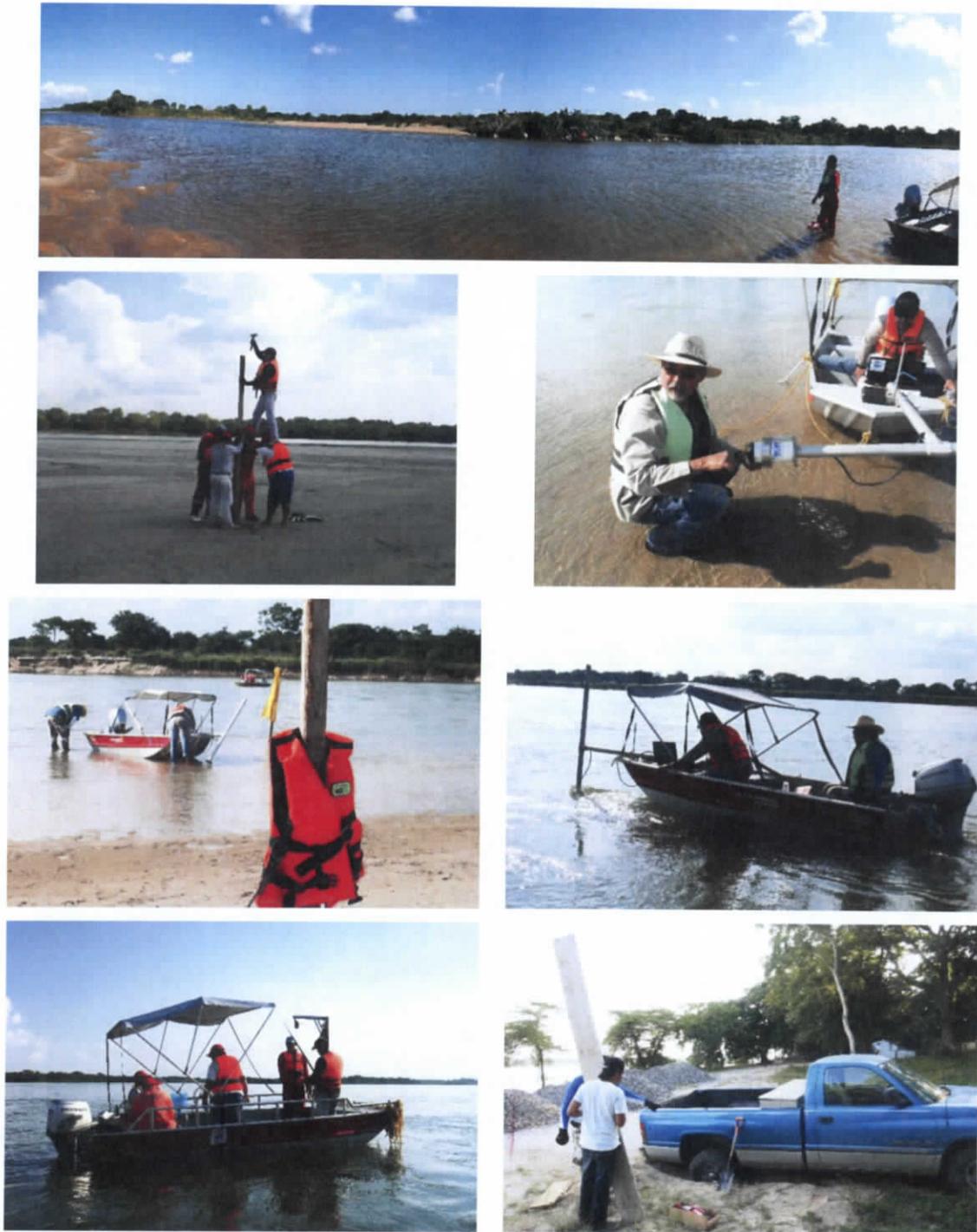


Figura 12.2.8. Trabajo de campo Río Samaria y Carrizal



Figura 12.2.9. Trabajo de campo Río Samaria

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)



Figura 12.2.10. Trabajo de campo Río Platanar

CF



Figura 12.2.11. Trabajo de campo Río Platanar

A handwritten signature or set of initials in black ink, located in the bottom right corner of the page.

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)



Figura 12.2.12. Trabajo de campo Río Comuapa y Paredón

Handwritten signature or initials.



Figura 12.2.13. Trabajo de campo Río Comuapa y Paredón

CF

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)



Figura 12.2.14. Trabajo de campo Río González

UF



Figura 12.2.15. Trabajo de campo Río González

A handwritten signature or mark in the bottom right corner of the page.

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)



Figura 12.2.16 Trabajo de campo Río Chilapilla

UFE



Figura 12.2.17. Trabajo de campo Río Chilapilla

UF

12.3 ESTIMACIÓN DEL BALANCE DE SEDIMENTOS

Se realizó la campaña de campo para la medición de sedimentos, tanto de fondo como en suspensión. Esto se realizó en los seis sitios de monitoreo propuestos. Durante los trabajos se tomaron fotografías y muestras para cuantificar el transporte de sedimentos.

Sedimentos en suspensión

Los sedimentos en suspensión que provienen del fondo y márgenes del cauce, se recolectaron por medio un muestreador DH-48 (Figura 12.3.1a), DH-59 (Figura 12.3.1b) o DH-74 (Figura 12.3.1c), esto dependiendo de las características del flujo presentes al momento de la medición (Figura 12.3.1d). Para tal fin la sección transversal del cauce se divide en dovelas, donde se sumerge y emerge el dispositivo de medición por un tiempo t . La selección de las dovelas se llevó aplicando el criterio de homogeneidad; es decir, donde existiera una uniformidad de las magnitudes de velocidades del río en el momento del aforo. Un ejemplo se muestra en la figura 12.3.2, donde se aprecia: a) el campo de velocidades medido, del cual para el caso en particular se destacan b) tres zonas: una en margen derecha con velocidades medias del orden de 0.5m/s; una en la parte central con velocidades del orden de 0.75m/s, y una más en la margen izquierda con velocidades del orden de 0.2m/s.

Aplicando la ecuación de continuidad que dice que $Q = VA$ y re arreglándola en términos de unidad de ancho y por dovela, la ecuación queda como:

$$q_{si} = \frac{V}{A_B t} \quad (1)$$

Dónde:

q_{si} Transporte de sedimento en suspensión por unidad de ancho $\left(\frac{m^3}{d-m^2}\right)$

V Volumen de la muestra, (m^3)

A_B Área de la boquilla del muestreador (DH-48, 59 o 74), (m^2)

t Tiempo de muestreo, (días)



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12.3.1. a) DH-48; b) DH-59; c) DH-74; d) Variedad

Las características del muestreador y las variables involucradas se describen en la figura 12.3.3, que muestra un esquema del muestreador DH-48 en operación. El principio de operación para los muestreadores DH-59 y DH-74 es el mismo, la diferencia está en el peso del muestreador y la manera de sostenerlo, en el primer caso es por medio de una cuerda (Figura 12.3.4a) y en el segundo es a través de una grúa (Figura 12.3.4b).

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

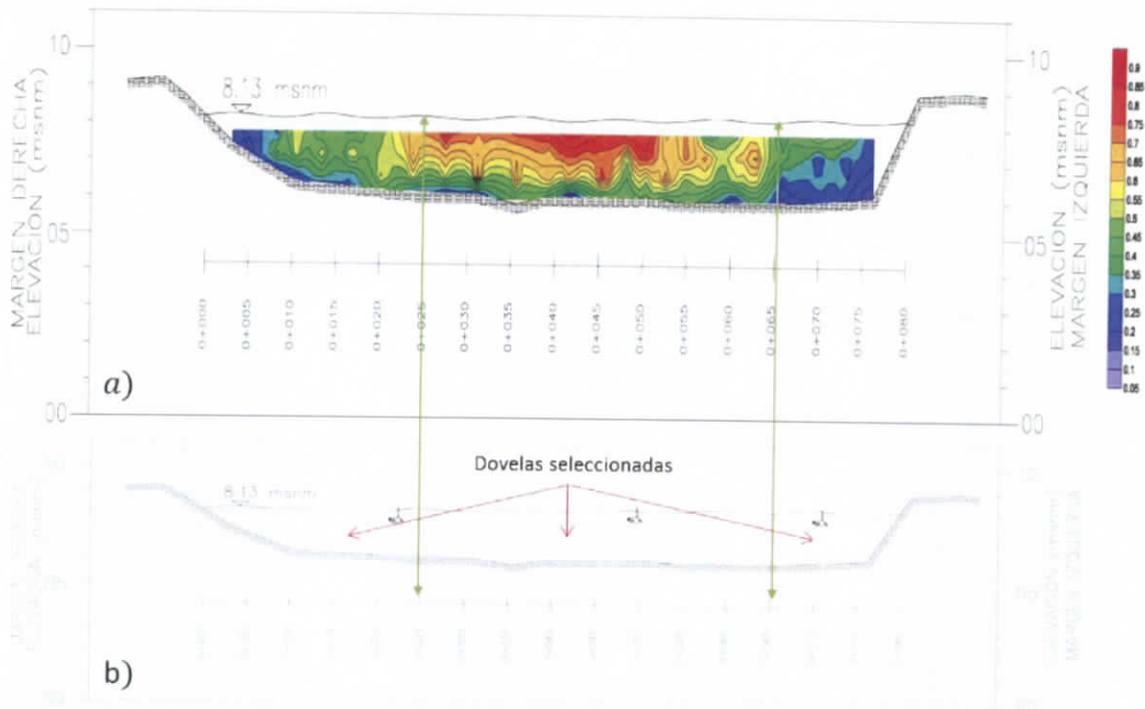


Figura 12.3.2. Generación de Isotácas y selección de dovelas

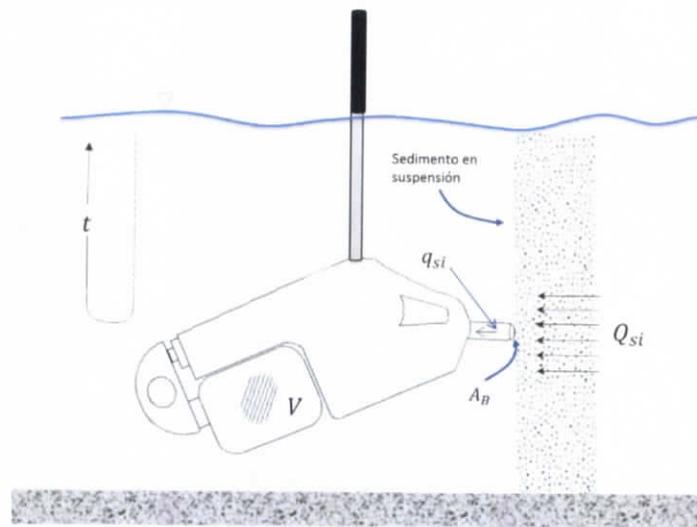


Figura 12.3.3- Muestreador de sedimento en suspensión DH-48

CF



(a)

(b)

Figura 12.3.4. a) Muestreador DH-59; b) Muestreador DH-74

Para determinar el volumen de sedimento en suspensión, se siguió la *metodología de la determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales* detallada en la norma NMX-AA-034-SCFI-2001.

El gasto sólido en suspensión para cada una de las dovelas seleccionada (Figura 12.24), se determinó como:

$$Q_{si} = q_{si}A_D \quad (2)$$

Donde:

Q_{si} Gasto sólido en suspensión de la dovela, en m^3/d

q_{si} Gasto sólido de suspensión en el muestreador, en $\frac{m^3}{d-m^2}$

A_D Área de la dovela seleccionada, en m^2

El transporte total de sedimentos de suspensión de la sección transversal (Figura 12.3.5), se determinó sumando todos los Q_{si} , quedando:

$$Q_s = \sum Q_{sij} \quad (3)$$

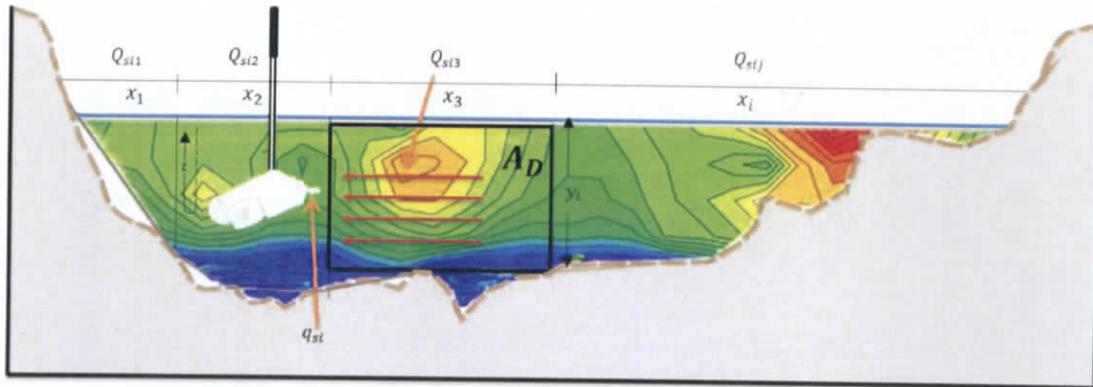


Figura 12.3.5. Gasto sólido en suspensión Q_{si} para cada dovela.

Sedimentos de fondo

En el aforo de sólidos de fondo se empleó el muestreador de fondo Helley-Smith (H-S) (Emet, 1990), con mango extensible (Figura 12.3.6a); con pesos de: 20lb H-S 8020 (Figura 12.3.6b); 40lb H-S 8040 (Figura 12.3.6c) y 65lb H-S 8065 (figura 12.3.6d). El tipo y peso del muestreador se determina de acuerdo a las condiciones del flujo presentes durante la medición (Figura 12.3.6e).

Para la determinación del gasto sólido de fondo por cada sección transversal de las estaciones de monitoreo, se realizó el siguiente procedimiento: A partir de los datos de velocidad medidos con el Perfilador Acústico Doppler o el molinete hidrométrico, se obtuvieron las velocidades en toda la sección, y a partir de estas se construyeron las isotácas. La ventaja de obtener el campo de velocidades, es que permiten tener una visión más panorámica de la distribución en toda la sección transversal, lo que ayuda al establecimiento de la dovela, pero no a partir de longitudes equivalentes, sino a partir de velocidades homogéneas. De esta manera se establecen el número de dovelas que cumplan con el criterio de homogeneidad (figura 12.3.7a). Por ejemplo se observa en la figura 12.3.7b, que en la dovela x_1 existe homogeneidad en las magnitudes de velocidades; mientras que, en la dovela x_2 cambian las magnitudes como se muestra en la escala de colores. Por último, se recolectan una o dos muestras de material de arrastre de fondo con el muestreador H-S, y se relaciona con las dovelas seleccionadas para determinar el volumen de sedimentos que son transportados.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

UK

Figura 12.3.6. A) H-S con mango extensible; b) H-S 8020; c) H-S 8040; d) H-S 8065 e) Variedad de medidores de fondo

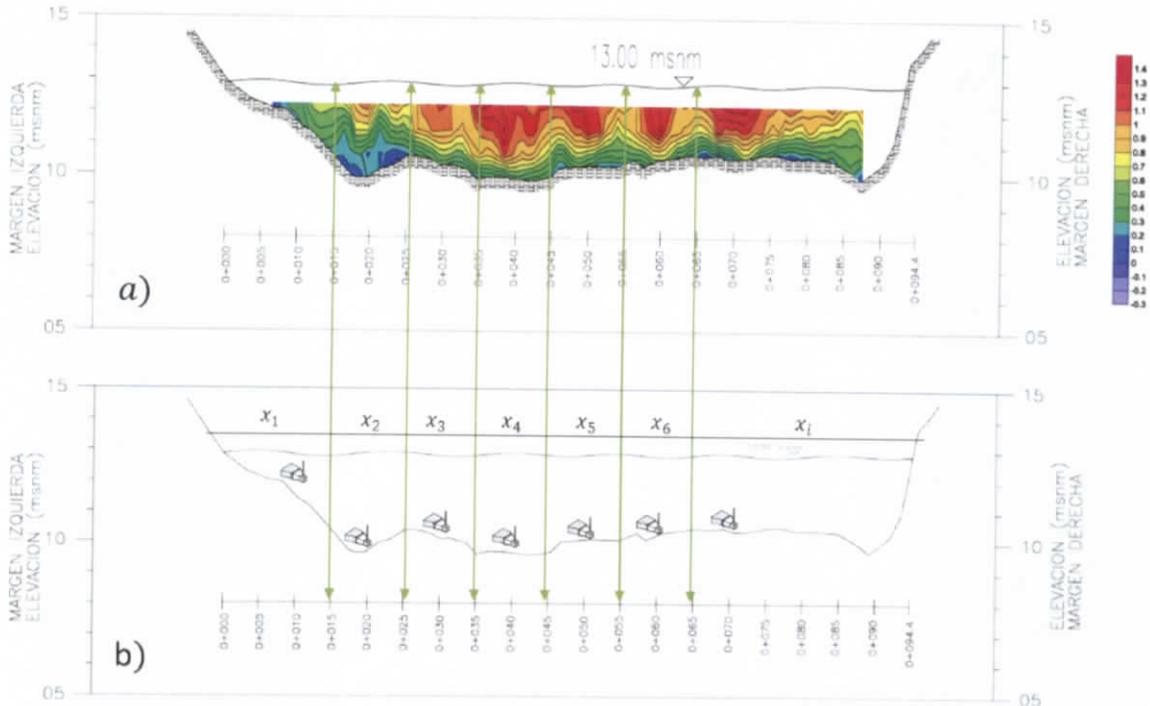


Figura 12.3.7. Empleo de muestreador Helley-Smith a) Isotácas b) Dovelas

El cálculo del transporte de sedimentos de fondo por unidad de ancho, se realiza a partir de las muestras tomadas en la vertical de cada dovela de la sección transversal con el muestreador Helley-Smith (figura 12.3.8) y se calcula a partir de la ecuación de continuidad:

$$q_{fi} = \frac{V}{bt} \quad (4)$$

Dónde:

q_{fi} Transporte de sedimento de fondo en el muestreador, $(\frac{m^3}{d-m})$

V Volumen de la muestra, (m^3)

b Ancho de la entrada del muestreador Helley-Smith, (m)

t Tiempo de muestreo, $(días)$

UK

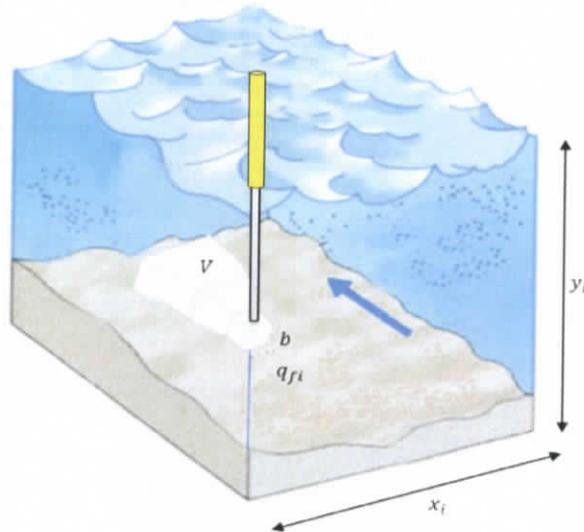


Figura 12.3.8. Muestreador de sedimento de fondo Helley - Smith.

Para varias muestras tomadas con el H-S en una misma vertical, se toma el promedio de transporte de fondo; por lo tanto, la ecuación 4 se reescribe como:

$$q_{fiProm} = \frac{1}{n} \sum_1^n q_{fi} \quad (5)$$

El gasto sólido de fondo para cada dovela seleccionada de acuerdo al criterio de homogeneidad (figura 12.3.7), se determina como:

$$Q_{fi} = q_{fiProm} x_i \quad (6)$$

Dónde:

Q_{fi} Gasto sólido de fondo en la dovela, en m^3/d

q_{fiProm} Promedio del transporte de fondo del muestreador, en $\frac{m^3}{d-m}$

x_i Ancho de la dovela, en m

UF

El transporte total de sedimentos de fondo en la sección del cauce (figura 12.3.9), se determina sumando todos los Q_{fi} ; quedando como:

$$Q_f = \sum Q_{fi} \quad (7)$$

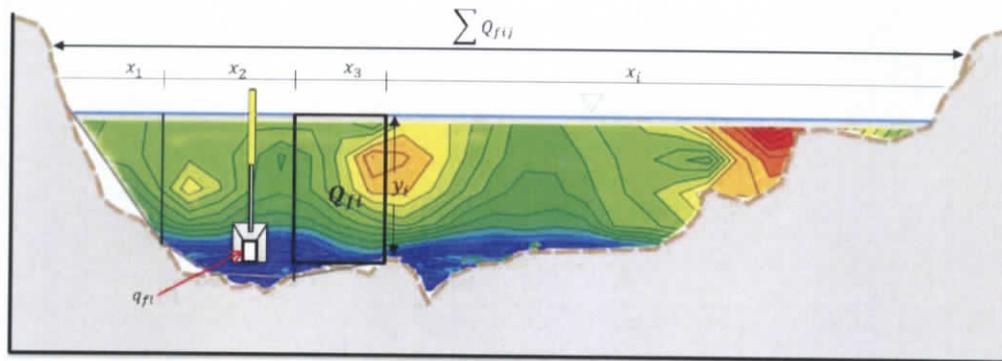


Figura 12.3.9. Gasto de fondo Q_{fi} por dovela

12.3.1 Parámetros de gasto sólido y gasto líquido

El caudal sólido y líquido que circula en un río puede estar en equilibrio o no. Es decir existe una relación íntimamente ligada entre el caudal líquido y la cantidad de material transportado por la corriente, cuando esta relación se altera, ocurren desequilibrios en el sistema, por lo cual éste responde y trata de ajustarse nuevamente a una condición estable.

En el caso de los desequilibrios, si el cauce lleva una carga sólida en exceso (sobrealimentación) o un déficit de sólidos (subalimentación), se producen cambios en el cauce traducidos en procesos de sedimentación o erosión.

Estos desequilibrios se representan bajo la analogía de la balanza de Lane (1955), quien propuso un conjunto de 4 variables: el caudal líquido (Q_w), el caudal sólido (Q_s), el tamaño de sedimento (D_{50}) y la pendiente del fondo (S_0), y las dispuso como una analogía en una balanza (Figura 12.3.10).

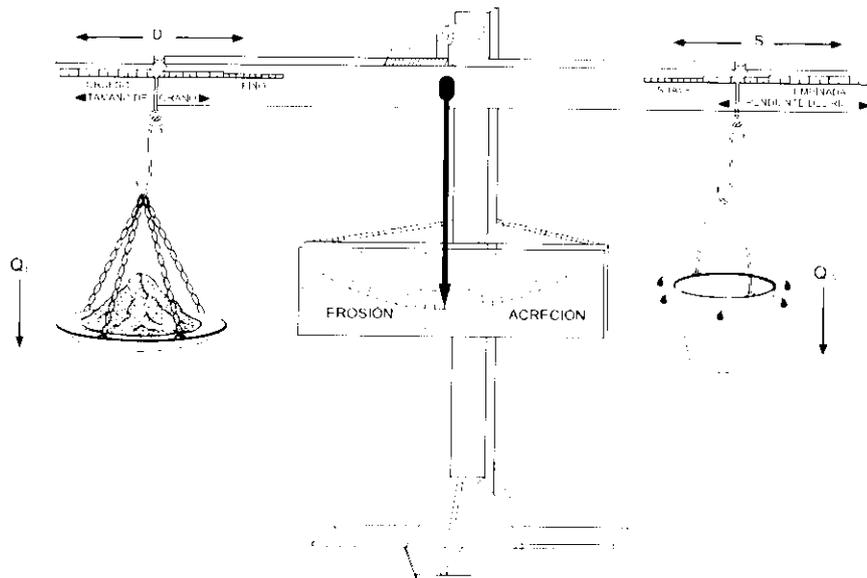


Figura 12.3.10. Analogía de la balanza de Lane (Chorley et al, 1985)

El cociente S_0/D entre los brazos de la balanza, indican la sensibilidad o grado de estabilidad del cauce. En el caso de cambios en el caudal, como pueden ser los debidos a la construcción de alguna obra hidráulica como puede ser una central hidroeléctrica o presa, serían considerados como causa de desequilibrio, y en el caso de que sea grande, los efectos que se esperarían en el río serían intensos (río inestable), y si es pequeño los efectos que se producirían serían de poca intensidad (río estable). El restablecimiento del equilibrio significa un cambio en la pendiente que en el primer caso sería fuerte y suave en el segundo.

Por lo tanto para diagnosticar el funcionamiento de un río se necesitan conocer con la mayor precisión posible estas cuatro variables: caudal líquido, caudal sólido, granulometría y pendiente topográfica.

En el A.12.1, *Hojas de campo*, se anexan todas las hojas de campo con las mediciones realizadas por día.

10/10

12.3.2 Caracterización de los materiales

La caracterización de los materiales para los suelos no cohesivos consiste en determinar su tamaño representativo. Para tal fin se lleva a cabo el análisis granulométrico, en el cual el material se separa y clasifica por tamaños. Existen diferentes procedimientos que permiten conocer la distribución granulométrica de un suelo; en el caso de los suelos formados de partículas gruesas el procedimiento más común es el de tamizado. El análisis granulométrico por tamizado se realiza con partículas de suelo retenidas de hasta un tamaño de 0.074 mm, y consiste en hacer pasar el suelo a través de un juego de tamices con aberturas conocidas. Así, el tamaño o diámetro de la partícula queda definido por la dimensión lateral o lado de la abertura cuadrada del tamiz, por donde no alcanza a pasar. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0.074 mm, se utiliza el método de análisis mecánico por tamizado mediante tamices de abertura y numeración indicada como se muestra en la tabla 12.3.1.

Tabla 12.3.1. Numeración y abertura de tamices

Malla No.	Abertura (mm)	Tipo de suelo
3/4"	19.050	Grava
1/2"	12.700	
3/8"	9.520	
1/4"	6.350	
4	4.750	Arena gruesa
8	2.380	
10	2.000	Arena media
16	1.190	
20	0.840	
30	0.590	
40	0.420	
50	0.279	Arena fina
60	0.250	
100	0.149	
200	0.074	

El equipo necesario consiste en un juego de tamices de acuerdo a la tabla anterior; balanzas con capacidades de hasta 2000 g y con precisión de 0.1g; horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$; un vibrador mecánico; herramientas y accesorios; bandeja metálica, poruña, recipientes plásticos y escobilla.

Procedimiento: inicialmente se lavan las muestras recolectadas de suelo (Fig. 12.3.11a) colocándolo como filtro la malla N° 200 hasta observar que el agua salga limpia. El material retenido en la malla se deposita en vasos de aluminio de 1,000ml de capacidad evitando la menor pérdida de material (Fig. 12.3.11b). Posteriormente, las muestras se secan a una temperatura constante de 85°C durante un periodo de tiempo de al menos 24 horas (Fig. 12.3.11c). Cumplido el periodo de secado se apaga el horno, se retiran y se deja enfriar el material hasta que alcance una temperatura constante, se vacía el contenido del vaso en una balanza y se registra como peso total de la muestra anotándolo en un formato correspondiente (Fig. 12.3.11d). Después se deposita el material en el juego de tamices (Fig. 12.3.11e), y se realiza el tamizado durante un tiempo aproximado de 5 a 10 minutos, verificando por medio de inspección visual si el material se ha tamizado correctamente o existe alguna dificultad dada a la cantidad de material. Se quita la serie de tamices (Fig. 12.3.11f) y se pesa el material retenido en cada tamiz (Fig. 12.3.11g). Se suman estos pesos y se compara con el peso total de la muestra, esto con la finalidad de detectar cualquier pérdida de material durante el tamizado. En caso de que se tenga una pérdida superior al 2% con respecto al peso original de la muestra, se considera que la prueba no es satisfactoria y debe repetirse. En caso contrario, se calcula el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos, por el peso de la muestra original anotándolo como porcentaje retenido. Los resultados de los ensayos se llevan a un gráfico llamado curva granulométrica (Fig. 12.3.12). La forma de la curva indica si los tamaños de las partículas varían en un rango amplio o estrecho, si los tamaños tienen porciones en peso relativamente iguales. Si el rango es amplio y la curva es suave, se dice que el suelo está bien gradado, cuando no ocurre esto se dice que hay mala gradación y puede ser por falta de extensión o por discontinuidad en el tamaño de las partículas y esto se refleja en una curva incompleta. Para suelos granulares, la gradación se expresa numéricamente a través de los coeficientes de uniformidad C_u , con el coeficiente de la curvatura C_c . Y se calculan a través de la relación siguiente:

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (7)$$

Donde $D_i = 10, 30, 60$ son los tamaños de partículas cuyo porcentaje en peso es igual a i para el cual $i\%$ del material que es más fino que ese tamaño. Cuando más alto sea C_u , mayor será el rango de tamaños de suelo. Se dice que el material está bien gradado, cuando $C_u > 4$ a 6 ; $1 < C_c < 3$.



(a)



(b)



(c)



(d)

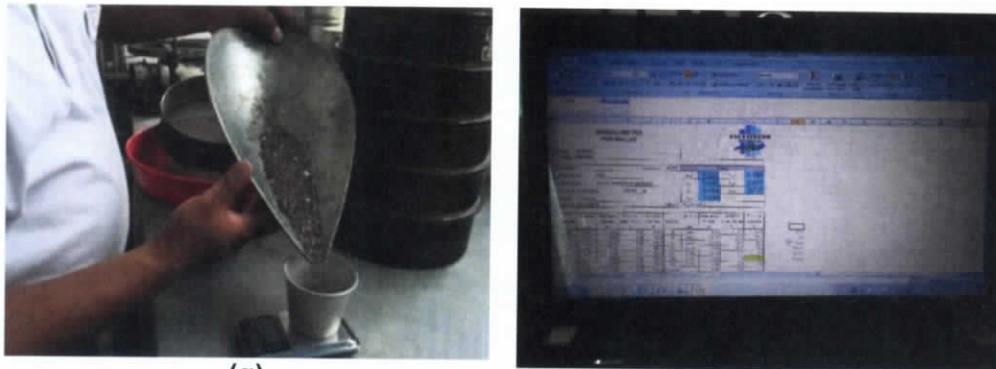


(e)



(f)

VF



(g)

(h)

Figura 12.3.11. a) Muestra de campo; b) Vasos de secado; c) Horno de secado; d) Pesado de muestra; e) Tamizado mecánico; f) Limpieza de mallas; g) Pesado de muestras retenidas; h) Creación de gráfica granulométrica

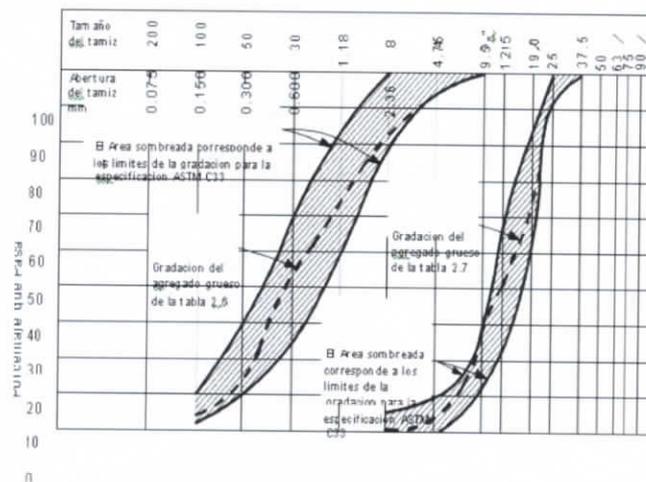


Figura 12.3.12. Gráfica de gradaciones del agregado. Gradación de la arena a la izquierda y la del agregado grueso a la derecha.

La determinación de densidades es otra variable que debe ser considerada. El procedimiento para su obtención es el siguiente: Una vez recolectada la muestra en campo y etiquetada se debe determinar su volumen (ver figura 12.3.13). Una vez realizado, se vierte el contenido en conos de sedimentación Imhoff (figura 12.3.14), de acuerdo a la norma NMX-AA-004-SCFI-2000. Se deja sedimentar por 45 minutos, una vez transcurrido ese tiempo se agitan suavemente los lados que pudieran quedar en las paredes del cono con un agitador o mediante rotación, y se mantiene en reposo durante 15 minutos. Finalmente, se registrar el volumen de sólidos sedimentados (figura 12.3.15).



Figura 12.3.13. Determinación del volumen total de las muestras



Figura 12.3.14 Obtención del volumen sedimentado mediante conos Imhoff

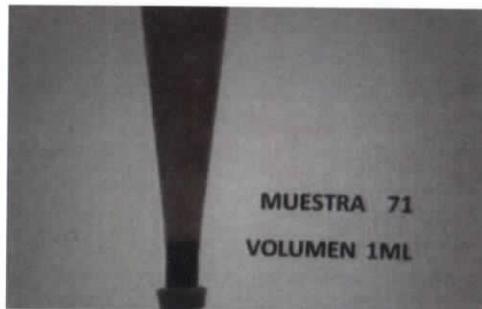


Figura 12.3.15. Registro de volumen sedimentado de cada muestra

Después de obtener el volumen de material sedimentado se obtiene el peso de cada una de las muestras siguiendo la metodología de la determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales (NMX-AA-034-SCFI-2001). Se lavan cuidadosamente los crisoles para limpiar cualquier impureza que pudieran contener. Se introducen en una mufla a temperaturas de $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ durante 20 minutos como mínimo (ver figura 12.3.16) para limpiar y calcinar cualquier material que haya quedado en el crisol. Después se transfieren a un horno de secado a 103°C - 105°C durante un tiempo aproximado de 20 minutos (figura 12.3.17).

Se dejan enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador (figura 12.3.18), se pesan y registran los datos. Se repite el ciclo hasta alcanzar un peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5mg y se registra como peso G (figura 12.3.19)



**Figura 12.3.16. Limpieza de Crisoles a
500 °C**



**Figura 12.3.17. Limpieza de crisoles a
105 °C**

Una vez obtenido el peso de los crisoles, se vierte dentro de ellos el volumen de material sedimentado obtenido anteriormente y se seca la muestra en un horno de secado a una temperatura de 85 °C (figura 12.3.20) durante un periodo de 3 horas. Después se sacan los crisoles y se transfieren a un desecador a temperatura ambiente (figura 12.3.21) y se dejan enfriar para después (figura 12.3.22) registrar el peso como peso G1 (figura 12.3.23). Por diferencia de los pesos G1 - G obtenemos el peso neto en gramos de la muestra seca.

CF



Figura 12.3.18. Enfriado de crisoles a temperatura ambiente dentro de desecador

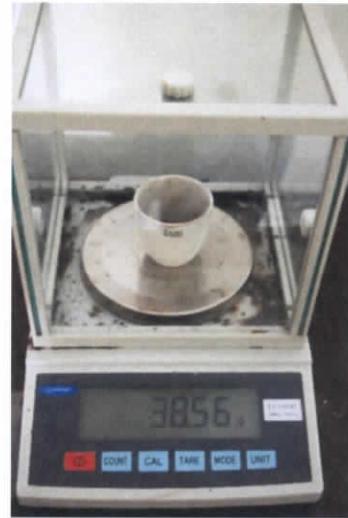


Figura 12.3.19. Registro del peso contante de los crisoles



Figura 12.3.20. Secado de muestras en horno



Figura 12.3.21 Secado a temperatura ambiente



Figura 12.3.22 Muestras listas



Figura 12.3.23. Pesado de muestra

En la obtención de las densidades se emplea tanto el peso como el volumen de la muestra de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (8)$$

Donde:

ρ = Densidad expresada en unidades de masa entre unidades de volumen

m = Masa de la muestra

v = Volumen de la muestra

En las tablas siguientes se resumen las muestras obtenidas de sedimentos y sus diámetros característicos para cada sección.

27

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

Tabla 12.3.2. Análisis granulométrico río Mezcacalapa

RIO	DOVELA GPS	ETIQUETA	PESO (g)	VOLUMEN (ml)	DENSIDAD ρ (g/ml)	D ₁₀	D ₁₅	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₇₀	D ₈₀	Cu	Cc
MEZCALAPA	P01	236	1095	687	1.59	0.259	0.304	0.392	0.565	0.676	1.037	1.154	2.6095293	0.87936349
		266	330.61	210	1.57	0.185	0.216	0.296	0.396	0.461	0.740	0.890	2.49097466	1.02494385
		256	251.29	160	1.57	0.243	0.292	0.357	0.476	0.549	0.891	1.015	2.25851141	0.95650922
		264	181.87	110	1.65	0.310	0.351	0.469	0.681	0.801	1.180	1.645	2.58070513	0.88543299
				1.60	PROMEDIO	0.249	0.194	0.252	0.353	0.414	0.641	0.784	1.66193495	0.61642646
	P02	280	1361.2	810	1.68	0.368	0.442	0.642	0.932	1.123	2.192	2.998	3.05171465	0.99823315
		238	1507.42	920	1.64	0.336	0.387	0.539	0.822	1.009	2.005	2.552	3.0047519	0.85599122
		259	437.63	270	1.62	0.303	0.333	0.416	0.570	0.705	1.265	1.784	2.32434847	0.80833541
					1.63	PROMEDIO	0.336	0.388	0.532	0.775	0.946	1.821	2.445	2.81700634
	P03	278	2180.75	1450	1.50	0.237	0.288	0.344	0.443	0.503	0.972	1.361	2.12042608	0.99146702
		277	2079.02	1350	1.54	0.308	0.341	0.435	0.619	0.755	1.265	1.825	2.45185862	0.81541997
276		1194.32	785	1.52	0.292	0.316	0.381	0.498	0.569	1.063	1.421	1.94991551	0.87503124	
273		1396.98	850	1.64	0.360	0.434	0.633	0.894	1.062	2.151	2.967	2.94699181	1.04866822	
			1.55	PROMEDIO	0.299	0.345	0.448	0.613	0.722	1.363	1.894	2.41266254	0.93046756	
PROMEDIO POR SECCION MEZCALAPA 1					1.59	0.291	0.337	0.446	0.627	0.747	1.342	1.783	2.5648726	0.91483081
P04	280	365.37	220	1.66	0.206	0.250	0.324	0.430	0.496	1.066	2.023	2.409748	1.03038797	
	281	785.86	489	1.61	0.311	0.357	0.493	0.713	0.832	1.248	1.675	2.67620881	0.93819444	
	282	965.94	690	1.40	0.294	0.335	0.453	0.690	0.843	1.573	2.011	2.86853694	0.8292019	
				1.56	PROMEDIO	0.270	0.314	0.423	0.611	0.724	1.295	1.903	2.67836816	0.91669486
PROMEDIO POR SECCION MEZCALAPA 2					1.56	0.270	0.314	0.423	0.611	0.724	1.295	1.903	2.67836816	0.91669486
6	1	1580.5	999	1.58	0.389	0.490	0.680	0.927	1.083	2.078	2.751	2.78242304	1.0970567	
	2	1624.28	1022	1.59	0.370	0.446	0.645	0.922	1.102	2.085	2.642	2.9820126	1.02254197	
	3	2878.29	1880	1.53	0.460	0.604	0.760	1.053	1.269	2.359	3.394	2.75684683	0.98759505	
	4	2151.75	1300	1.66	0.557	0.659	0.885	1.335	1.618	2.879	3.856	2.90338675	0.86940859	
	5	2543.16	1505	1.69	0.420	0.553	0.706	0.940	1.085	2.007	2.440	2.58473898	1.0959154	
	6	1976.06	1200	1.65	0.394	0.498	0.684	0.930	1.083	2.106	2.833	2.7502372	1.09787953	
			1.62	PROMEDIO	0.432	0.542	0.727	1.018	1.207	2.252	2.986	2.79545777	1.01427215	
7	11	2210.3	1360	1.63	0.363	0.433	0.621	0.835	0.968	1.763	2.229	2.66850649	1.09752789	
	12	1814.53	1000	1.61	0.374	0.456	0.637	0.816	0.937	1.900	1.837	2.46770223	1.17821149	
	14	1254.91	790	1.59	0.392	0.490	0.681	0.938	1.101	2.086	2.854	2.80472689	1.07441968	
	15	1028.9	605	1.70	0.385	0.474	0.664	0.902	1.051	1.934	2.324	2.72938695	1.0895364	
			1.63	PROMEDIO	0.379	0.463	0.651	0.873	1.011	1.792	2.311	2.66971441	1.10751883	
8	20	724.41	449	1.61	0.235	0.293	0.389	0.584	0.730	1.317	1.732	3.10479197	0.88117601	
	21	546.42	340	1.61	0.292	0.328	0.428	0.624	0.749	1.163	1.636	2.56277487	0.834462	
	22	329.6	205	1.61	0.258	0.296	0.354	0.457	0.520	0.877	1.039	2.01232976	0.93386199	
			1.61	PROMEDIO	0.262	0.303	0.390	0.555	0.666	1.119	1.469	2.54415506	0.87225095	
PROMEDIO POR SECCION MEZCALAPA 1					1.62	0.276	0.463	0.626	0.866	1.022	1.850	2.428	2.7161381	1.01904673
9	27	593.48	355	1.67	0.287	0.327	0.441	0.673	0.824	1.485	1.862	2.87109222	0.82335308	
	28	1853.86	998	1.56	0.328	0.400	0.617	0.927	1.137	1.839	2.074	3.4645865	1.0226972	
	29	720.28	499	1.44	0.288	0.313	0.382	0.506	0.582	0.948	1.072	2.02342329	0.86852565	
			1.56	PROMEDIO	0.301	0.347	0.480	0.702	0.848	1.424	1.670	2.8165068	0.90354986	
10	42	11.11	8	1.39	0.176	0.195	0.246	0.332	0.381	0.533	0.579	2.16850551	0.90165386	
	44	274.89	175	1.57	0.197	0.234	0.324	0.475	0.575	0.912	1.023	2.92025082	0.92700787	
	45	58.03	39	1.49	0.219	0.275	0.327	0.412	0.463	0.667	0.850	2.11703345	1.05628296	
	46	54.68	32	1.71	0.347	0.455	0.669	0.905	1.052	1.794	2.095	3.03049535	1.22276106	
			1.54	PROMEDIO	0.235	0.290	0.391	0.531	0.618	0.976	1.137	2.63314135	1.05609376	
11	50	641.83	375.75	1.71	0.305	0.344	0.457	0.705	0.898	2.025	2.807	2.94585511	0.76229474	
	52	340.38	195	1.75	0.240	0.294	0.380	0.548	0.705	1.676	2.319	2.92997356	0.85377053	
	54	1775.37	1079	1.65	0.325	0.386	0.576	0.914	1.149	2.492	3.448	3.53895684	0.89079681	
			1.70	PROMEDIO	0.290	0.341	0.471	0.723	0.917	2.064	2.858	3.16274342	0.834756	
PROMEDIO POR SECCION MEZCALAPA 2					1.59	0.271	0.322	0.442	0.640	0.777	1.437	1.813	2.86411273	0.92241163