

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Dependencia	Aprobado	Pág.	
	SUBDIRECTOR ACADÉMICO	1(1)		

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	DINA LILIBETH TRÓCHEZ QUINTERO LUIS JANKILMER GALVAN VACCA		
FACULTAD	INGENIERÍAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	HERMES ALFONSO GARCÍA QUINTERO		
TÍTULO DE LA TESIS	ANÁLISIS DE LA EROSIÓN PRESENTE EN EL RÍO TEJO ENTRE LOS BARRIOS EL TEJARITO HASTA CARACOLÍ, EN LA CIUDAD DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER		
RESUMEN (70 PALABRAS APROXIMADAMENTE)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TUVO COMO OBJETIVO REALIZAR UN ANÁLISIS DE EROSIÓN, SOBRE EL CAUCE DEL RÍO TEJO, EN EL TRAMO COMPRENDIDO EN LOS BARRIOS TEJARITO HASTA EL BARRIO CARACOLÍ, EN LA CIUDAD DE OCAÑA, PARA LO CUAL FUE NECESARIO CONTAR CON UN ESTUDIO HIDROLÓGICO Y UN ESTUDIO HIDRÁULICO QUE DETERMINE LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL PROCESO EROSIVO QUE SE PUEDE PRESENTAR EN EL TRAMO DE 2.18 KM COMPRENDIDO ENTRE LOS BARRIOS MENCIONADOS.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 141	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 89	CD-ROM: 1



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL. OCAÑA N. DE S.
Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088
www.ufpso.edu.co



**ANÁLISIS DE LA EROSIÓN PRESENTE EN EL RÍO TEJO ENTRE LOS
BARRIOS EL TEJARITO HASTA CARACOLÍ, EN LA CIUDAD DE OCAÑA,
NORTE DE SANTANDER**

**DINA LILIBETH TRÓCHEZ QUINTERO
LUIS JANKILMER GALVAN VACCA**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA CIVIL
OCAÑA
2016**

**ANÁLISIS DE LA EROSIÓN PRESENTE EN EL RÍO TEJO ENTRE LOS
BARRIOS EL TEJARITO HASTA CARACOLÍ, EN LA CIUDAD DE OCAÑA,
NORTE DE SANTANDER**

**DINA LILIBETH TRÓCHEZ QUINTERO
LUIS JANKILMER GALVAN VACCA**

Trabajo de grado presentado para obtener el título de Ingeniero Civil

**Director
HERMES ALFONSO GARCÍA QUINTERO.
IC, ESP, MSC**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA CIVIL
OCAÑA
2016**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	16
1. TITULO	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3 DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo General	17
1.3.2 Objetivos Específicos	18
1.4. JUSTIFICACIÓN	18
1.5. DELIMITACIONES	18
1.5.1. Delimitación Geográfica	18
1.5.2. Delimitación Temporal	18
1.5.3. Delimitación Conceptual	19
1.5.4. Delimitación Operativa	19
2. MARCO REFERENCIAL	20
2.1 MARCO HISTÓRICO	20
2.2 MARCO CONCEPTUAL	20
2.2.1 Erosión Fluvial	20
2.2.1.1 La acción erosiva de los ríos	21
2.2.2 Estudio Topográfico	21
2.2.3 Estudio de Suelos	21
2.2.4 Estudio Hidrológico	21
2.2.5 Estimación del Caudal	22
2.2.6 Software HEC-RAS	22
2.2.7 Estudio de Erosión	23
2.2.8 Modelo Matemático	23
2.3 MARCO TEÓRICO	23
2.3.1. Estudio Hidrológico	23
2.3.1.1 Cuenca Hidrográfica	24
2.3.1.2 Divisoria de aguas	24
2.3.1.3 Características fisiográficas de una cuenca	24
2.3.1.4 Medida de la precipitación	24
2.3.1.5 Escorrentía	25
2.3.2. Estudio Hidráulico	25
2.3.2.1 Modelo HEC-RAS	25
2.3.2.2 Descripción de la geometría del cauce	25
2.3.2.3 Condiciones iniciales o de borde	25
2.3.2.4 Cálculo con HEC-RAS	26

2.3.3. Estudio de Erosión	26
2.4 MARCO LEGAL	27
3. DISEÑO METODOLÓGICO	34
3.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN	34
3.2 ÁREA	34
3.3 MUESTRA	35
3.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	35
3.5 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	35
4. RESULTADOS	36
4.1. RECOLECCIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA EXISTENTE RELACIONADA CON VARIABLES TOPOGRÁFICA, ESTUDIO DE SUELOS, HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA EL ÁREA EN ESTUDIO.	36
4.1.1 Localización geográfica del área de estudio	36
4.1.2 Hidrografía	38
4.2 DESARROLLO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO QUE PERMITE ESTIMAR CAUDALES ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN LA CUENCA DEL RÍO TEJO A LA ALTURA DE SU UNIÓN CON EL RÍO CHIQUITO.	41
4.2.1 Cuenca Hidrográfica	41
4.2.2 Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Tejo	43
4.2.3 Parámetros Morfométricos	44
4.2.4 Metodología para el Cálculo de Caudales Máximos	46
4.2.4.1 Selección de los periodos de retorno	47
4.2.4.2 Análisis de Precipitación	47
4.2.5 Generación de Hietogramas	49
4.2.6 Hidrograma adimensional del CSC	53
4.3 ESTUDIO TENDIENTE A DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN EL CAUCE, EN DIFERENTES PUNTOS SOBRE EL FLUJO DEL RÍO TEJO A LA ALTURA DE SU UNIÓN CON EL RÍO CHIQUITO IMPLEMENTANDO EL SOFTWARE HEC-RAS PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL CAUCE EN ESTUDIO	57
4.4 MODELO MATEMÁTICO DE AMPLIA UTILIZACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN EN LAS SECCIONES DE INTERÉS.	72
4.4.1. Análisis de la erosión hídrica del suelo en el municipio de Ocaña	72
4.4.1.1 Factor de Erosividad	73
4.4.1.2 Factor de la Longitud y Gradiente de la pendiente	74
4.4.1.3 Factor R	77
4.4.1.4 Factor de le Erodabilidad	78
4.4.1.5 Factor C	80
4.4.2 Clasificación de suelos de la Microcuenca del tejo en el tramo comprendido entre el puente Tejarito y la afluencia con el rio chiquito	83

4.4.3 Erosión en el Tramo de Estudio	85
4.4.3.1 Metodología para estimar la socavación	85
4.4.3.2 Sección erosionada en cada puente	90
5. CONCLUSIONES	124
6. RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	126
ANEXOS	127

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Coordenadas del punto inicial y final del tramo en estudio.	37
Cuadro 2. Coordenadas del punto de cierre seleccionado para la Microcuenca del río Tejo.	42
Cuadro 3. Tiempos de concentración para las diferentes ecuaciones encontradas.	46
Cuadro 4. Valores de los parámetros morfométricas para cada una de las Subcuencas.	46
Cuadro 5, Datos de Precipitación Máxima en 24 horas, registrados en la estación Universidad Francisco de Paula Santander	47
Cuadro 6, Precipitaciones máximas para diversos periodos de retorno y duraciones. Fuente: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Ocaña.	48
Cuadro 7, Intensidades de lluvia, para diferentes periodos de retorno, para una duración de 90 min.	48
Cuadro 8, Periodo de retorno para 100 años	50
Cuadro 9. Periodo de retorno para 50 años	51
Cuadro 10. Periodo de retorno para 25 años	51
Cuadro 11. Periodo de retorno para 10 años	52
Cuadro 12. Periodo de retorno para 5 años	53
Cuadro 13. Coordenadas del hidrograma adimensional	54
Cuadro 14. Parámetros de la Microcuenca del río Tejo.	55
Cuadro 15. Caudal para TR de 100 años	55
Cuadro 16. Caudal para TR de 50 años	55
Cuadro 17. Caudal para TR de 25 años	55
Cuadro 18. Caudal para TR de 10 años	55
Cuadro 19. Caudal para TR de 5 años	56
Cuadro 20. Caudales pico para diferentes periodos de retorno	56
Cuadro 21. Rugosidad del canal principal	58
Cuadro 22. Resultados que arroja el HEC-RAS para el Río Tejo en cada sección del tramo desde el puente Tejarito hasta el puente de las Llanadas.	71
Cuadro 23. Resultados que arroja el HEC-RAS para el Río Tejo en cada sección del tramo desde el puente Tejarito hasta el puente de las Llanadas.	72
Cuadro 24. Valores de K asociados a la textura y al contenido de M.0	79
Cuadro 25. Características mecánicas y de drenaje en los puentes analizados.	82
Cuadro 26. Información granulométrica de puentes.	83
Cuadro 27. Factor de corrección por contracción del cauce	88
Cuadro 28. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el Puente Tejarito.	91
Cuadro 29. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Urbanización Marina.	94
Cuadro 30. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Urbanización Central.	97

Cuadro 31. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación puente las Delicias	100
Cuadro 32. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Santa Eudisia.	103
Cuadro 33. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación puente Torcoroma	106
Cuadro 34. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente VillaLuz	109
Cuadro 35. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente La Modelo	112
Cuadro 36. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Santa Marta.	115
Cuadro 37. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente 20 de Julio	118
Cuadro 38. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente las Llanadas.	121

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Hietograma para un periodo de 100 años.	50
Gráfica 2. Hietograma para un periodo de 50 años	51
Grafica 3. Hietograma para un periodo de 25 años	52
Grafica 4. Hietograma para un periodo de 10 años	52
Grafica 5. Hietograma para un periodo de 5 años.	53
Grafica 6. Hidrograma adimensional del SCS	56
Grafica 7. Perfil longitudinal del tramo estudiado.	59
Grafica 8. Condiciones de flujo puente Tejarito	60
Grafica 9. Distribución de velocidad puente Tejarito.	60
Grafica 10. Condiciones de flujo puente Urbanización Marina.	61
Grafica 11. Distribución de velocidad puente Urbanización Marina.	61
Grafica 12. Condiciones de flujo puente Urbanización Central.	62
Grafica 13. Distribución de velocidad puente Urbanización central.	62
Grafica 14. Condiciones de flujo puente Las Delicias.	63
Grafica 15. Distribución de velocidad puente Las Delicias.	63
Grafica 16. Sección puente santa Eudosia.	64
Grafica 17. Distribución de velocidad puente Santa Eudosia.	64
Grafica 18. Sección puente de la Torcoroma.	65
Grafica 19. Distribución de velocidad puente de la Torcoroma.	65
Grafica 20. Sección puente de Villa Luz.	66
Grafica 21. Distribución de velocidad puente de Villa Luz.	66
Grafica 22. Sección puente de La Modelo.	67
Grafica 23. Distribución de velocidad puente de La Modelo.	67
Grafica 24. Sección puente Santa Marta.	68
Grafica 25. Distribución de velocidad puente Santa Marta.	68
Grafica 26. Sección puente de 20 de Julio.	69
Grafica 27. Distribución de velocidad puente de 20 de Julio.	69
Grafica 28. Sección puente de las Llanadas.	70
Grafica 29. Distribución de velocidad puente de las Llanadas.	70
Grafica 30. Estadística del factor K que determina el grado de erosión del suelo	80
Grafica 31. Porcentajes de gravas en los suelos del área de estudio	83
Grafica 32. Porcentajes de arenas en los suelos del área de estudio	84
Grafica 33. Porcentajes de arenas en los suelos del área de estudio	84
Gráfica 34. Socavación para el puente ubicado en el barrio Tejarito.	92
Grafica 35. Socavación para el puente ubicado en el barrio Urbanización Marina.	95
Grafica 36. Socavación para el puente ubicado en el barrio Urbanización Central.	98
Grafica 37. Socavación para el puente ubicado en el barrio Las Delicias.	101
Grafica 38. Socavación para el puente ubicado en el barrio Santa Eudosia.	104
Grafica 39. Socavación para el puente ubicado en el barrio Torcoroma.	107
Grafica 40. Socavación para el puente ubicado en el barrio Villa Luz.	110

Grafica 41. Socavación para el puente ubicado en el barrio La Modelo.	113
Grafica 42. Socavación para el puente ubicado en el barrio Santa Marta.	116
Grafica 43. Socavación para el puente ubicado en el barrio 20 de Julio.	119
Grafica 44. Socavación para el puente ubicado en el barrio las Llanadas.	121

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Localización área de estudio.	36
Imagen 2. Localización geográfica de la zona de estudio en el casco urbano del municipio de Ocaña norte de Santander	37
Imagen 3. Perfil de elevación del tramo recorrido entre el caracolí y el Tejarito	38
Imagen 4. Mapa Hídrico de Ocaña.	39
Imagen 5. Cauce del río Tejo en su paso por el casco urbano del municipio de Ocaña	40
Imagen 6. Cauce del Tejo vista de observación desde el norte de la ciudad de Ocaña.	40
Imagen 7. Delimitación Microcuenca del río Tejo.	42
Imagen 8. División de la Microcuenca del río Tejo.	43
Imagen 9. Drenaje presente en la Microcuenca.	45
Imagen 10. Slop o Ráster de pendientes generado para iniciar el cálculo de las variables que componen la ecuación USLE/RUSLE	73
Imagen 11. Slop o Ráster de pendientes generado para iniciar el cálculo de las variables que componen la ecuación USLE/RUSLE	74
Imagen 12. Resultado del cálculo del factor m y su reclasificación en ArcGIS 10.2	74
Imagen 13. Resultado del flow direction y flow accumulation	75
Imagen 14. Resultado del flow direction y flow accumulation	75
Imagen 15. Resultado del Geoproceso Ráster para la obtención del factor L	76
Imagen 16. Zona de trabajo del software para el cálculo y variables de la ecuación universal de erosión USLE/RUSLE	76
Imagen 17. Resultado obtenido como factor S	77
Imagen 18. Resultado del cálculo del factor R	77
Imagen 19. Proceso para la generación del mapa de factor R	78
Imagen 20. Susceptibilidad a erosión del suelo	81
Imagen 21. Localización de los puentes en objeto de estudio sobre la zona con un grado de severidad severo	81
Imagen 22. Ejemplo de sección transversal y las variables que arroja el método de Lischvan – Lebediev.	86
Imagen 23. Cálculo del ancho efectivo “Be” en puentes	89
Imagen 24. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Tejarito.	90
Imagen 25. Puente en el barrio el Tejarito.	91
Imagen 26. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en la Urbanización Marina	93
Imagen 27. Puente barrio Urbanización Marina	94
Imagen 28. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en la Urbanización Central	96
Imagen 29. Puente Urbanización Central	97
Imagen 30. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en las Delicias.	99

Imagen 31. Puente ubicado en el barrio las Delicias	100
Imagen 32. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Santa Eudosia	102
Imagen 33. Puente en el barrio Santa Eudosia	103
Imagen 34. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Torcoroma.	105
Imagen 35. Puente del barrio Torcoroma.	106
Imagen 36. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Villa Luz.	108
Imagen 37. Puente del barrio Villa Luz	109
Imagen 38. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio La Modelo.	111
Imagen 39. Puente en el barrio la Modelo.	112
Imagen 40. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Santa Marta.	113
Imagen 41. Puente peatonal barrio Santa Marta	115
Imagen 42. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio 20 de Julio.	117
Imagen 43. Puente del barrio 20 de Julio	118
Imagen 44. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio las Llanadas	120
Imagen 45. Puente en el barrio Las Llanadas.	121

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar un análisis de erosión, sobre el cauce del río Tejo, en el tramo comprendido en los barrios Tejarito hasta el barrio Caracolí, en la ciudad de Ocaña Norte de Santander.

Para realizar el análisis de erosión es necesario contar con un estudio hidrológico y un estudio hidráulico que determine los parámetros necesarios para la estimación del proceso erosivo que se puede presentar en el tramo de 2.18 km comprendido entre los barrios Tejarito y el barrio Caracolí.

El estudio hidrológico se realizó calculando la precipitación que cae para toda Ocaña de manera informativa con el método de las isoyetas, y para conocer el caudal que se podrá presentar en el río Tejo para periodos de retorno determinados se emplearon modelos lluvia escorrentía.

El estudio hidráulico se realizó con el software HEC-RAS 4.1.0 este describe las características del río y su comportamiento para ciertas condiciones de caudal, la información que se obtiene de la modelación hidráulica se utiliza luego para el cálculo de la erosión

El estudio de erosión se elabora utilizando el método de Lischvan – Lebediev el cual utiliza la información proporcionada por el software HEC-RAS 4.1.0 y muestra la carencia de material del lecho que se pueda presentar para ciertas condiciones de caudal.

El trabajo se realiza para conocer las causas que provocaría la erosión sobre la infraestructura presente en el tramo del río Tejo y poder tener una estimación del comportamiento del lecho del río con ciertas condiciones de caudal y así poder dar posibles soluciones si el problema apremia.

INTRODUCCIÓN

En la ingeniería civil uno de los temas importantes a evaluar a la hora de proponer, analizar o estudiar estructuras hidráulicas, es el tema de la erosión que se presenta en el lecho de un río, para entender el proceso erosivo se requiere análisis de áreas como la hidrología y la hidráulica, áreas fuertemente estudiadas por los ingenieros civiles para la elaboración de estudios o desarrollo de proyectos.

El río Tejo ubicado en la ciudad de Ocaña presenta erosión general, la cual particularmente se tiene en cuenta en su paso por el casco urbano de la ciudad, debido a que afecta las estructuras hidráulicas paralelas o aledañas al río ya que socava el material del lecho del río perjudicando la cimentación de dichas estructuras y perturbando posteriormente la población que es funcionaria o beneficiaria de la estabilidad de las estructuras.

El presente trabajo puntualiza un análisis de socavación general a lo largo del tramo del río Tejo comprendido entre los barrios el Tejarito y el Caracolí, para la realización se debe desarrollar de forma objetiva aspectos hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos y topográficos del espacio a analizar, que determinen de manera clara el proceso necesario para calcular la socavación del río y la profundidad que esta tiene y que por ende perjudica la cimentación.

Con la realización del trabajo se espera tener el valor de la erosión que se podrá presentar en el tramo del río Tejo mencionado para una creciente determinada y así observar los efectos que esta tendría en las diferentes obras hidráulicas que se encuentren a lo largo del tramo en estudio.

1. ANÁLISIS DE LA EROSIÓN PRESENTE EN EL RÍO TEJO ENTRE LOS BARRIOS EL TEJARITO HASTA CARACOLÍ, EN LA CIUDAD DE OCAÑA, NORTE DE SANTADER.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio hidrológico es significativo para el desarrollo, gestión y control de los recursos de agua. Sus aplicaciones son muchas, incluyendo el desarrollo de sistemas de irrigación, control de inundaciones, erosión de suelos y el diseño de estructuras hidráulicas; éstas a su vez, dependen de varios componentes que indican la dependencia entre los factores hidráulicos de un cauce natural y su dinámica erosiva, ya sea que se manifieste sedimentación o socavación a lo largo de la vertiente. Uno de los factores de mayor importancia en el fenómeno de erosión es la velocidad de flujo, que se ve afectada por el volumen de los caudales relacionados a varios periodos de retorno, el material constituyente de la sección hidráulica, profundidad del flujo y la pendiente longitudinal del canal.

En el diseño o mantenimiento de estructuras hidráulicas es de gran importancia tener en cuenta el proceso de la erosión, este fenómeno es una consecuencia negativa de la escorrentía descontrolada en la superficie; en el recorrido del río Tejo por la ciudad de Ocaña este factor está presente y es causado por los altos caudales asociados a las altas precipitaciones presentes en la parte alta-media de la cuenca. La erosión presente en esta corriente natural puede afectar considerablemente los márgenes del río y estructuras ubicadas desde el barrio Tejarito hasta el Caracolí; como puentes peatonales, puentes vehiculares, muros de contención y viviendas aledañas; estas estructuras son necesarias, ya que la corriente natural cruza el sector centro-occidental de la ciudad. El fenómeno de la erosión puede provocar afectación a la infraestructura existente, por tal razón se considera fundamental adelantar un estudio de erosión que permita la toma de decisiones tendientes a mitigar al máximo los impactos negativos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo entender los fenómenos naturales que amenazan la infraestructura instalada en el río Tejo en el tramo comprendido entre el puente Tejarito y la afluencia con el río Chiquito, en la ciudad de Ocaña Norte de Santander?

1.3 DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Realizar un análisis de erosión, sobre el cauce del río Tejo, en el tramo comprendido en los barrios Tejarito hasta el barrio Caracolí, en la ciudad de Ocaña Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos Específicos. Recolectar, analizar y evaluar la información básica existente relacionada con variables topográfica, estudio de suelos, hidrológica e hidráulica para el área en estudio.

Desarrollar un estudio hidrológico que permita estimar caudales asociados a diferentes periodos de retorno en la cuenca del río Tejo a la altura de su unión con el río Chiquito.

Adelantar un estudio tendiente a determinar el comportamiento hidráulico en el cauce, en diferentes puntos sobre el flujo del río Tejo a la altura de su unión con el río Chiquito implementando el software HEC-RAS para la modelación hidráulica del cauce en estudio.

Emplear un modelo matemático de amplia utilización para la estimación de la erosión en las secciones de interés.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La fuerza arrastrante del agua domina la tenacidad de los materiales, produciendo efectos erosivos a lo largo de los canales naturales. Los procesos movilizan además de arcillas y limos, otros materiales como arenas, gravas, cantos, bloques y, para el caso del presente estudio, los residuos sólidos generados por la población, en las formas de acarreo, disolución, suspensión y acarreo de fondo. Los volúmenes movilizados por erosión fluvial son altos en cauces erosionados¹; por tal razón, es necesario hacer los estudios hidrológico, hidráulico y de erosión en este tramo del río Tejo, donde se considera que en esta zona se encuentra la mayor parte de la infraestructura que puede ser vulnerable ante una amenaza asociada al fenómeno de la erosión; para que de esta manera esta información esté disponible a las autoridades competentes, tomadoras de decisiones y así realizar los respectivos procesos de prevención y mitigación, como la canalización de este tramo, evitando así posibles riesgos a priori.

1.5. DELIMITACIONES

1.5.1. Delimitación Geográfica. El sitio de estudio a realizar se encuentra localizado en el casco urbano del municipio de Ocaña, en la zona centro-occidental y se enfoca en el sector del Río Tejo comprendido entre los barrios El Tejarito hasta El Caracolí, los cuales contienen estructuras transversales o longitudinales a la corriente natural, como puentes y muros.

1.5.2. Delimitación Temporal. La investigación del proceso de erosión del río Tejo, en el tramo de estudio, se llevará a cabo en un tiempo estimado de 8 meses donde se abarcarán las actividades de:

Investigación del tema

Recolección de información secundaria: Topográfica, Estudio de suelos, Hidrológica e Hidráulica.

Estudio Hidrológico
Estudio Hidráulico
Estudio de Erosión
Implementación de modelos matemáticos y computacionales
Desarrollo del proyecto

1.5.3. Delimitación Conceptual. De acuerdo al estudio que se realizará, se conocerá con detalles la problemática de la erosión presentada sobre el flujo del río Tejo a la altura de su unión con el río Chiquito, específicamente en las infraestructuras hidráulicas y posteriormente plantear posibles alternativas de solución, a nivel conceptual, a la problemática identificada.

1.5.4. Delimitación Operativa. El estudio se realizará apoyándose con la herramienta del software HEC-RAS 4.1.0, modelo de dominio público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), para la determinación de las características hidráulicas con el fin de alimentar el modelo de erosión. Este modelo matemático es de gran utilidad porque es una fuente verídica pero con ciertas limitaciones siendo una de ellas que se considera el flujo de un canal como unidimensional. El modelo matemático incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente y no permanente, unidimensional, gradualmente variado en lámina libre.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTÓRICO

La fuente de agua superficial representa el elemento vital para la supervivencia del hombre, más aún cuando éste lo utiliza para los distintos usos, entre los de mayor importancia están los de abastecimiento para uso poblacional, agrícola, pecuario, minero, energético y otros de menor envergadura como para el uso y mantenimiento de las especies silvestres de flora y fauna existentes (uso ecológico).

“Desde tiempos ancestrales, son los ríos los que han hecho posible a las ciudades. Gracias a ellos se puede hablar de progreso y desarrollo. Sin embargo, son pocos los que hoy se salvan de la acción del hombre, que ha terminado por convertirlos en cloacas, vertederos de basuras y en un vecino incómodo, sin reparar en el daño que les hacemos”¹

Colombia tiene el privilegio de poseer una gran cantidad de agua dulce que nos ha beneficiado por mucho tiempo, pero que al pasar los años este beneficio se puede convertir en todo lo contrario sino se actúa desde ahora.

Las infraestructuras que se construyen a lo largo de estos canales naturales permiten que el hombre pueda comunicarse entre lugares que anteriormente tenían una distancia muy dilatada. Además nos proporcionan seguridad y viabilidad.

Dentro del casco urbano de Ocaña se encuentran dos ríos, El Tejo y El Chiquito. Infortunadamente son canales que transportan las aguas residuales y negras de la ciudad. A lo largo de sus recorridos a través de la ciudad se encuentran estructuras que son de beneficio para la comunicación y transporte vial y peatonal que de una u otra manera pueden ser perjudicados por el fenómeno erosivo que se presenta.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Erosión Fluvial. Las aguas pluviales constituyen un agente erosivo de primera magnitud. El agua continental fluye, en gran parte, en forma de ríos que discurren sobre la superficie, o de corrientes subterráneas, desgastando los materiales que hay por donde pasan y arrastrando los restos o sedimentos en dirección hacia las partes más bajas del relieve, dejándolos depositados en diversos lugares, formando terrazas, conos de deyección y, en definitiva, modelando el paisaje. “El agua de las corrientes fluviales puede crear cascadas, grutas, desfiladeros, meandros, cañones, deltas, estuarios, entre otros. En ocasiones inunda determinadas regiones más o menos amplias del territorio causando desastres económicos y víctimas, a pesar de lo cual, los seres humanos casi siempre se han

¹ EL TIEMPO. Editorial: Ciudades y ríos. [En línea]. 2015. [Recuperado el día 30 de Agosto de 2015] Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/opinion/editorial/ciudades-y-rios-editorial-el-tiempo-abril-18-2015/15589215>

asentado en las márgenes de los ríos, lagos o manantiales, con el fin de garantizar un suministro adecuado de agua”.²

2.2.1.1 La acción erosiva de los ríos. La erosión debida a las aguas corrientes sigue las mismas etapas en que se divide de forma natural el curso de un río. Hay una primera etapa en que la erosión mecánica provocada por el agua y los materiales que arrastra es muy intensa en el curso alto del río. En la segunda etapa, de transporte, la erosión mecánica sigue activa pero empieza a actuar la erosión química. Esta tiene lugar en el curso medio. Finalmente, en el curso bajo predomina la sedimentación de los materiales transportados, la acción mecánica se reduce muchísimo y prácticamente sólo actúa la erosión química.

“La acción erosiva de un río se debe a la energía del agua. Es capaz de arrancar trozos de roca que, al ser arrastrados por la corriente, actúan como un martillo sobre el cauce del río, desprendiendo nuevos fragmentos. Como el cauce no es regular, se suelen producir remolinos que arrastran arenas y gravas, puliendo el fondo del río y creando cavidades”.³

2.2.2 Estudio Topográfico. Los estudios topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre. Para el estudio de topográfico se hace un levantamiento y se toman los datos necesarios para la representación gráfica o elaboración del mapa del área en estudio.

2.2.3 Estudio de Suelos. “Un estudio de suelos permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir la composición de los elementos en las capas de profundidad, así como el tipo de cimentación más acorde con la obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar.”⁴

2.2.4 Estudio Hidrológico. “Consiste en analizar la operación de un sistema hidrológico y predecir su salida, es decir, realizar un modelo hidrológico. Un modelo, es una aproximación al sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas.”⁵

Recordemos que un río es una corriente de agua que fluye por un cauce desde las tierras altas a las tierras bajas y vierte en el mar o en una región endorreica (río colector) o a otro río (afluente). Los ríos se organizan en redes. Una cuenca hidrográfica es el área total que vierte sus aguas de escorrentía a un único río, aguas que dependen de las características de la alimentación. Una cuenca de drenaje es la parte de la superficie terrestre que es drenada

² WIKIPEDIA. Erosión Fluvial. [En línea]. 2015. [Recuperado el día 30 de Agosto de 2015] Disponible en internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Erosi%C3%B3n_fluvial

³ ASTRONOMIA. La Erosión Fluvial. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 3 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: <http://www.astromia.com/tierra/luna/erosionfluvial.htm>

⁴ UNIVERSIDAD DE PIURA. Estudio de Suelos. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 3 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_19_147_6_72.pdf

⁵ WIKIPEDIA. Hidrología. [En línea]. 2014. [Recuperado el día 3 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrolog%C3%ADaftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6705s/x6705s03.htm

por un sistema fluvial unitario. Su perímetro queda delimitado por la divisoria o interfluvio.

Los trazados de los elementos hidrográficos se caracteriza por la adaptación o inadaptación a las estructuras litológicas y tectónicas, pero también la estructura geológica actúa en el dominio de las redes hidrográficas determinando su estructura y evolución.

“El estudio hidrológico, inicia con el análisis morfométrico de la cuenca, que incluye: la delimitación de la cuenca, la medición del área y la longitud, altura máxima y mínima, índice de compacidad, factor de forma, curva hipsométrica, pendiente media, caracterización de la red de drenaje y el perfil altimétrico del cauce principal, entre otros”.⁶

2.2.5 Estimación del Caudal. “La estimación de caudales asociados a determinados periodos de retorno de diseño es fundamental e muchas aplicaciones de la ingeniería hidráulica. Existen diversas maneras convenientes de medir la cantidad de agua en un arroyo o canal. El método que se emplee dependerá de varios factores.”⁷

La exactitud del resultado que se necesite;

La cantidad de agua existente en el arroyo o canal que va a medir;

El material que puede usar.

2.2.6 Software HEC-RAS. El modelo HEC-RAS es capaz de modelar perfiles de superficies de agua de regímenes de flujo mixto, subcrítico y torrencial. Este tipo de modelos no ha sido desarrollado para cuencas de alta pendiente como es el caso de las cuencas de la zona andina Colombiana, sin embargo, se estima que en el caso de estudio donde se cuenta con pendientes altas se está trabajando al límite de las capacidades del modelo, por tanto, para la zona los resultados serán aceptables, lo cual deberá ser tenido en cuenta a la hora de analizar e interpretar los resultados.

El modelo HEC-RAS permite realizar una ejecución de los perfiles de flujo mixto, que incluye y combina los resultados del perfil supercrítico y del perfil subcrítico. Para lo cual se requiere de una topografía detallada del cauce, con la cual es posible estimar de forma confiable los perfiles de flujo que circulan por el cauce.

“El modelo hidráulico requiere adicionalmente de unas condiciones de borde y de unas condiciones iniciales, ya que se trata de un esquema de solución por diferencias finitas”.⁸

⁶ ARISTIZABAL, Víctor. Modelos hidrológicos e hidráulicos de zonificación de la amenaza por inundación en el municipio de La Dorada Caldas. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 5 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: http://pdpmagdalenacentro.org/Informe_t%C3%A9cnico_CONTR-163-12_Zonas_de_inundaci%C3%B3n_CorpoCaldas.pdf

⁷ GUITELMAN, Adolfo. EROSIÓN Y SOCAVACIÓN. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 5 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: http://www.geocities.ws/construcciones_hidraulicas/erosion.pdf

⁸ UNIVERSIDDA DE PIURA. Op. cit., p. 21

2.2.7 Estudio de Erosión. La erosión ocurre cuando las partículas de suelo son separadas por las acciones del agua y del viento. El material erosionado queda suspendido en el agua y sedimentará cuando encuentre las condiciones adecuadas.

Los desastres naturales son las causas más dramáticas de la erosión del suelo. Muchas toneladas de suelo pueden ser lavadas y llevadas corriente abajo. Los árboles y las plantas, que mantienen el suelo en el lugar, pueden ser desgarrados por el viento y las aguas de las inundaciones.

“En general, el lecho de un río está formado por material no cohesivo de diferente tamaño: arenas, gravas, bolos, etc. En condiciones ordinarias dicho material se encuentra en equilibrio pero, durante las crecidas, cuando el caudal sobrepasa el valor crítico de comienzo de arrastre, las partículas de fondo son transportadas por las aguas y el caudal sólido crece simultáneamente con el líquido”.⁹

2.2.8 Modelo Matemático. Respecto al modelo utilizado en la investigación éste corresponde al modelo matemático unidimensional Hec-Ras 4.1.0., software gratuito de origen Estadounidense. La modelización con el modelo HEC-RAS permite calcular, para las diferentes configuraciones de caudales, para las secciones transversales a lo largo del tramo estudiado del cauce del río Tejarito, valores simulados de los niveles de agua, las profundidades de flujo y las velocidades, entre otras variables.

El software HEC-RAS trabaja con seis modelos matemáticos:

Ackers & White (1973)

Engelund & Hansen (1967)

Laursen (1968,1989)

Meyer, Peter & Müller (1948)

Toffaleti (1968)

Yang (1973,1984)

Wilcock (2001)

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1. Estudio Hidrológico. Los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías: físicos y abstractos. Los primeros incluyen modelos a escala y análogos; los modelos a escala, representan el sistema en escala reducida, tal como un modelo hidráulico del vertedero de una presa; y los modelos análogos, usan otro sistema físico con propiedades similares a las del prototipo.

“Los modelos abstractos representan el sistema en forma matemática, es decir, la operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan variables de entrada y salida. Estas variables pueden ser funciones del espacio y del tiempo, y también

⁹ GUITELMAN. Op. cit., p. 14

pueden ser variables probabilísticas o aleatorias, que no tienen un valor fijo en un punto particular del espacio y del tiempo, pero que están descritas a través de distribuciones de probabilidad”.¹⁰

2.3.1.1 Cuenca Hidrográfica. “La cuenca hidrográfica de un río (hasta un punto específico de su trayectoria), de un lago, de una laguna, etc. es el territorio cuyas aguas afluyen hacia ese punto del río, lago, laguna, etc. Aunque las aguas proceden inicialmente de las lluvias, esas aguas afluyentes son tanto las que discurren superficialmente como aquellas que, después de una trayectoria subterránea, emergen y se incorporan al flujo superficial antes del punto de control. También existen las cuencas subterráneas, que se forman cuando el agua se queda atrapada entre los estratos. Estos dos tipos de cuencas tienen límites distintos, que quedan definidos por las divisorias de aguas.”¹¹

2.3.1.2 Divisoria de aguas. Las divisorias de aguas son los límites entre cuencas. Por lo general, como las aguas discurren por gravedad, las cumbres de las serranías serán las divisorias superficiales y son fácilmente identificables en forma directa o en los planos.

2.3.1.3 Características fisiográficas de una cuenca. Las características de una cuenca y de las corrientes que forman el sistema hidrográfico, pueden representarse cuantitativamente mediante índices de forma y relieve de la cuenca, y de la conexión con la red fluvial. Muchos de los índices son razones matemáticas, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

- A. Número de orden de un cauce
- B. Densidad de drenaje
- C. Área
- D. Perímetro
- E. Pendiente de los cauces
- F. Método de las áreas compensadas
- G. Índice de compacidad
- H. Pendiente de la cuenca

2.3.1.4 Medida de la precipitación. Se han desarrollado gran variedad de instrumentos para obtener información de la precipitación. La información obtenida puede ser de diversa índole; se puede mencionar: la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, el tiempo de inicio y de término de la precipitación y la cantidad e intensidad de la precipitación, siendo esta última la que más interesa para la determinación de las tormentas de diseño. La medición de la precipitación se efectúa en las estaciones pluviométricas, la cuales se clasifican de acuerdo al tipo de instrumento utilizado.¹¹

¹⁰ UNIVERSIDDA DE PIURA. Op. cit., p. 13

¹¹ Ibid. P. 15

2.3.1.5 Escorrentía. El caudal, o escorrentía, se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Su unidad de medición es en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o litros por segundo (l/s).

2.3.2. Estudio Hidráulico

2.3.2.1 Modelo HEC-RAS. “El modelo HEC-RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos “U.S. Corp of Engineers, Hydrological Engineering Center, HEC” es uno de los modelos más utilizados a nivel mundial para estudios hidráulicos de flujo uniforme, unidimensional y permanente, su popularidad es debido a su flexibilidad en la creación de escenarios hidráulicos, a su rapidez en los cálculos, su fácil manejo y operación.”¹²

2.3.2.2 Descripción de la geometría del cauce. La geometría del cauce se introduce al modelo mediante secciones transversales, las cuales han sido estimadas de acuerdo con la información obtenida mediante la topografía de detalle de las zonas de estudio.

El criterio para la distancia entre secciones se buscó de tal forma que no excediera a diez veces el ancho del río, en las zonas en las cuales se excede esta distancia es porque corresponde a zonas rectas cuyas sección transversal no presenta una variación importante entre secciones, pero en general la distancia entre secciones es similar y uniforme, adicionalmente, el modelo HEC-RAS tiene la opción de generar una nueva sección mediante la interpolación entre dos secciones, en caso que se requiera.

A lo largo del tramo estudiado se introdujo el viaducto proyectado al modelo HEC-RAS. Normalmente, un puente funciona como un impedimento al flujo, produciendo un efecto de remanso en la zona inmediatamente aguas arriba del puente, que de acuerdo a las características del flujo y del puente puede ser causante de inundaciones durante la ocurrencia de eventos extremos, produciendo socavación en los estribos y pilas de la estructura.

Los coeficientes de expansión y contracción hidráulica empleados en el estudio corresponden a los propuestos por el modelo, que son 0.1 y 0.3, respectivamente.¹³

2.3.2.3 Condiciones iniciales o de borde. Las condiciones iniciales, se refieren a las condiciones necesarias para que los cálculos de los perfiles de flujo se realicen de forma adecuada. En el caso de los perfiles mixtos se considera que el flujo está en condiciones normales, tanto para la sección aguas abajo, en el caso del perfil de flujo subcrítico, como para la sección aguas arriba, en el caso del perfil supercrítico.

¹² GUITELMAN. Op. cit., p. 17

¹³ *Ibid.* p. 25

“El modelo HEC-RAS necesita la pendiente del cauce para la estimación de la condición de flujo inicial, en este estudio se ha supuesto como condición el flujo crítico, por lo que el modelo asume las pendientes críticas para poder determinar los efectos más desfavorables”.¹⁰

2.3.2.4 Cálculo con HEC-RAS. Importar geometría desde HEC-RAS.

Editar los datos necesarios para el cálculo en régimen variable (condiciones de contorno, caudal de entrada, duración de la simulación, etc.).

Realizar simulación con HEC-RAS.

Estimación del Coeficiente de rugosidad de Manning, n. La resistencia al flujo en un río o rugosidad, se debe principalmente a dos factores:

La rugosidad del grano, que se genera por las fuerzas de fricción que actúan sobre las superficies de las partículas y la rugosidad de forma, que se genera por las fuerzas de presión que actúan sobre las formas del fondo.

Para el cálculo de los coeficientes de rugosidad de Manning existen diversas metodologías desarrolladas para ríos con fondos de arenas, que son los que se han encontrado en la zona de estudio. Debido a que la determinación de este coeficiente de rugosidad n tiene una gran dificultad, se emplean diferentes metodologías para determinar este valor.¹⁴

2.3.3. Estudio de Erosión. Existen, básicamente, seis tipos de erosión originada por el agua en forma natural:

Rainsplash: es la erosión originada por el impacto de la lluvia. Este es el agente erosivo más importante. Las gotas de lluvia que golpean una superficie terrestre descubierta rompen los agregados y remueven las partículas del suelo.

Sheet erosión: es la erosión ocasionada por una extensión de agua. Ocurre a medida que una corriente de agua se mueve sobre la superficie del suelo quitando una capa de suelo delgada y uniforme. Es una forma común y muy significativa de erosión, aunque a menudo resulta imperceptible.

Rill erosión: es la que se produce en la caída escalonada de un terraplén. Un aluvión excesivo y una topografía escarpada o abrupta pueden producir una red de pequeños canales llamados riachuelos o arroyuelos. La investigación demuestra que la erosión causada por estos arroyuelos explica la mayor parte de los sedimentos que son arrastrados pendiente abajo. Pero los arroyuelos son efímeros y pueden eliminarse mediante un buen tratamiento de superficie.

¹⁰ UNIVERSIDDA DE PIURA. Op. cit., p. 13

¹⁴ Ibid. P. 35

Gully erosión: es la erosión que se origina cuando el agua alcanza velocidades importantes, a partir de grandes pendientes, produciendo verdaderas galerías erosivas. En general, se da en laderas escarpadas.

Streambank erosión: es la erosión producida en las márgenes de las corrientes de agua. Los márgenes de los ríos son particularmente vulnerables a la erosión, especialmente cuando la velocidad del agua que fluye es alta y la resistencia del material de la ribera es baja.

Shore line erosión ó Mass wasting: es la erosión en las costas marítimas que ocasiona desmoronamientos. Estos desmoronamientos transportan gran cantidad de sedimentos dentro de las corrientes de agua.

“En cuanto a las soluciones posibles del problema, en la Figura se puede apreciar que, a medida que pasamos de RAINSPLASH a MASS WASTING, la energía necesaria a poner en juego que demandan estas soluciones son cada vez mayores y, con esto, se produce un aumento en los costos.”¹³

2.4 MARCO LEGAL

Las siguientes leyes y decretos que se toman para el presente tratado indican las restricciones o permisos a tener en cuenta para la realización de los estudios en cauces naturales dando a conocer que no hay ningún problema en realizar los análisis en el tramo seleccionado y que el tomar las muestras para los ensayos de suelos no es significativo lo cual no requiere de permisos o consentimientos para tomar el material del río.

DECRETO 1541 DE 1978

(Julio 28)

Modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981

“Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.

El Presidente de la República en ejercicio de sus facultades constitucionales, en especial de las que le confiere el ordinal 3 del artículo 120 de la Constitución Nacional,”¹⁵

DECRETA:

TÍTULO I

Disposiciones generales

CAPÍTULO ÚNICO

“Artículo 1º.- Para cumplir los objetivos establecidos por el artículo 2 del Decreto-Ley 2811 de 1974, este Decreto tiene por finalidad reglamentar las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados, y comprende los siguientes aspectos:

¹⁵ ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. [En línea]. 1978. [Recuperado el día 5 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1250>

- 1) El dominio de las aguas, cauces y riberas, y normas que rigen su aprovechamiento sujeto a prioridades, en orden a asegurar el desarrollo humano, económico y social, con arreglo al interés general de la comunidad.
- 2) La reglamentación de las aguas, ocupación de los cauces y la declaración de reservas de agotamiento, en orden a asegurar su preservación cuantitativa para garantizar la disponibilidad permanente del recurso.
- 3) Las restricciones y limitaciones al dominio en orden a asegurar el aprovechamiento de las aguas por todos los usuarios.
- 4) El régimen a que están sometidas ciertas categorías especiales de agua.
- 5) Las condiciones para la construcción de obras hidráulicas que garanticen la correcta y eficiente utilización del recurso, así como la protección de los demás recursos relacionados con el agua.
- 6) La conservación de las aguas y sus cauces, en orden a asegurar la preservación cualitativa del recurso y a proteger los demás recursos que dependan de ella.
- 7) Las cargas pecuniarias en razón del uso del recurso y para asegurar su mantenimiento y conservación, así como el pago de las obras hidráulicas que se construyan en beneficio de los usuarios.
- 8) Las sanciones y las causales de caducidad a que haya lugar por la infracción de las normas o por el incumplimiento de las obligaciones contraídas por los usuarios.

Artículo 2°.- La preservación y manejo de las aguas son de utilidad pública e interés social, el tenor de lo dispuesto por el artículo 1 del Decreto-Ley 2811 de 1974:

En el manejo y uso del recurso de agua, tanto la administración como los usuarios, sean éstos de agua o privadas, cumplirán los principios generales y las reglas establecidas por el Código Nacional de recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, especialmente los consagrados en los artículos 9 y 45 a 49 del citado Código.

Artículo 3°.- Al tenor de lo dispuesto por los artículos 37 y 38 del Decreto-Ley 133 de 1976, al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, corresponde asesorar al Gobierno en la formulación de la política ambiental y colaborar en la coordinación de su ejecución cuando ésta corresponda a otras entidades.

La administración y manejo del recurso hídrico corresponde al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, salvo cuando esta función haya sido adscrita por la ley y otras entidades, en cuyo caso estas entidades deberán cumplir y hacer cumplir las disposiciones de este Decreto, en conformidad con la política nacional y las normas de coordinación que establezca el Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente, Inderena.”¹⁵

TÍTULO II

Del dominio de las aguas, cauces y riberas.

CAPÍTULO I

“Del dominio de las aguas

Artículo 4°.- En conformidad con lo establecido por los artículos 80 y 82 del Decreto-Ley 2811 de 1974, las aguas se dividen en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de

¹⁵ ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. Op. cit., p. 21

dominio privado. Para efectos de interpretación, cuando se hable de aguas, sin otra calificación, se deberá entender las de uso público.

Artículo 5°.- Son aguas de uso público:

Los ríos y todas las aguas que corran por cauces naturales de modo permanente o no;

Las aguas que corran por cauces artificiales que hayan sido derivadas de un cauce natural;

Los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos;

Las aguas que estén en la atmósfera;

Las corrientes y depósitos de aguas subterráneas;

Las aguas y lluvias;

Las aguas privadas, que no sean usadas por tres (3) años consecutivos, a partir de la vigencia del Decreto-Ley 2811 de 1974, cuando así se declara mediante providencia del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, previo el trámite previsto en este Decreto, y

Las demás aguas, en todos sus estados y forman, a que se refiere el artículo 77 del Decreto-Ley 2811 de 1974, siempre y cuando no nazcan y mueran dentro del mismo predio.

Artículo 6°.- Son aguas de propiedad privada, siempre que no se dejen de usar por el dueño de la heredad por tres (3) años continuos, aquellas que brotan naturalmente y que desaparecen por infiltración o evaporación dentro de una misma heredad.

Artículo 7°.- El dominio que ejerce la Nación sobre las aguas de uso público, conforme al artículo 80 del Decreto-Ley 2811 de 1974, no implica su usufructo como bienes fiscales, sino por pertenecer a ellas al Estado, a éste incumbe el control o supervigilancia sobre el uso y goce que les corresponden a los particulares, de conformidad con las reglas del Decreto-Ley 2811 de 1974 y las contenidas en el presente Decreto.

Artículo 8°.- No se puede derivar aguas fuentes o depósitos de agua de dominio público, ni usarlas para ningún objeto, sino con arreglo a las disposiciones del Decreto-Ley 2811 de 1974 y del presente reglamento.

Artículo 9°.- El dominio sobre las aguas de uso público no prescribe en ningún caso.

Artículo 10°.- Haya objeto ilícito en la enajenación de las aguas de uso público. Sobre ellas no puede constituirse derechos independientes del fondo para cuyo beneficio se deriven.

Por lo tanto, nula toda acción o transacción hecha por propietarios de fundos en los cuales existan o por los cuales corran aguas de dominio público o se beneficien de ellas en cuanto incluyan tales aguas para el acto o negocio de cesión o transferencia de dominio.

Igualmente será nula la cesión o transferencia, total o parcial, del solo derecho al uso del agua, sin la autorización a que se refiere el artículo 95 del Decreto-Ley 2811 de 1974.¹⁶

CAPÍTULO II

“Dominio de los cauces y riberas

Artículo 11°.- Se entiende por cauce natural la faja de terreno que ocupan las aguas de una corriente al alcanzar sus niveles máximos por efecto de las crecientes ordinarias; y por lecho de los depósitos naturales de aguas, el suelo que ocupan hasta donde llegan los niveles ordinarios por efectos de lluvias o deshielo.

¹⁶ ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. Op. cit., p. 22

Artículo 12°.- Playa fluvial es la superficie de terreno comprendida entre la línea de las bajas de aguas de los ríos y aquellas a donde llegan éstas, ordinarias y naturalmente en su mayor incremento.

Artículo 13°.- Para los efectos de la aplicación del artículo anterior, se entiende por líneas o niveles ordinarios las cotas promedio naturales de los últimos quince (15) años tanto para las más altas como para las más bajas.

Para determinar estos promedios se tendrán en cuenta los datos que suministren las entidades que dispongan de ellos y en los casos en que esta información sea mínima o inexistente se acudirá a las que puedan dar los particulares.

Artículo 14°.- Para efectos de aplicación del artículo 83, letra d) del Decreto-Ley 2811 de 1974, cuando el Instituto Colombiano de Reforma Agraria, Incora, pretenda titular tierras aledañas a ríos, lagos procederá, conjuntamente con el Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, a delimitar las franja o zona a que se refiere éste artículo, para excluirá de la titulación.

Tratándose de terrenos de propiedad privada situados en las riberas de ríos arroyos o lagos, en los cuales no se ha delimitado la zona a que se refiere el artículo anterior, cuando por mermas, desviación o desacatamiento de las aguas, ocurridos por causas naturales, quedan permanentemente al descubierto todo o parte de sus cauces o lechos, los suelos que se tendrán como parte de la zona o franja que alude al artículo 83, letra d) del Decreto-Ley 2811 de 1974, que podrá tener hasta treinta (30) metros de ancho.

Artículo 15°.- Lo relacionado con la variación de un río y formación de nuevas islas se regirá por lo dispuesto en el Título V, Capítulo II del Libro II del Código Civil, teniendo en cuenta lo dispuesto por el artículo 83, letra d) del Decreto-Ley 2811 de 1974.

Artículo 16°.- La adjudicación de baldíos excluye la de las aguas que contengan o corran por ellos, las cuales continúan perteneciendo al dominio público.

Artículo 17°.- El dominio privado de aguas reconocido por el Decreto-Ley 2811 de 1974 y por éste reglamento, debe ejercerse en función social, y estará sujeto a las limitaciones y demás disposiciones establecidas por el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y por este reglamento.”¹⁷

TÍTULO III

De los modos de adquirir derecho al uso de las aguas y sus cauces

CAPÍTULO I

Disposiciones generales

CAPÍTULO II

“Usos por ministerio de la ley

Artículo 32°.- Todos los habitantes pueden utilizar las aguas de uso público mientras discurran por cauces naturales, para beber, bañarse, abrevar animales, lavar ropas cualesquiera otros objetos similares, de acuerdo con las normas sanitarias sobre la materia y con las de protección de los recursos naturales renovables.

¹⁷ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. Op. cit., p. 23

Este aprovechamiento común deber hacerse dentro de la restricción que estable el inciso 27 del artículo 86 del Decreto-Ley 2811 de 1974.

Artículo 33°. - Cuando se trate de aguas que discurren por un cauce artificial, también es permitido utilizarlos a todos los habitantes para usos domésticos o de abrevadero, dentro de las mismas condiciones a que se refiere el artículo anterior, y siempre que el uso a que se destinen las aguas no exija que se conserven en estado de pureza, ni se ocasionen daños al canal o aquella, o se imposibilite o estorbe el aprovechamiento del concesionario de las aguas.

Artículo 34°.- Para usar las aguas de dominio privado con fines domésticos se requiere:
Que con la utilización de estas aguas no se cauce perjuicio al fundo donde se encuentran;
Que el uso doméstico se haga sin establecer derivaciones, sin emplear máquinas, ni aparatos ni alterar o contaminar el agua en forma que se imposibilite su aprovechamiento por el dueño del predio, y
Que previamente se haya acordado con el dueño del fundo el camino y las horas para hacer efectivo ese derecho.

Artículo 35°.- Los usos de que trata los artículos precedentes, no confieren exclusividad y son gratuitos.”¹⁸

TÍTULO IV

De la explotación y ocupación de playas, cauces y lechos

CAPÍTULO I

“Permisos comunes

Artículo 87°.- Las personas interesadas en obtener permisos para extracción de materiales de arrastre de los cauces o lechos de las corrientes, depósitos de aguas deberán presentar solicitud al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, en la cual se exprese;

Nombre de la corriente o depósito cuyo cauce o lecho se proyecta explotar;

Sector del mismo en donde establecerá la exploración, precisándolo con exactitud;

Clase de material que se pretenda extraer y su destino;

Predios de propiedad particular riberaños al sector del cauce o lecho que se pretende explotar;

Explotaciones similares, aprovechamientos de aguas, puentes, viaductos y demás obras existentes en la región, que puedan afectarse con la explotación;

Sistema que se empleará en la explotación métodos para prevenir los daños al lecho o cauce, o a las obras públicas o privadas;

Declaración de efecto ambiental;

Los demás que en cada caso se consideren necesarios.

Artículo 88°.- A la solicitud deberá anexarse el plano del sector del cauce que se proyecte explotar y una memoria indicativa de las características del mismo, con especificaciones tales, que sea posible su localización en cualquier momento.

Artículo 89°.- Recibida la solicitud, el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, dispondrá”¹⁸

¹⁸ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. Op. cit., p. 24

“Que a costa del interesado se publique un extracto de la solicitud, por una vez, en el periódico de mayor circulación del Departamento o Municipio correspondiente, con el fin de que quienes se consideren perjudicados con el otorgamiento del permiso puedan hacer valer sus derechos. Dentro de los diez (10) días siguientes a la publicación del aviso, el interesado está en la obligación de entregar al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, un ejemplar del periódico, a fin de anexarlo al expediente;

Que el interesado publique en aquellos lugares donde hubiere facilidad de transmisión radial, el aviso a que se refiere el literal anterior en dos (2) días;

Que se dé traslado de la solicitud al Personero de Municipio donde se pretenda hacer la explotación para que informe si ésta puede perjudicar los intereses públicos y si el Municipio tiene establecido el impuesto a que se refieren los artículos 1º, inciso c) de la Ley 97 de 1913, y 1º, inciso a) de la Ley 81 de 1915, impuesto que en ningún caso puede ser confiscatorio, con el fin de hacer obligatorio su pago en la correspondiente resolución de permiso, y

Que se suministre los demás datos e informaciones y se practiquen las diligencias que se consideren necesarias para el estudio y decisión de la solicitud.

Artículo 90º.- Transcurridos quince (15) días después de publicado el extracto de la solicitud y cumplidos los demás requisitos a que se refiere el artículo anterior, el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, ordenará que se practique una visita ocular por funcionarios de su dependencia con el fin de estudiar los aspectos de orden técnico y demás circunstancias que permitan determinar la conveniencia o inconveniencia de otorgar el permiso, y para verificar;

La delimitación del sector del cauce que puede ser objeto de explotación;

La clase de material que se puede explotar;

Las obras que se deben construir previamente a la explotación, necesaria para evitar perjuicios, bien sea al lecho o cauce, a los demás recursos naturales renovables o a terceros;

La declaración de efecto ambiental;

La ubicación de las zonas de explotación;

La sección o secciones características del cauce en el sector a explotar y tipo de flujo de la corriente;

La profundidad máxima de la explotación y el cálculo aproximado del volumen que se va a extraer; Los sistemas permisibles de extracción;

Las zonas de tráfico y almacenamiento de material, y

Las demás circunstancias que el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, considere importantes.

Artículo 91º.- Los permisos que se otorguen para las explotaciones a que se refiere este Capítulo, estarán sujetos a las siguientes condiciones;

Que la explotación se realice solamente dentro de las zonas y hasta las profundidades máximas indicadas por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena”¹⁸

¹⁸ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. Op. cit., p. 25

“Que los sistemas de explotación sean aprobados por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena,

Que se ocupen las zonas determinadas en la resolución solamente para los fines de la explotación, y

Que se construyan las obras y se cumplan las exigencias técnicas que el Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente, Inderena, determine para evitar perjuicios a las obras existentes en las márgenes o sobre el cauce, al equilibrio hidrodinámico de la corriente, al cauce, a los demás recursos naturales o a terceros.

Artículo 92°.- Los permisos a que se refieren los artículos anteriores se otorgarán por plazos máximos de diez (10) años, y pueden ser prorrogables, a juicio del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, sin exceder dicho plazo.

Artículo 93°.- Los permisos sobre ocupación y explotaciones de cauces y lechos podrán revocarse por las mismas causales establecidas en el artículo 62 del Decreto-ley 2811 de 1974 y el Título XI, Capítulo II, de este reglamento.

Artículo 94°.- En los lugares en donde no hay un representante del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, los Alcaldes Municipales podrán suspender provisionalmente las explotaciones que puedan causar peligro o perjuicio para las poblaciones, a las obras públicas o privadas, a las aguas y a sus cauces o lechos.

En todo caso, el Alcalde remitirá lo actuado al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, dentro de los tres (3) días siguientes para quien decida en definitiva.

Artículo 95°.- El encabezamiento y la parte resolutive de las resoluciones que otorgan permiso de explotación de los lechos y cauce de los ríos y lagos se publicará en el **Diario Oficial** o en la "Gaceta Departamental", dentro de los quince (15) días siguientes a la ejecutoria de la respectiva providencia, a costa del interesado, quien dentro de los diez (10) días posteriores a la publicación deberá presentar al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, dos ejemplares del periódico en el cual se haya efectuado.

Artículo 97°.- Con el fin de garantizar el cumplimiento de lo establecido en la respectiva resolución de permiso de explotación del material de arrastre, el permisionario deberá suscribir a favor del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena. La vigencia de la póliza será por un tiempo igual al del permiso otorgado”

¹⁸ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. Op. cit., p. 26

3. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico de la investigación es no experimental tipo Exploratoria in situ en la zona de estudio desde el Tejarito hasta el Caracolí, Microcuenca del río Tejo municipio de Ocaña norte de Santander, para el levantamiento de la información (primaria y secundaria) con enfoque participativo; la cual se evaluará mediante análisis estadístico descriptivo en la sistematización y procesamiento de la misma; con el apoyo de software SIG y software para suelos y aguas HEC-RAS 4.1.0. Para el análisis de los caudales desde el punto de vista hidrológico; se generará información geográfica con información primaria y secundaria en modelos vectoriales y los modelos Ráster para obtener información geofísica de la zona de estudio será gestionada a través de los geodatos libres de los proyectos satelitales ASTER GDEM.

La investigación se desarrollará mediante la aplicación del Modelo Gestión del Recurso Hídrico de la Alianza CARDER-UTP, 2007 adoptado de la metodología del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004 con el apoyo de SIG; se realizará la caracterización de la Microcuenca del río Tejo iniciando por sus características morfométricas y morfológicas, se determinará el balance hídrico para el cálculo de la oferta hídrica superficial neta, la cuantificación de la demanda hídrica en el área de estudio; el estudio y análisis de erosión a través del uso de software SIG con insumos de imágenes satelitales multiespectral de alta resolución y orto mosaicos de la Microcuenca del río Tejo imágenes que son propiedad de la compañía LV ingeniería y que se facilitaron por parte de su división técnica para este estudio.

3.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

En la realización de este trabajo se utilizará un tipo de investigación aplicada, descriptiva y cuantitativa, de esta manera se utilizarán los datos obtenidos en la recolección de información haciendo un recorrido a lo largo del tramo en estudio y realizando los respectivos cálculos y así obtener resultados que nos llevarán a dar conclusiones y posibles soluciones al problema de investigación.

3.2. ÁREA

Las estructuras hidráulicas que se encuentran a lo largo del recorrido del cauce están conformadas por muros de contención, puentes peatonales y vehiculares que se pueden ver afectadas por el fenómeno de la erosión, principalmente la cimentación. A lo largo del tramo en estudio están ubicados 19 barrios del municipio de Ocaña, lo que nos indica la importancia que tiene este sector de investigación y el aporte que se generaría obtener los resultados de este estudio para la comunidad.

3.3.MUESTRA

En este proyecto la muestra es el tramo del Rio Tejo comprendido desde el puente Tejarito hasta la afluencia con el rio Chiquito, enfocándose principalmente en como la erosión afecta las infraestructuras en este tramo ya sea estructura paralelas al cauce como muros de contención o transversales al cauce como puentes vehiculares y peatonales.

3.4. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recolección de la información necesaria para la ejecución del proyecto se obtendrá de trabajo en campo y de estudios complementarios que permitirán conocer las variables necesarias para la estimación de la erosión.

La información se obtendrá llevando a cabo los siguientes procedimientos:

Se ejecutara un levantamiento batimétrico del tramo de rio seleccionado, utilizando miras, GPS, cinta, que indique la profundidad y medidas de secciones escogidas del tramo.

Se realizaran 6 sondeos en lugares estratégicos del tramo a una profundidad menor a 50cms que indicaran las características que tiene el suelo, estas muestra se llevaran al laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman el suelo.

Para el estudio hidrológico se tomaran los gastos asociados a diferentes periodos de retorno tomándose en cuenta la información de las estaciones hidrométricas de la zona y la que se utilizó para el diseño del plan maestro de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

La información para la modelación hidráulica es la que requiere el programa de HEC-RAS 4.1.0 y que se obtendrá de la batimetría realizada.

3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

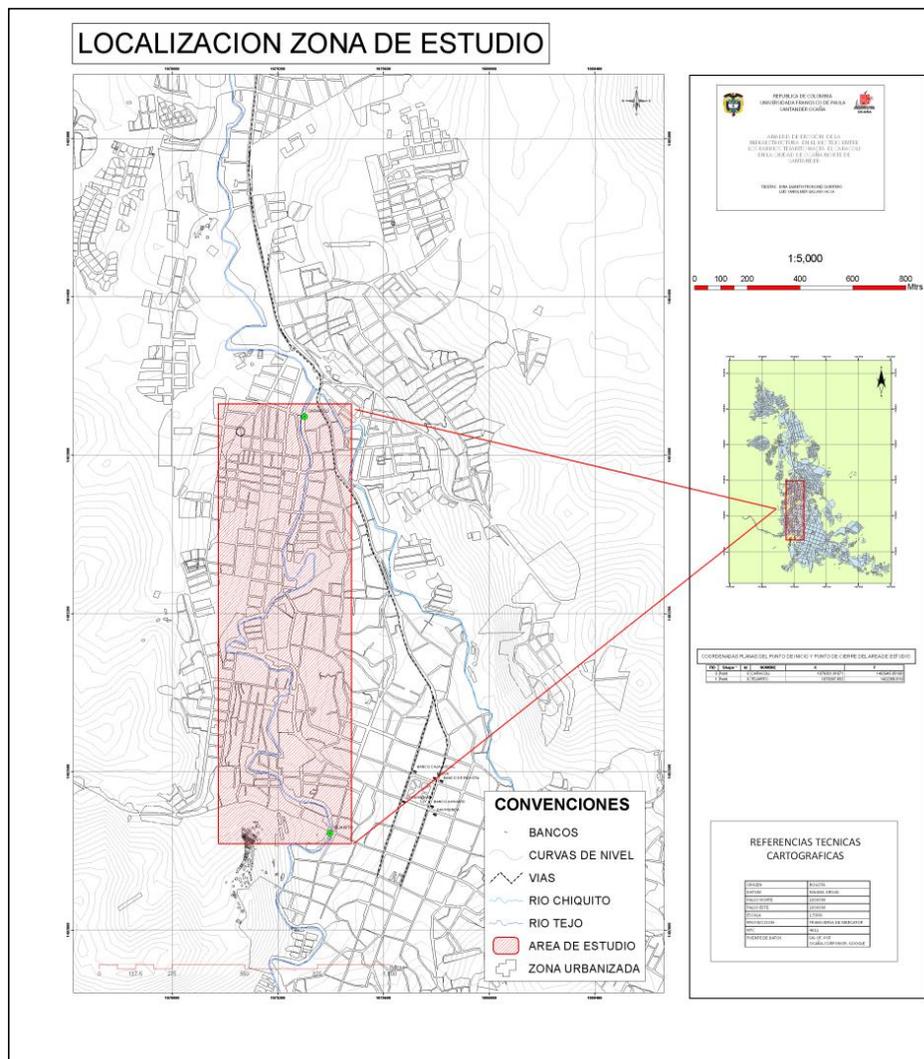
La información recolectada se procesará en hojas de cálculo Excel para posteriormente introducirla en el programa requerido HEC RAS 4.1.0 y/o en las ecuaciones o formulas necesarias para los estudios hidráulico, hidrológico y de erosión, esta información se interpretará para los requerimientos de dichos estudios, como por ejemplo con la información se encontrará el caudal que transporta el rio, la sección que tiene el rio en diversos tramos y el tipo de suelo presente en el rio, entre otras variables necesarias para desarrollar los análisis.

4. RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA EXISTENTE RELACIONADA CON VARIABLES TOPOGRÁFICA, ESTUDIO DE SUELOS, HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA EL ÁREA EN ESTUDIO.

4.1.1 Localización geográfica del área de estudio

Imagen 1. Localización área de estudio.



Fuente Autores del proyecto.

Para realizar el presente trabajo se especializo la zona de estudio entre los barrios el caracolí y el Tejarito desde el par de coordenadas:

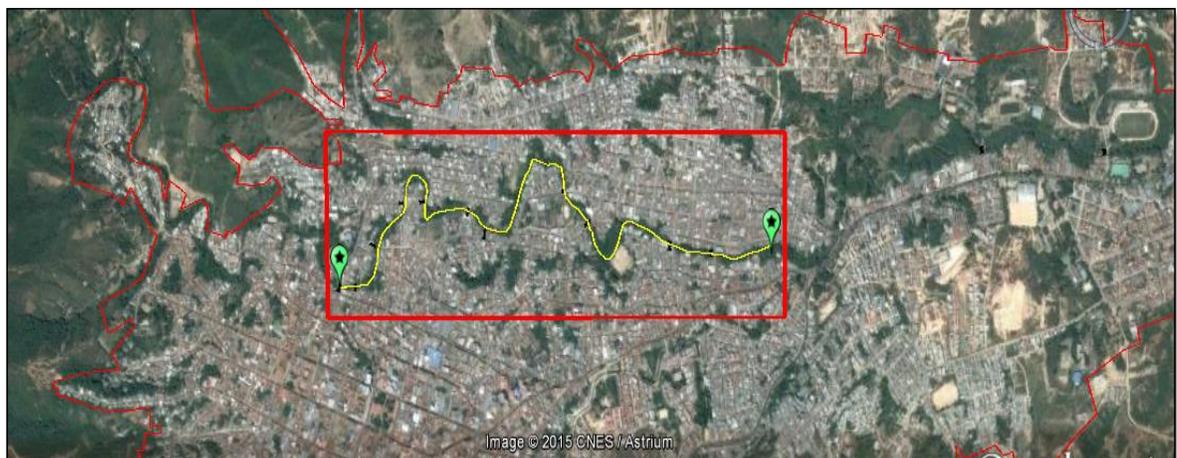
Cuadro 1. Coordenadas del punto inicial y final del tramo en estudio.

NOMBRE	NORTE	ESTE	Cota
CARACOLI	1403945.85198	1079301.81671	1164
TEJARITO	1402366.619	1079397.653	1182

Fuente Autores del proyecto.

Para poder llevar a cabo la especialización de la zona de trabajo se gestionó información geográfica en formato CAD , procedente del plan de ordenamiento territorial de Ocaña, al cual se le asignó un sistema de referencia después de importar el formato CAD a el software SIG ARCGIS, por norma técnica 4611 y reglamentación del IGAC el sistema de referencia para Colombia es el **MAGNA SIRGAS COLOMBIA BOGOTA**, es importante aclarar que el municipio de Ocaña no ha migrado a el Datum oficial para Colombia y que aun trabaja con el Datum Bogotá, lo cual dificulta el trabajo cartográfico en primera instancia, luego de importar el archivo CAD a ArcGIS y asignación de un sistema de referencia de coordenadas se realizó una extracción de información vectorial para nuestro caso el limite municipal y el manzaneo del casco urbano para contar con la base para posteriores digitalizaciones de información geográfica, la información sobre el área de estudio fue digitalizada sobre el CAD original del casco urbano a escala 1:5000.

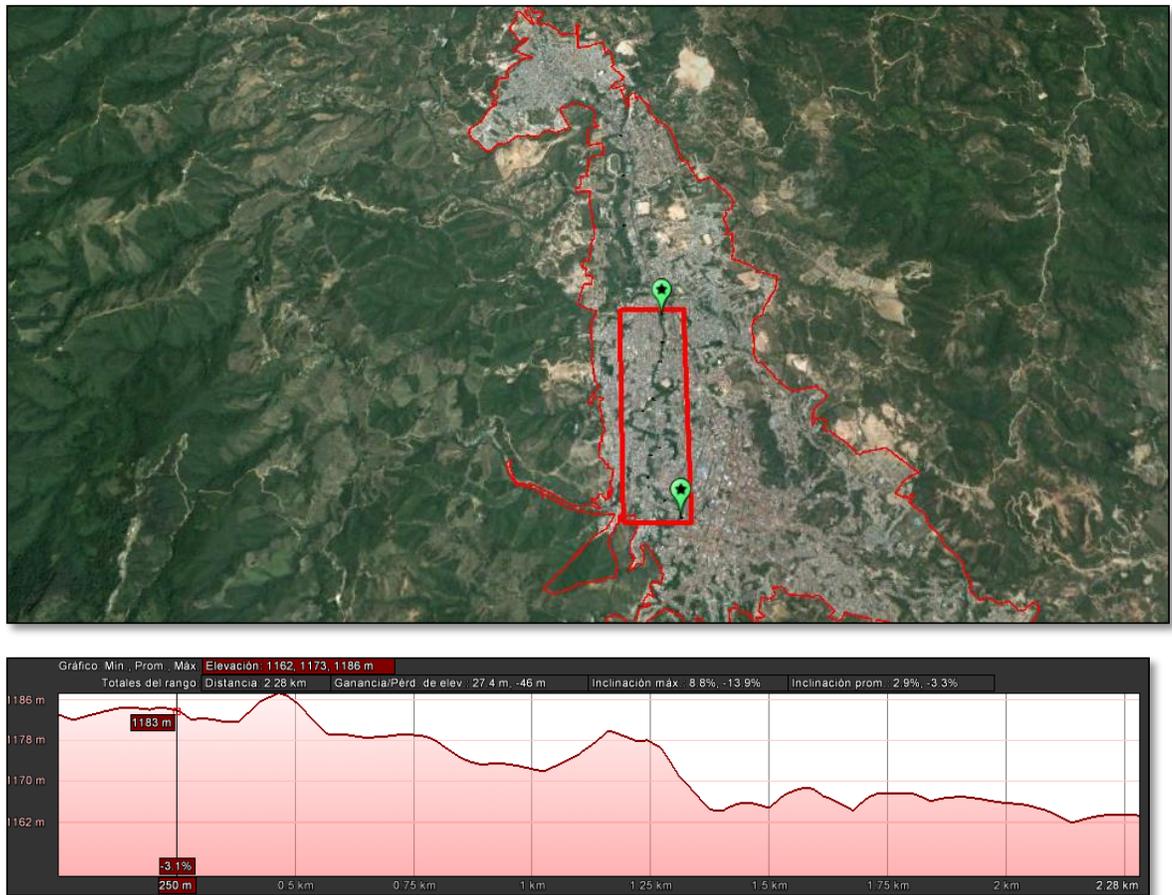
Imagen 2. Localización geográfica de la zona de estudio en el casco urbano del municipio de Ocaña norte de Santander



Fuente Google Earth website

Se recorrieron un total de 2.28km desde el tejarito hasta el caracolí siendo la cota máxima en este tramo de 1186 mtrs en la coordenada Norte: 1402658,573 ESTE: 1079092,876

Imagen 3. Perfil de elevación del tramo recorrido entre el caracolí y el Tejarito.

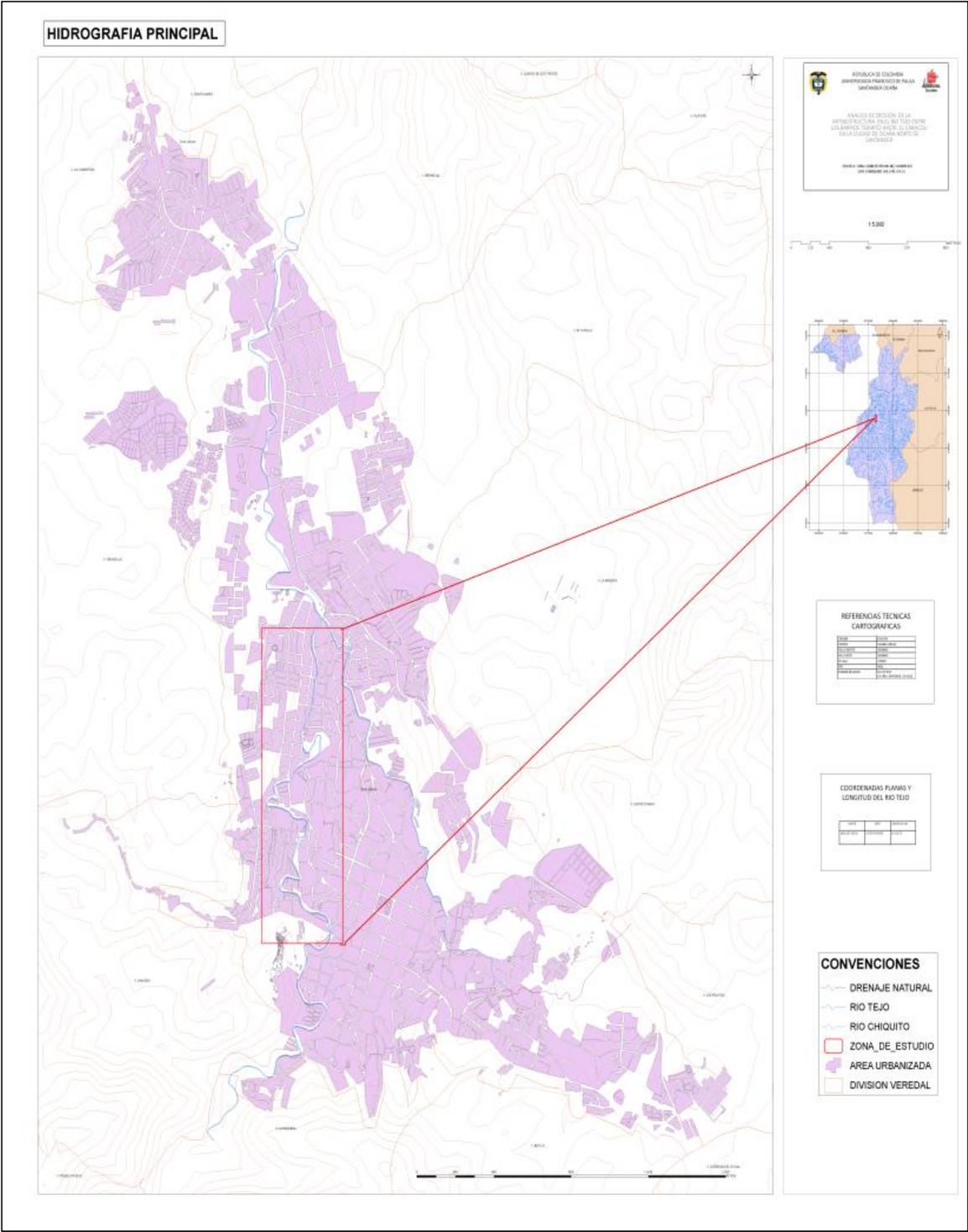


Fuente Google Earth website

4.1.2 Hidrografía

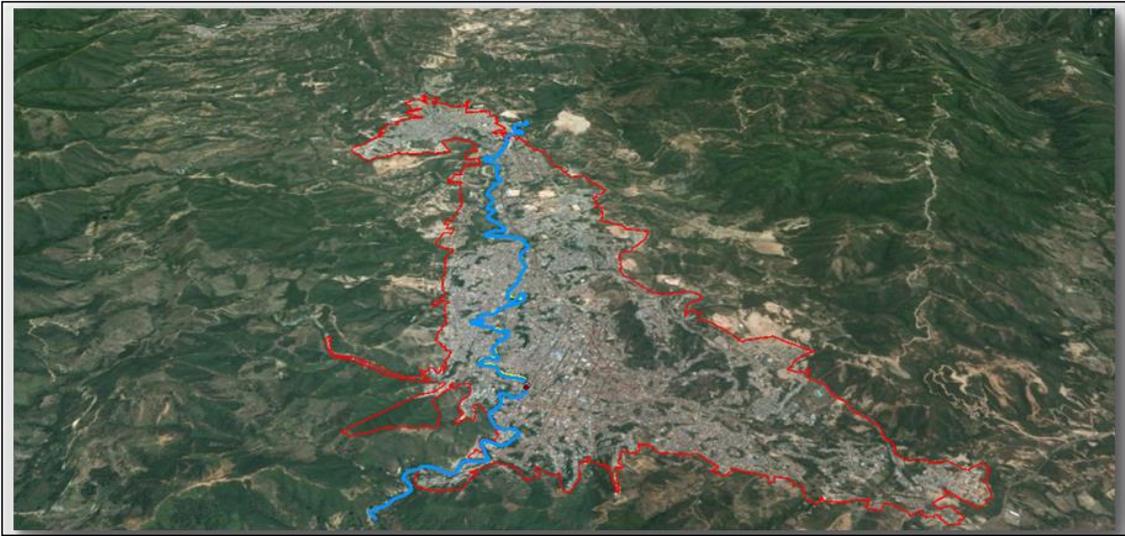
El municipio de Ocaña cuenta con una de las redes hídricas más pequeñas del país siendo su afluente más importante el río algodonal, el cual no hace parte de la red Hídrica del casco urbano del municipio como lo muestra la temática de HIDROGRAFIA PRINCIPAL, los afluentes más importantes en el casco urbano del municipio son los denominados río tejo y chiquito, juntos ríos hacen parte de la cuenca del río algodonal parte alta, con una longitud de 18.521km el río tejo es el principal afluente con sus coordenadas de origen N: 1401287.42928; E: 1078674.54385 su punto medio se ubica en la coordenada 1079210.77391; 1406250.65946, esta corriente Hídrica atraviesa la ciudad de norte a sur y en su recorrido colecta las aguas lluvias de casi toda la zona urbana

Imagen 4. Mapa Hídrico de Ocaña.



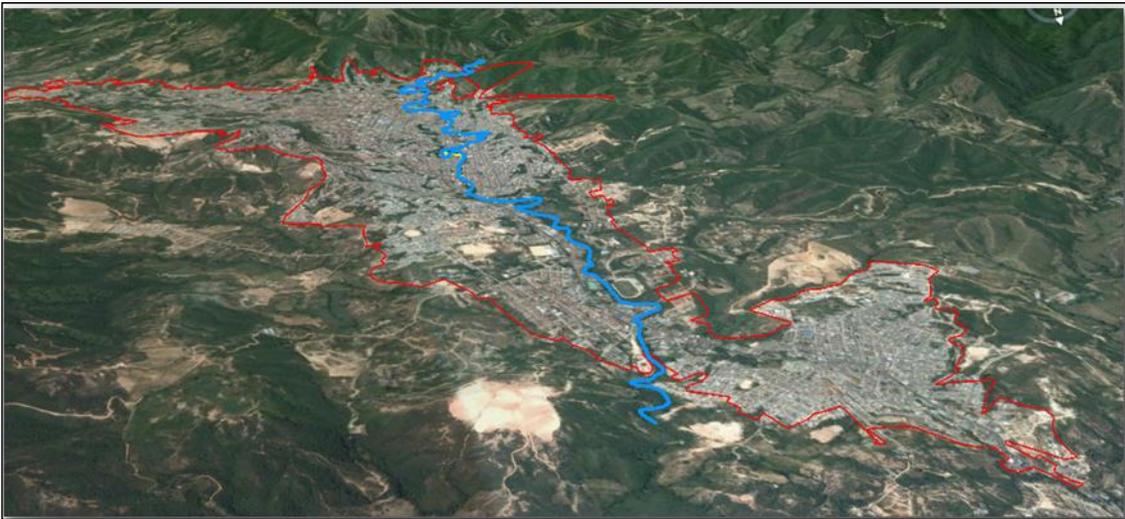
Fuente Autores del proyecto.

Imagen 5. Cauce del río Tejo en su paso por el casco urbano del municipio de Ocaña.



Fuente Google Earth website

Imagen 6. Cauce del Tejo vista de observación desde el norte de la ciudad de Ocaña.



Fuente Google Earth website

4.2 DESARROLLO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO QUE PERMITE ESTIMAR CAUDALES ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN LA CUENCA DEL RÍO TEJO A LA ALTURA DE SU UNIÓN CON EL RÍO CHIQUITO.

El estudio hidrológico es el proceso a través del cual se efectúa, de la mejor manera posible, una estimación confiable de los caudales máximos que circulan por un cauce natural. Esta información es de vital importancia, puesto que un error en los caudales implica un error en el estudio hidráulico.

Para la realización del estudio hidrológico, fue necesario recopilar la información disponible para la zona. Luego, se buscó la mejor metodología para la estimación de caudales máximos, de acuerdo con la información y el objetivo del proyecto.

El objeto de este estudio este dirigido a la estimación de caudales asociados a diferentes periodos de retorno en la cuenca del río Tejo a la altura de su unión con el río Chiquito.

4.2.1. Cuenca Hidrográfica. La cuenca del río Tejo, con un área de 42.55 km² hasta su afluencia con el río Chiquito, se encuentra localizada sobre el flanco occidental de la parte alta de la cordillera oriental en el Municipio de Ocaña en el departamento Norte de Santander, El sitio de estudio se encuentra localizado en el casco urbano del municipio de Ocaña, en el sector del río Tejo comprendido entre los puentes Tejarito hasta la afluencia con el Río Chiquito, pasando por los barrios Tejarito, Santa Eudisia, Las Delicias, El Torito, Urbanización Central entre otros.

La jerarquización de la red de drenaje a la que pertenece la corriente en estudio es la que se indica a continuación:

Cuenca hidrográfica del Catatumbo

Subcuenca Hidrográfica del Río Algodonal

Microcuenca hidrográfica del Río Tejo.

En un ámbito más local, el Río Tejo vierte sus aguas en el Río algodonal, el cual se transforma posteriormente en el Río Catatumbo.

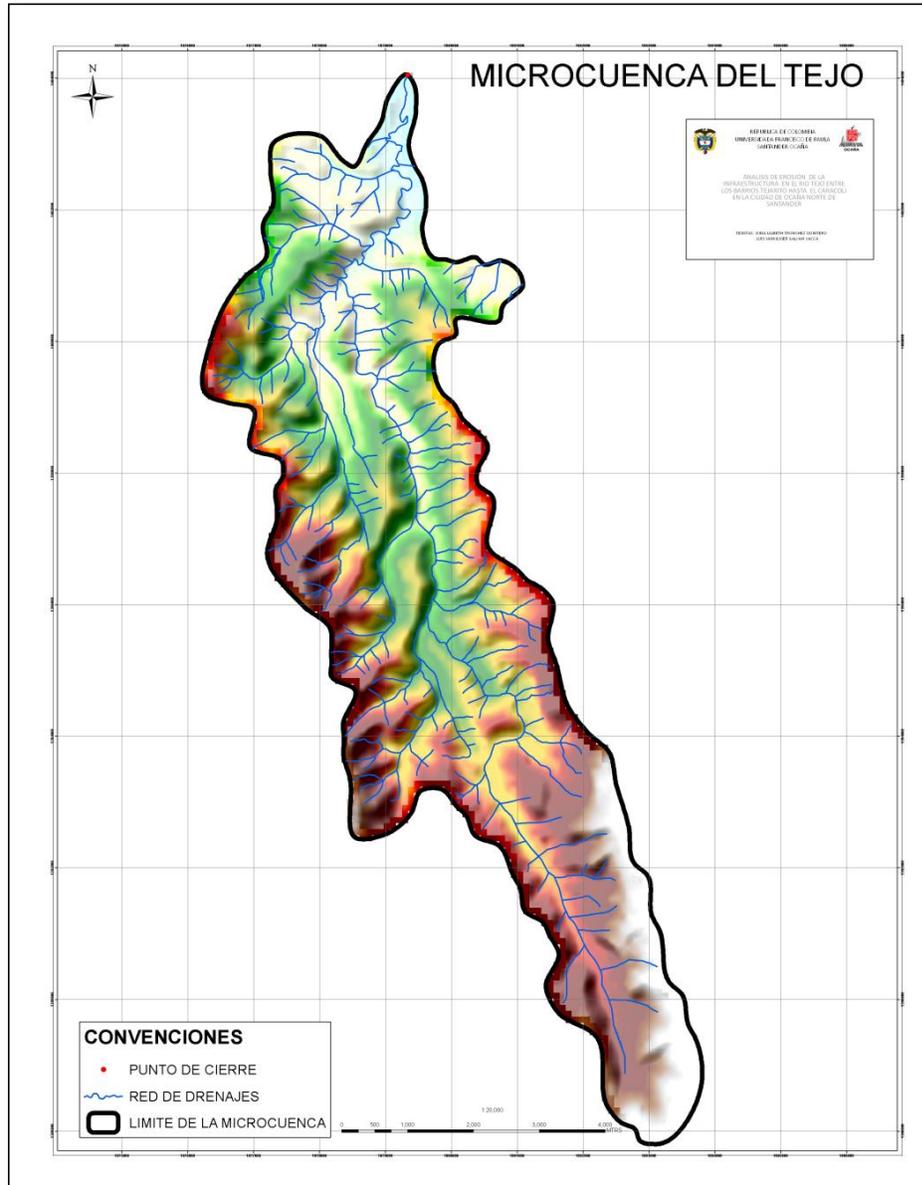
Para realizar el estudio a nivel de la cuenca hidrográfica del Río Tejo, se procedió a descargar un modelo digital de elevación a una resolución de 30 mtrs, el cual obtuvimos de la página oficial del programa espacial ASTERGDEM, un DEM es un archivo tipo RASTER el cual contiene información de elevación y red Hídrica de la zona, este modelo digital de elevación es el insumo principal para el estudio hidrológico.

Geolocalización de la Microcuenca del Río Tejo tomando como punto de cierre o desfogue las coordenadas.

Cuadro 2. Coordenadas del punto de cierre seleccionado para la Microcuenca del río Tejo.

	GEOLOCALIZACION	
NOMBRE	COORDENADA X	COORDENADA Y
PUNTO DE CIERRE	1079340.977	1404052.374

Imagen 7. Delimitación Microcuenca del río Tejo.

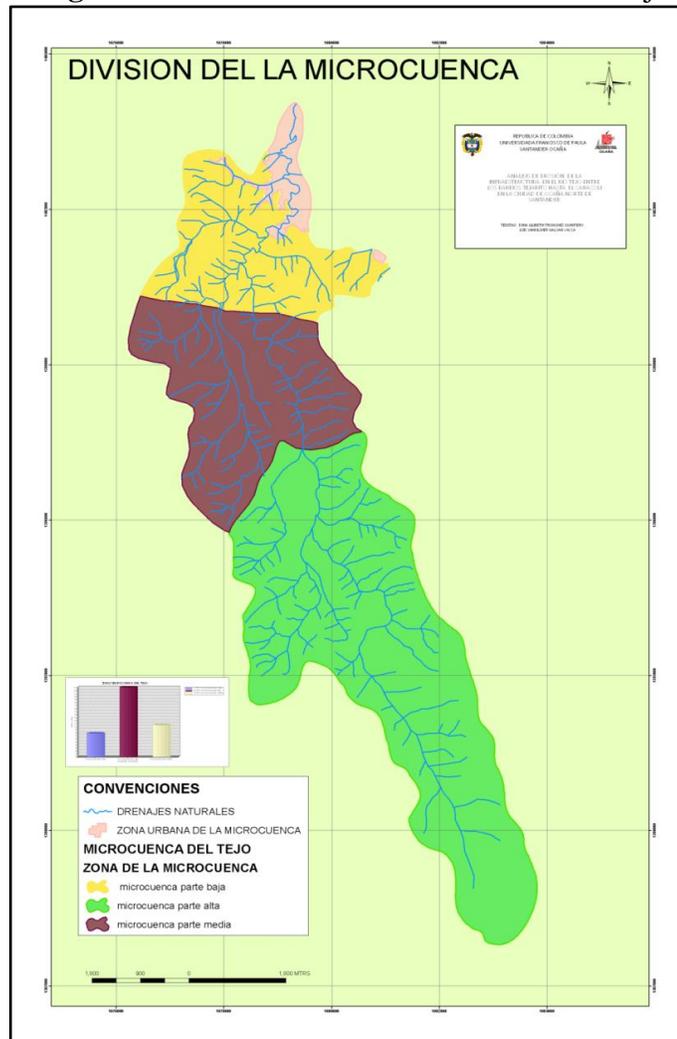


Fuente Autores del proyecto.

4.2.2 Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Tejo. Con el fin de estudiar la afinidad hidrológica de la cuenca, se han introducido diversos conceptos gráficos e índices que ponen en evidencia sus características más salientes desde distintos puntos de vista. Conocer las características morfométricas de la cuenca es importante para lograr una idea concreta de lo que ha sido la historia de la cuenca en estudio, y para precisar su situación actual.

Las principales características que se analizan son: la longitud del cauce, el área de la cuenca y la pendiente del cauce principal. La estimación de estos valores se determinó con el software SIG ARCGIS, además se calculan los parámetros de la cuenca con fórmulas que se encuentran en la literatura que describen las características que ayudan a comprender el comportamiento de la cuenca.

Imagen 8. División de la Microcuenca del río Tejo.



Fuente Autores del proyecto.

Debido a la magnitud del área de drenaje de la cuenca es necesario subdividir la cuenca en Subcuencas y aplicar los métodos a cada una para que el margen de error sea el mínimo posible y debido a las metodologías y procedimientos a utilizar que condicionan su uso dependiendo del área de drenaje.

4.2.3 Parámetros Morfométricos. La forma de la hoya está relacionada con el tiempo de concentración de escurrimiento, generalmente está dado por el *índice de Gravelius o el coeficiente de Compacidad Kc*, expresado como:

A = área de drenaje

P = perímetro de la cuenca

Cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su Kc, una cuenca con coeficiente igual o superior a la unidad (1), tendrá mayor tendencia a las crecientes.

EL FACTOR DE FORMA (KF)

Es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca y de su área promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor de forma tiende a uno.

Este factor, es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, en comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base principalmente.

A = área de drenaje

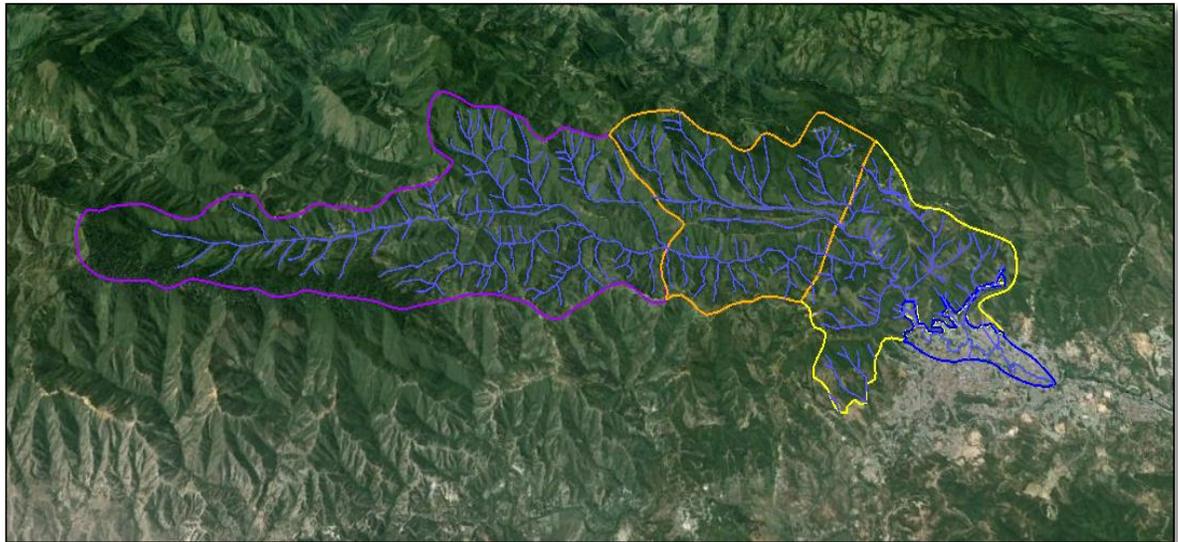
L = longitud axial de la cuenca, distancia en línea recta entre la parte más alta de la cuenca y la parte más baja o de desembocadura (FAO, 1985).

DENSIDAD DE DRENAJE (Dd)

Relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. Indiscutiblemente la densidad de drenaje está directamente relacionada con la escala a la que fueron derivados los drenajes.

Usualmente (Dd), toma valores entre 0,5 km/km² para hoyas con drenajes pobre, hasta 3,5 km/km² para hoyas excepcionalmente bien drenadas. Esta característica está directamente relacionada con la escala de trabajo a la cual fueron generadas las corrientes y área de la cuenca.

Imagen 9. Drenaje presente en la Microcuenca.



Fuente Google Earth website

SINUOSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL (S)

Relación que existe entre la longitud del cauce principal (L_c) y la longitud del valle del cauce principal (L_v) medida en línea recta o curva.

Un valor de la sinuosidad mayor o igual a 1.5 define a un cauce meándrico, entre 1 y 1.5 cauce sinuoso y si adopta un valor de 1 se considera que el cauce es recto.

TIEMPO DE CONCENTRACION (T_c)

El Tiempo de Concentración se refiere al tiempo de viaje de una gota de lluvia desde el lugar más lejano (en tiempo) de la cuenca hasta el punto de desagüe. La estimación del tiempo de concentración se realizó empleando varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica (Ven Te Chow, 1994). Se recomienda el uso de varias ecuaciones, debido a que se trata de estimaciones previas realizadas para unas condiciones particulares diferentes a las de estas regiones, y ya que el estudio sobre el Río Tejo se refiere a cuencas de montaña, se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes. En todas estas ecuaciones, T_c es el tiempo de concentración en horas, L es la longitud del cauce principal en km, S es la pendiente del cauce en m/m, H es el desnivel existente entre el punto más alto de la cuenca y el punto de desagüe en m y A es el área de la cuenca en km^2 .

Los resultados de la estimación del tiempo de concentración se muestran en el cuadro 3. donde se pueden observar las diferencias entre las distintas ecuaciones, por lo que finalmente se propone utilizar el valor de la ecuación de Kirpich.

Cuadro 3. Tiempos de concentración para las diferentes ecuaciones encontradas.

Subcuenca	Tc. Témez	Tc. Clark	Tc. Kirpich	Tc. Passini
Subcuenca Tejo parte alta	3.69	3.64	1.09	1.75
Subcuenca Tejo parte media	1.63	2.13	0.49	0.94
Subcuenca Sector Urbano	1.11	1.35	0.37	0.31
Cuenca Completa	4.42	4.99	1.37	1.06

Fuente Autores del proyecto.

En la Tabla 2, se presentan las principales características morfométricas de la cuenca, correspondientes al área de drenaje, perímetros, elevaciones y pendientes de ladera etc., para las Subcuencas definidas para el río Tejo, a la altura de la afluencia con el río Chiquito, en la ciudad de Ocaña.

Cuadro 4. Valores de los parámetros morfométricos para cada una de las Subcuencas.

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	VALOR DE LOS PARAMETROS PARA CADA SUBCUENCA			
	TEJO PARTE ALTA	TEJO PARTE MEDIA	TEJO SECTOR URBANO	TODA
Área Superficial (Km ²)	28.278	10.512	3.764	42.554
Perímetro (Km)	48.066	20.315	8.72	57.312
Pendiente Media de la Cuenca (%)	25.51%	21.54%	12.96%	20.0%
Elevación Media (msnm)	1687	1362	1290	1446.3
Índice de Gravelius	2.531	1.754	1.258	2.460
Longitud Axial de la Cuenca (Km)	20.302	7.053	3.310	30.665
Factor de Forma	0.069	0.211	0.344	0.045
Longitud del Cauce Principal (Km)	19.332	6.313	3.37	23.027
Longitud de drenajes (Km)	38.412	17.659	3.852	59.923
Densidad de Drenajes (Km/Km ²)	1.358	1.680	1.023	1.408
Tiempo de concentración (Min). Formula de Kirpich	65.74	29.64	22.2	82.2

Fuente Autores del proyecto.

4.2.4 Metodología para el Cálculo de Caudales Máximos. Para el estudio de caudales máximos con información escasa, se procede a realizar una estimación de éstos empleando métodos empíricos, que requieren pocos datos y arrojan valores válidos, pero con incertidumbres altas. Se realiza también una estimación de los caudales máximos, basándose en la información de lluvia disponible en la zona de estudio, mediante las metodologías del Hidrograma Unitario. Con base en todos los cálculos de caudales

máximos disponibles se procede a la elección de los caudales de diseño para los diferentes periodos de retorno.

4.2.4.1 Selección de los periodos de retorno. La selección del periodo de retorno a utilizar no es tarea fácil. Normalmente se debe buscar un acuerdo entre el riesgo que se quiere asumir, el tipo de proyecto, los costos o pérdidas en caso de una inundación y la información disponible. En el caso de estudio del tramo urbano del Río Tejo, se tiene que la información es escasa, el proyecto involucra barrios habitados en donde las pérdidas pueden llegar a ser muy significativas, y el riesgo es alto puesto que existen evidencias de erosión en la zona. Por todo esto, se deben emplear periodos de retorno altos.

4.2.4.2 Análisis de Precipitación. Para el presente estudio, la información meteorológica empleada corresponde a la registrada en la estación Universidad Francisco de Paula Santander, a partir de esta información se elaboraron las curvas IDF empleadas en el presente estudio. En el cuadro 5, se presentan los valores de precipitación máxima en 24 horas, para el periodo de registros.

Cuadro 5, Datos de Precipitación Máxima en 24 horas, registrados en la estación Universidad Francisco de Paula Santander

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	0.030	0.03
1992	45.0	0.0	0.0	30.0	25.0	33.0	15.0	30.0	25.0	20.0	36.0	7.0	45.00
1993	8.0	10.0	37.0	24.0	24.0	8.0	15.0	22.0	16.0	20.0	10.0	0.0	37.00
1994	2.3	27.0	6.0	103.0	56.0	2.0	33.0	28.4	34.9	26.9	48.0	6.0	103.00
1995	3.7	0.6	29.0	48.5	50.0	44.0	24.0	25.0	60.0	33.0	48.0	2.0	60.00
1996	1.0	1.0	38.0	32.0	26.0	44.0	75.0	12.0	27.1	68.7	18.0	11.0	75.00
1997	9.0	0.2	11.4	41.4	31.8	20.4	9.4	15.6	30.5	15.2	50.2	0.0	50.20
1998	16.4	14.4	87.0	26.0	25.6	26.6	31.0	37.0	43.0	29.9	14.8	13.6	87.00
1999	0.8	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	0.80
2000	21.3	11.9	1.8	9.6	59.9	12.7	12.4	14.6	88.6	22.4	25.2	70.2	88.60
2001	3.5	0.0	10.4	9.8	43.5	8.2	29.4	12.0	30.0	30.5	34.2	22.6	43.50
2002	0.0	2.5	25.5	47.4	17.1	15.6	22.9	9.5	50.5	21.5	6.8	13.8	50.50
2003	0.8	5.0	43.3	51.1	15.8	22.6	15.5	28.2	48.7	54.8	30.0	10.0	54.80
2004	0.0	12.7	0.0	35.5	29.9	13.2	18.2	13.5	25.1	44.7	29.8	14.2	44.70
2005	16.3	10.0	21.3	31.9	60.0	51.8	10.0	19.0	22.1	43.5	35.0	15.7	60.00
2006	30.1	1.1	26.2	29.2	32.5	43.2	18.5	****	32.6	21.6	45.2	0.8	45.20
2007	3.4	0.0	5.2	41.1	35.4	19.4	16.2	24.3	42.9	51.2	42.8	4.1	51.20
2008	0.0	0.3	29.8	59.4	27.0	10.4	22.0	33.4	31.7	32.1	69.6	9.7	69.60
2009	9.6	1.9	8.8	32.7	48.1	19.7	9.0	14.5	25.1	17.3	41.1	3.1	48.10
2010	0.2	24.8	35.7	35.9	76.8	29.7	21.5	27.4	19.1	28.1	28.9	22.3	76.80
2011	14.3	4.8	30.4	80.1	24.7	68.2	26.5	42.2	24.2	38.4	18.8	11.2	80.10
2012	6.6	0.0	7.9	34.2	****	****	****	****	****	****	****	****	34.20
MAX	45.0	27.0	87.0	103.0	76.8	68.2	75.0	42.2	88.6	68.7	69.6	70.2	103.0

Fuente: IDEAM 2013

El Río Tejo no cuenta con estaciones hidrométricas en el sector en estudio, que permitan obtener magnitudes directas del caudal que este sistema ostenta, por tal motivo se considera pertinente la implementación del método lluvia escorrentía para la estimación de caudales. Las curvas IDF de la ciudad de Ocaña, obtenidas a partir de la información registrada en la Tabla 3, pueden ser reproducidas a partir de la ecuación que se indica a continuación: En la cuadro 6 se presenta los valores de Pmax 24h correspondientes a diversos periodos de retorno y duraciones.

Cuadro 6, Precipitaciones máximas para diversos periodos de retorno y duraciones.

Tiempo de Duración	Precipitación máxima (mm), para diferentes tiempos de duración, de acuerdo al Periodo de Retorno							
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
24 hr	60.18	97.93	122.92	154.50	177.92	191.54	201.18	254.91
18 hr	54.77	89.12	111.86	140.59	161.91	174.30	183.07	231.97
12 hr	48.15	78.34	98.34	123.60	142.34	153.23	160.94	203.93
8 hr	40.93	66.59	83.59	105.06	120.99	130.25	136.80	173.34
6 hr	36.71	59.74	74.98	94.24	108.53	116.84	122.72	155.49
5 hr	34.30	55.82	70.07	88.06	101.42	109.18	114.67	145.30
4 hr	31.30	50.92	63.92	80.34	92.52	99.60	104.61	132.55
3 hr	27.68	45.05	56.54	71.07	81.85	88.11	92.54	117.26
2 hr	23.47	38.19	47.94	60.25	69.39	74.70	78.46	99.41
1 hr	18.06	29.38	36.88	46.35	53.38	57.46	60.35	76.47

Fuente: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Ocaña.

Las intensidades de lluvia para la tormenta de diseño, de duración igual a 90 min, que corresponde al valor aproximado del tiempo de concentración de la cuenca.

En el cuadro 7, se presentan los valores obtenidos a partir de las curvas IDF de la ciudad de Ocaña, para la duración de diseño y para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años; este último de interés particular para el análisis de socavación del cauce.

Cuadro 7, Intensidades de lluvia, para diferentes periodos de retorno, para una duración de 90 min.

Periodo de retorno TR en años	Intensidad (mm/hr)
	Est. UFPSO
	90 min
100	46.83
50	39.34
25	33.04
10	26.24
5	22.04

Fuente Autores del proyecto.

Hasta ahora se ha obtenido una posible cantidad de lluvia que podría precipitar en un evento dado, sin embargo este valor debe ser distribuido en el tiempo en términos de la profundidad de lluvia, a este proceso se le conoce como hietograma, el cual al ser ingresado al modelo lluvia escorrentía será el generador del hidrograma de caudales deseado.

Modelos lluvia – escorrentía

Rangos de aplicación según el área de la cuenca

Los modelos lluvia – escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en hoyas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial. Existen dos métodos para ello:

1) Método racional. Existe discrepancia entre los diferentes autores sobre el rango de aplicabilidad del método en relación con el área de drenaje de las hoyas. Valores entre 0.65 y 12.5 km² han sido citados en la literatura técnica. La tendencia actual es usar 1.3 a 2.5 km² como el límite superior para la aplicabilidad del método racional.

2) Método del hidrograma de escorrentía superficial, utilizado para áreas de drenaje mayores a 2.5 km². Sherman, el autor de la metodología, lo propuso para áreas de drenaje de hasta 20 km², pero es usual utilizarlo en hidrología para valores mayores. Cuando las áreas de drenaje en una cuenca son mayores a este valor, se aconseja subdividirla en Subcuencas y aplicar metodologías computacionales (programas HEC-1 o HEC-HMS, por ejemplo) para tener en cuenta el hidrograma de creciente producido por cada una de las Subcuencas y su tránsito a través del canal principal de la misma. (Manual de drenaje para carreteras 2009).

4.2.5 Generación de Hietogramas para diferentes periodos de retorno. Un hietograma describe la historia en el tiempo de la profundidad de precipitación en el suelo para una ubicación determinada; usualmente, los hietogramas se expresan como curvas de masa acumulativas o razones de cambio de precipitación instantánea. Un hietograma adimensional grafica la duración de la tormenta y la profundidad acumulada de precipitación en términos porcentuales en cada uno de los ejes.

Por su parte, los hietogramas de una tormenta sintética representan las características típicas de una tormenta de diseño en un área dada, ilustran un modelo basado en los componentes estadísticos de diversos histogramas, los cuales son útiles para modelar procesos lluvia-escorrentía que proveen información valiosa para hacer diseños de estructuras hidráulicas, efectivos y económicos para un nivel de riesgo determinado. (1)

El hietograma de diseño reflejara la distribución de las precipitaciones producidas a lo largo de las horas más lluviosas que se pueden producir en ese punto con un periodo de retorno específico. Para esto existen diversos procedimientos, varios de ellos se basan en las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia en este proyecto se utiliza el método de bloques alternos (3).

En las tablas siguientes se describe el proceso utilizado para calcular el hietograma para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, y así se obtienen los hietogramas de cada periodo, en la columna 1, se trabaja con incrementos de tiempo cada 15 min, se trata por tanto de 90 min repartidos en 6 intervalos de 15 minutos; en la columna 2 se expone la intensidad para el periodo de retorno y con el intervalo de tiempo correspondiente, esto con ayuda de la fórmula de la intensidad que se obtiene de los datos del plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio de Ocaña descrita anteriormente; en la columna 3 se tiene el tiempo de cada intervalo en horas; en la columna 4 se calcula la precipitación caída en cada inervalo (corresponde al tiempo por la intensidad); en la última columna se debe suponer que dentro de los 30 min más lluviosos se encuentran los 15 min más lluviosos entonces (por ejemplo) si en los 30 min más lluviosos cayeron 46.09 mm si (dentro de los 30 min anteriores) en los 15 min más lluviosos cayeron 35.33 mm, en los restantes 15 min: $46.09 - 35.33 = 10.76$ mm.

Cuadro 8, Periodo de retorno para 100 años

PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS				
t(min)	I (mm/h)	t (hr)	P (mm)	Δ P
15	141.33	0.25	35.33	35.33
30	92.19	0.50	46.09	10.76
45	71.80	0.75	53.85	7.76
60	60.13	1.00	60.13	6.28
75	52.41	1.25	65.51	5.37
90	46.84	1.50	70.25	4.75

Fuente Autores del proyecto.

Gráfica 1. Hietograma para un periodo de 100 años



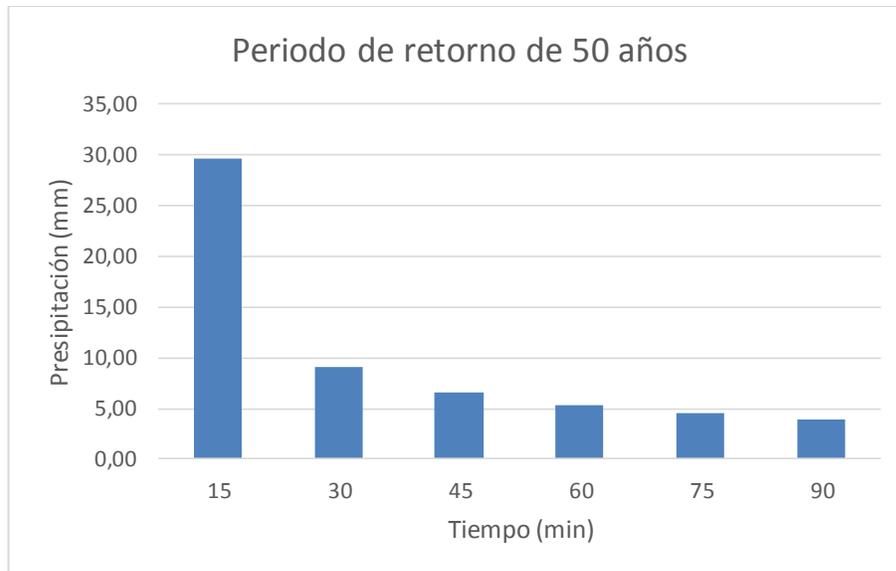
Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 9, Periodo de retorno para 50 años

PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS				
t(min)	I (mm/h)	t (hr)	P (mm)	Λ P
15	118.70	0.25	29.68	29.68
30	77.43	0.50	38.72	9.04
45	60.31	0.75	45.23	6.52
60	50.51	1.00	50.51	5.28
75	44.02	1.25	55.02	4.51
90	39.34	1.50	59.01	3.99

Fuente Autores del proyecto.

Gráfica 2. Hietograma para un periodo de 50 años

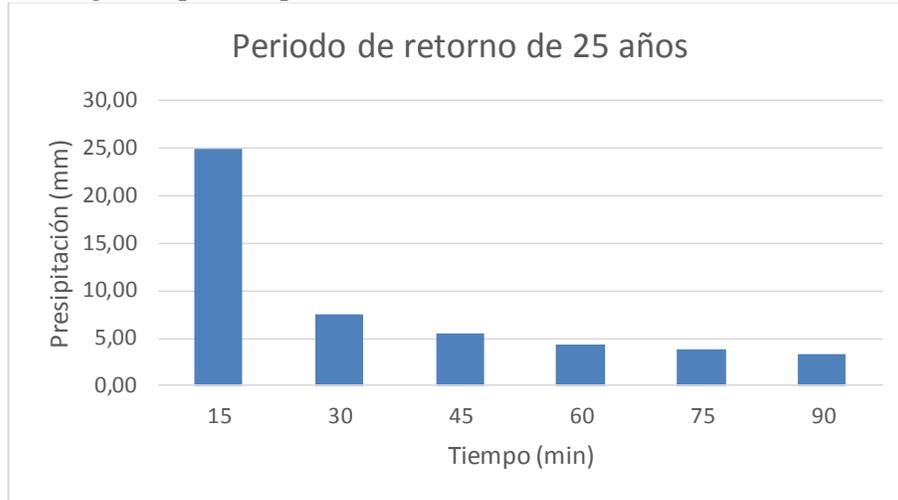


Cuadro 10, Periodo de retorno para 25 años

PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS				
t(min)	I (mm/h)	t (hr)	P (mm)	Λ P
15	99.70	0.25	24.93	24.93
30	65.04	0.50	32.52	7.59
45	50.65	0.75	37.99	5.47
60	42.42	1.00	42.42	4.43
75	36.97	1.25	46.22	3.79
90	33.04	1.50	49.56	3.35

Fuente Autores del proyecto.

Grafica 3. Hietograma para un periodo de 25 años



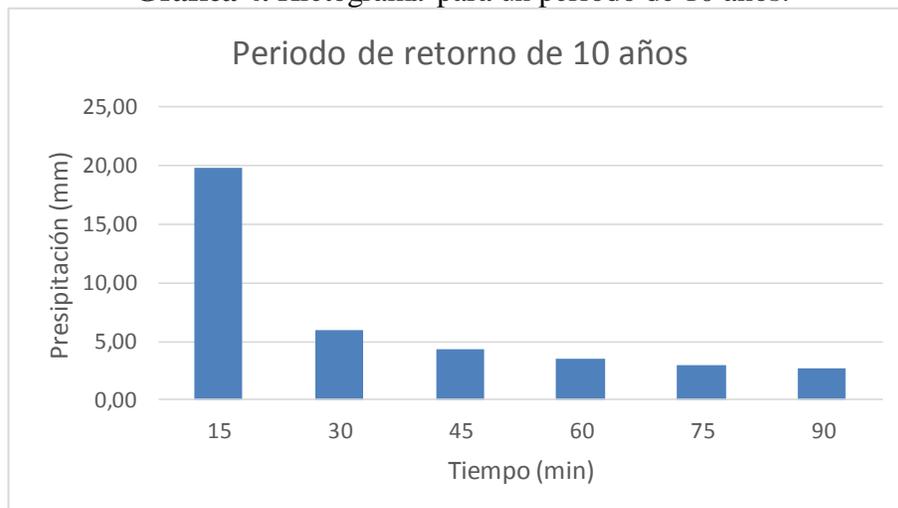
Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 11, Periodo de retorno para 10 años

PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS				
t(min)	I (mm/h)	t (hr)	P (mm)	ΛP
15	79.17	0.25	19.79	19.79
30	51.64	0.50	25.82	6.03
45	40.22	0.75	30.17	4.35
60	33.69	1.00	33.69	3.52
75	29.36	1.25	36.70	3.01
90	26.24	1.50	39.36	2.66

Fuente Autores del proyecto.

Grafica 4. Hietograma para un periodo de 10 años.



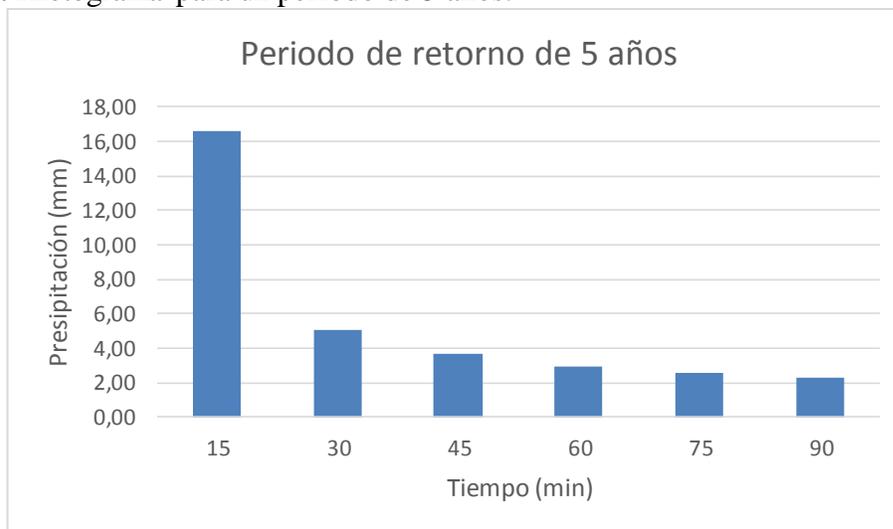
Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 12, Periodo de retorno para 5 años

PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS				
t(min)	I (mm/h)	t (hr)	P (mm)	ΛP
15	66.50	0.25	16.62	16.62
30	43.38	0.50	21.69	5.06
45	33.79	0.75	25.34	3.65
60	28.30	1.00	28.30	2.96
75	24.66	1.25	30.82	2.53
90	22.04	1.50	33.06	2.23

Fuente Autores del proyecto.

Grafica 5. Hietograma para un periodo de 5 años.



Fuente Autores del proyecto.

4.2.6 Hidrograma adimensional del CSC. Para usar el método del hidrograma unitario, siempre es necesario contar con al menos un hidrograma medido a la salida de la cuenca, además de los registros de precipitación. Sin embargo, la mayor parte de las cuencas, no cuentan con una estación hidrométrica o bien con los registros pluviográficos necesarios. Por ello, es conveniente contar con métodos con los que se puedan obtener hidrogramas unitarios usando únicamente datos de características generales de la cuenca. Los hidrogramas unitarios así obtenidos se denominan sintéticos.

Del estudio de gran cantidad de hidrogramas, registrados en una gran variedad de cuencas se obtuvieron hidrogramas adimensionales, dividiendo la escala de caudales entre el caudal pico (Q_p) y la escala del tiempo entre el tiempo al que se presenta el pico (tp), se observó que se obtiene un hidrograma adimensional.

Se obtiene el tiempo de concentración con la fórmula de kirpich, como se muestra anteriormente, luego se calcula la duración en exceso con la ecuación.

Si se dispone de los datos del pico del hidrograma t_p y Q_p , a partir de la tabla 10 se puede calcular el hidrograma resultante, multiplicando las coordenadas por t_p y Q_p .

Cuadro 13. Coordenadas del hidrograma adimensional.

t/t_p	Q/Q_p
0.00	0.000
0.10	0.015
0.20	0.075
0.30	0.160
0.40	0.280
0.50	0.430
0.60	0.600
0.70	0.770
0.80	0.890
0.90	0.970
1.00	1.000
1.10	0.980
1.20	0.920
1.30	0.840
1.40	0.750
1.50	0.650
1.60	0.570
1.80	0.430
2.00	0.320
2.20	0.240
2.40	0.180
2.60	0.130
2.80	0.098
3.00	0.075
3.50	0.036
4.00	0.018
4.50	0.009
5.00	0.004

Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 14. Parámetros de la Microcuenca del río Tejo.

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
AREA	Km2	A	42.55
LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL	Km	Lcp	23.03
PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL	%	Pcp	20
TIEMPO DE CONCENTRACION	hr	Tc	1.37
TIEMPO BASE	hr	tb	5.32

Fuente Autores del proyecto.

Se tiene la precipitación en exceso que se obtiene de los hietogramas elaborados anteriormente y con el área, el tiempo pico y la precipitación se obtiene el caudal pico, este procedimiento se realiza para los diferentes tiempos de concentración, y así se obtiene el caudal pico de cada intervalo de tiempo.

Cuadro 15. Caudal para TR de 100 años

TIEMPO DE CONCENTRACION DE 100 AÑOS			
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
PRECIPITACION EN EXCESO	mm	Pe	10.76
CAUDAL PICO	m3/sg	Qp	47.80

Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 16. Caudal para TR de 50 años

TIEMPO DE CONCENTRACION DE 50 AÑOS			
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
PRECIPITACION EN EXCESO	mm	Pe	9.04
CAUDAL PICO	m3/sg	Qp	40.15

Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 17. Caudal para TR de 25 años

TIEMPO DE CONCENTRACION DE 25 AÑOS			
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
PRECIPITACION EN EXCESO	mm	Pe	7.59
CAUDAL PICO	m3/sg	Qp	33.73

Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 18. Caudal para TR de 10 años

TIEMPO DE CONCENTRACION DE 10 AÑOS			
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>
PRECIPITACION EN EXCESO	mm	Pe	6.03
CAUDAL PICO	m3/sg	Qp	26.78

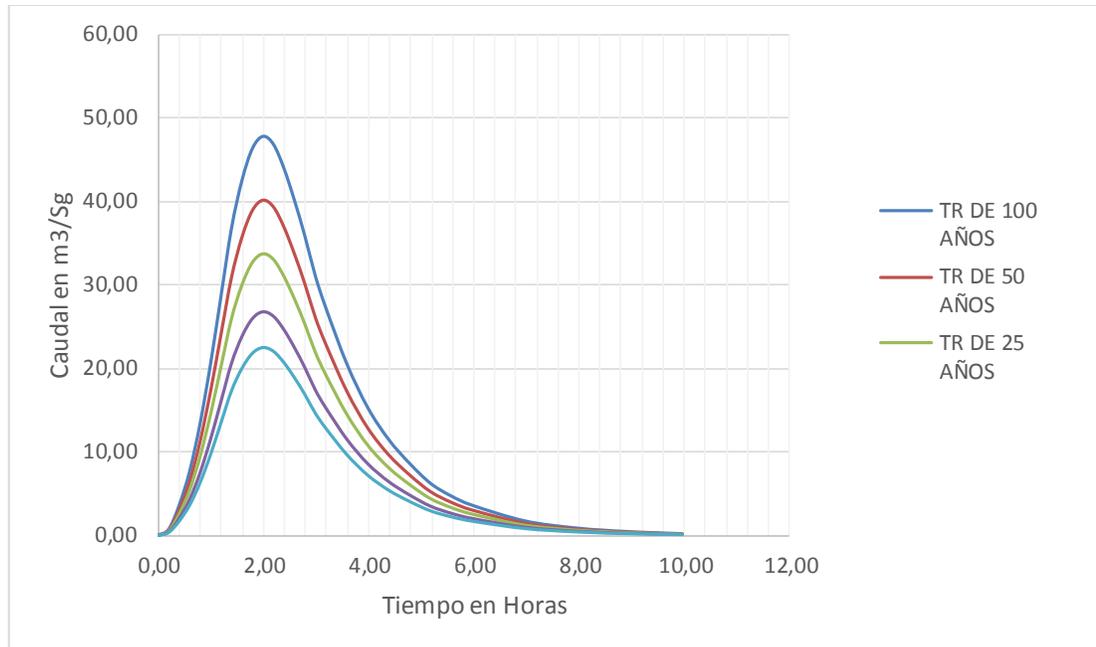
Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 19. Caudal para TR de 5 años

TIEMPO DE CONCENTRACION DE 5 AÑOS			
Descripción	Unidad	Símbolo	Valor
PRECIPITACION EN EXCESO	mm	Pe	5.06
CAUDAL PICO	m ³ /sg	Qp	22.49

Fuente Autores del proyecto.

Grafica 6. Hidrograma adimensional del SCS



Fuente Autores del proyecto.

Los caudales pico asociados a cada periodo de retorno se presentan en la Tabla 11, los cuales serán empleados en las diferentes modelaciones hidráulicas.

Cuadro 20. Caudales pico para diferentes periodos de retorno

TR_ Años	5	10	25	50	100
Q_ PICO m ³ /Sg	22.49	26.78	33.73	40.15	47.80

Fuente Autores del proyecto.

El transito hidráulico del caudal obtenido para el periodo de retorno de 100 años con las secciones batimétricas levantadas en desarrollo del presente proyecto, para el tramo en estudio del río Tejo, arrojará los parámetros necesarios para definir la socavación general del tramo del cauce en estudio.

4.3 ESTUDIO TENDIENTE A DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN EL CAUCE, EN DIFERENTES PUNTOS SOBRE EL FLUJO DEL RÍO TEJO A LA ALTURA DE SU UNIÓN CON EL RÍO CHIQUITO IMPLEMENTANDO EL SOFTWARE HEC-RAS PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL CAUCE EN ESTUDIO.

Algunos factores muestran la relación directa entre las variables hidráulicas de una corriente natural y su dinámica erosiva, ya sea que se ocasione sedimentación o socavación, a lo largo del río. La velocidad del flujo es una de las variables hidráulicas de mayor incidencia en los procesos erosivos que se desarrollan en un cauce natural; esta variable está influenciada por la magnitud de los caudales asociados a diferentes periodos de retorno, el material constituyente de la sección hidráulica, profundidad del flujo y la pendiente longitudinal del canal.

En este sentido, la modelación hidráulica está orientada a determinar el comportamiento hidráulico del río Tejo, a la altura del caso urbano de la ciudad de Ocaña, en el sector comprendido entre el puente Tejarito y el puente Las Delicias, correspondientes a los mismos barrios. El modelo hidráulico a implementar es el modelo matemático HEC-RAS 4.1.0, con el fin de alimentar el modelo de socavación, con la información hidráulica requerida.

El software HEC-RAS 4.1.0, modelo a implementar, es de amplio reconocimiento a nivel mundial en relación con la modelación hidráulica de corrientes. Este software fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros militares de los Estados Unidos (US Army Corps Engineers). El modelo permite desarrollar las ecuaciones de flujo unidimensional no estacionario de Saint Venant para el cálculo de los perfiles de flujo, permitiendo la estimación de niveles de la lámina de agua a lo largo del cauce en estudio, determinación de velocidades de onda, velocidad de flujo en el tramo de modelación, etc.

Durante el presente estudio, el caudal empleado en la modelación hidráulica, corresponden al caudal simulado hidrológicamente, para el periodo de retorno de 100 años. El caudal a emplear para el estudio hidráulico se obtiene de la modelación hidrológica, asociado al periodo de retorno mencionado para el río Tejo, simulado a la altura del sitio donde se localiza cada puente en estudio.

Luego de realizado el estudio hidráulico, se seleccionan las diferentes variables hidráulicas, que son insumo básico para el análisis de socavación en las diferentes secciones analizadas, en el tramo estudiado del río Tejo. Para la ejecución del presente estudio se realizó un levantamiento topobatimétrico del río Tejo, en el sector en estudio, obteniendo la información del terreno, básica para la implementación del modelo hidráulico, en el tramo de corriente en estudio; se realizaron 60 secciones batimétricas sobre el cauce natural (incluyendo estructuras existente), las cuales abarcaban la totalidad del ancho del canal, asociadas a cada sección transversal.

Uno de los parámetros que mayor influencia representan al momento de implementar un modelo hidráulico es el coeficiente de rugosidad, el cual incide de forma directa, entre otras variable, en la pérdidas de energía a lo largo del canal que se estudia.

Usualmente, la rugosidad en las paredes de un canal suele relacionarse con el coeficiente de rugosidad de Chezy, f de Darcy – Weisbach o Manning; en el presente estudio, se empleará el coeficiente de Manning, parámetro que usualmente puede estimarse a partir de la ecuación que lleva su mismo nombre, desarrollada por el ingeniero Irlandés Robert Manning, la cual suele emplearse para estimar la velocidad del flujo en canales.

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

Donde:

V Velocidad de media del Flujo en el canal (m/s).

R es el radio hidráulico (m)

S es la pendiente media del canal (m/m)

n coeficiente de rugosidad de Manning.

Despejando la n de Manning, a partir de la ecuación anterior se puede estimar el parámetro, cuando son conocidas las demás variables. Otros autores han desarrollado expresiones para la obtención del Manning, considerando que la altura de rugosidad en el lecho de un canal está relacionada con el tamaño medio del material (D50).

Teniendo en cuenta las diferentes expresiones desarrolladas para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning y la granulometría del material analizado, en la corriente en estudio, se estimaron diversos valores, para la rugosidad del canal principal, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 14, la cual se muestra a continuación:

Cuadro 21. Rugosidad del canal principal

AUTOR	ECUACIÓN	Sec. 2	Sec. 9	Sec. 14	Sec. 20	Sec. 52
Strickler, 1923	$n = 0,047 * D50^{1/6}$	0.04428747	0.04618188	0.04618188	0.04428747	0.04187224
	$n = 0,039 * D50^{1/6}$	0.03674918	0.03832113	0.03832113	0.03674918	0.03474505
	$n = \frac{D90^{1/6}}{26,5}$	0.05538865	0.05219198	0.05219198	0.05538865	0.06452739
Meyer- Peter y Muller, 1948	$n = 0,038 * D90^{1/6}$	0.05577637	0.05255733	0.05577637	0.05577637	0.06497909
Raudkivi, 1976	$n = 0,0411 * D65^{1/6}$	0.04397343	0.04533016	0.0487942	0.04397343	0.04397343
Simons y Senturk, 1976	$n = 0,0389 * D50^{1/6}$	0.03665495	0.03822288	0.03822288	0.03665495	0.03465596
Bray, 1979	$n = 0,0593 * D50^{0,179}$	0.05563233	0.05819211	0.05819211	0.05563233	0.05238058
Posada, 1998	$n = 0,0487 * D50^{1/6}$	0.04588936	0.04785229	0.04785229	0.04588936	0.04338677
PROMEDIO		0.04679397	0.04735622	0.0481916	0.04679397	0.04756506

Fuente Autores del proyecto.

Finalmente, los valores que se emplearon en la modelaciones hidráulicas, para el coeficiente de Manning, en el cauce principal fue el promedio de los valores obtenidos, en cada sección, debido a las diferentes ecuaciones y así tener una mayor aproximación al tratarse de una corriente de montaña, las cuales están asociadas a coeficientes de rugosidad relativamente altos.

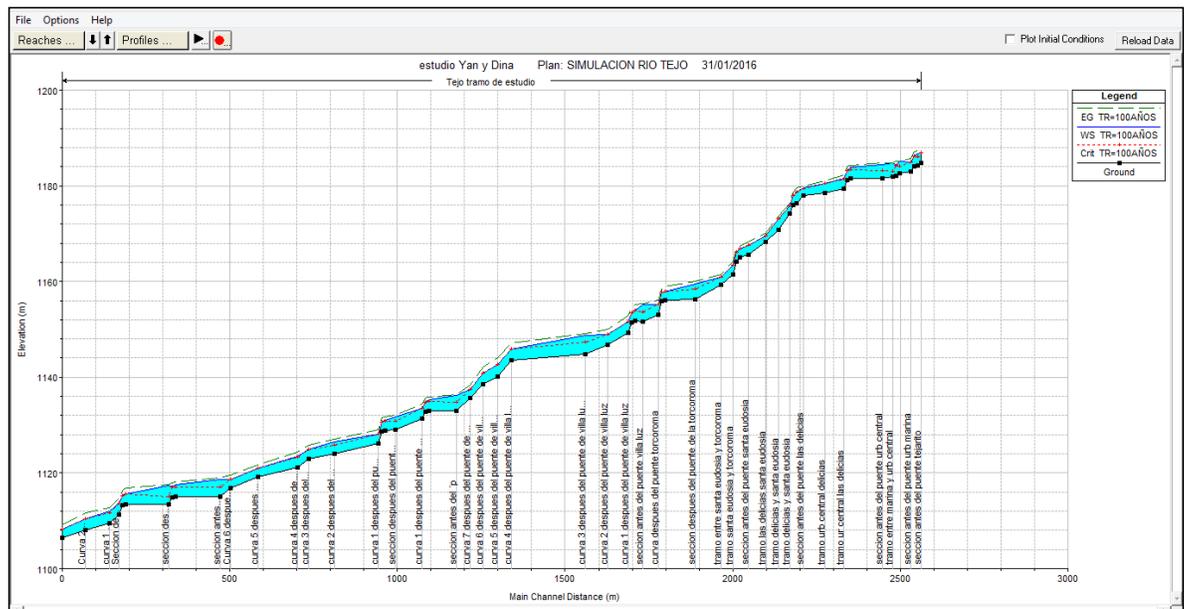
Durante el desarrollo del presente estudio, fue recreado un escenario, en el cual se realizó el tipo de tránsito hidráulico del caudal simulado hidrológicamente, para el periodo de retorno de 100 años.

En el escenario analizado de simulación de transitos hidráulicos, para las condiciones actuales de la corriente, considerando las estructuras presentes a lo largo del sector del río en estudio.

En esta simulación se consideró el comportamiento hidráulico en las diferentes secciones transversales del canal, estimados en la modelación hidrológica, para el periodo de retorno de 100 años.

De la modelación en el HEC-RAS 4.1.0 se obtiene los siguientes datos para cada sección en cada puente.

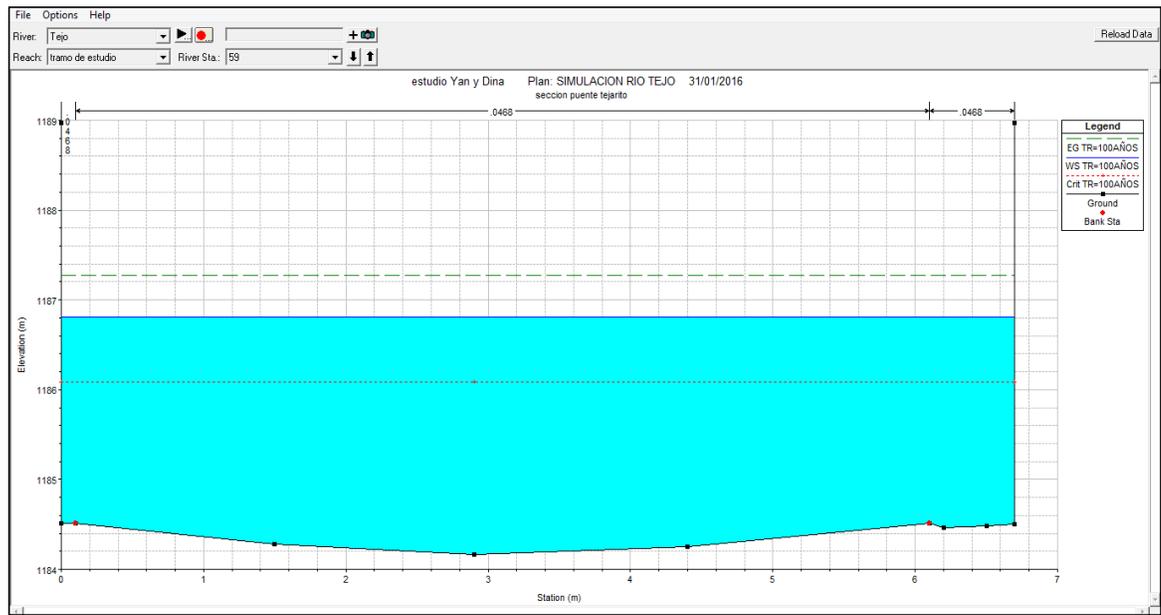
Grafica 7. Perfil longitudinal del tramo estudiado.



Fuente Autores del proyecto.

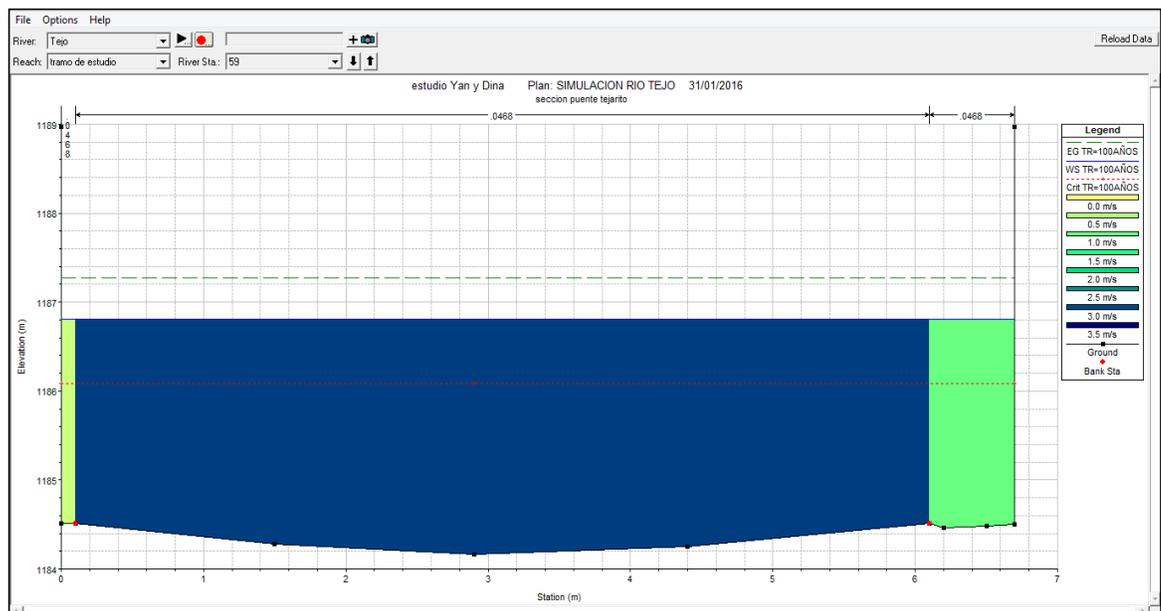
Puente Tejarito sección simulada en HEC-RAS muestra el comportamiento de esa sección para las condiciones de flujo establecidas.

Grafica 8. Condiciones de flujo puente Tejarito.



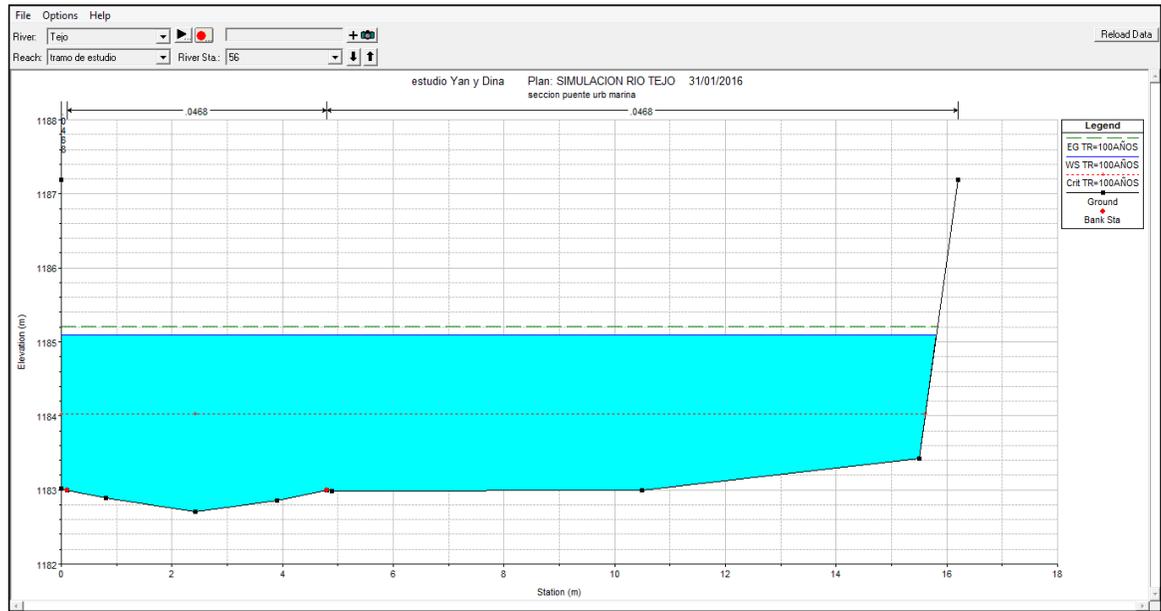
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 9. Distribución de velocidad puente Tejarito.



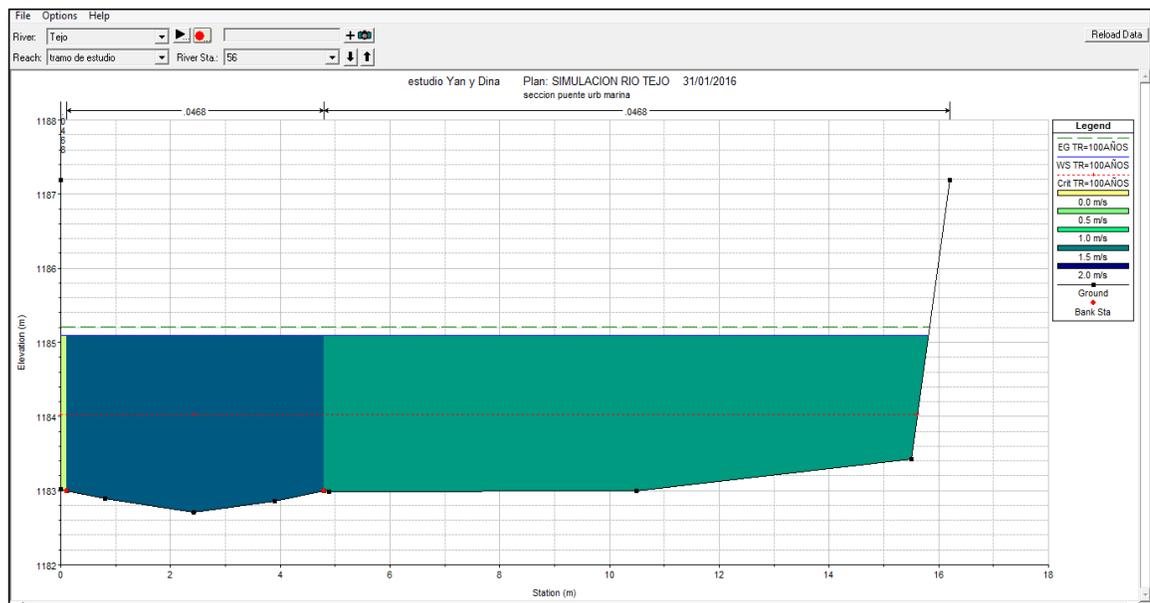
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 10. Condiciones de flujo puente Urbanización Marina.



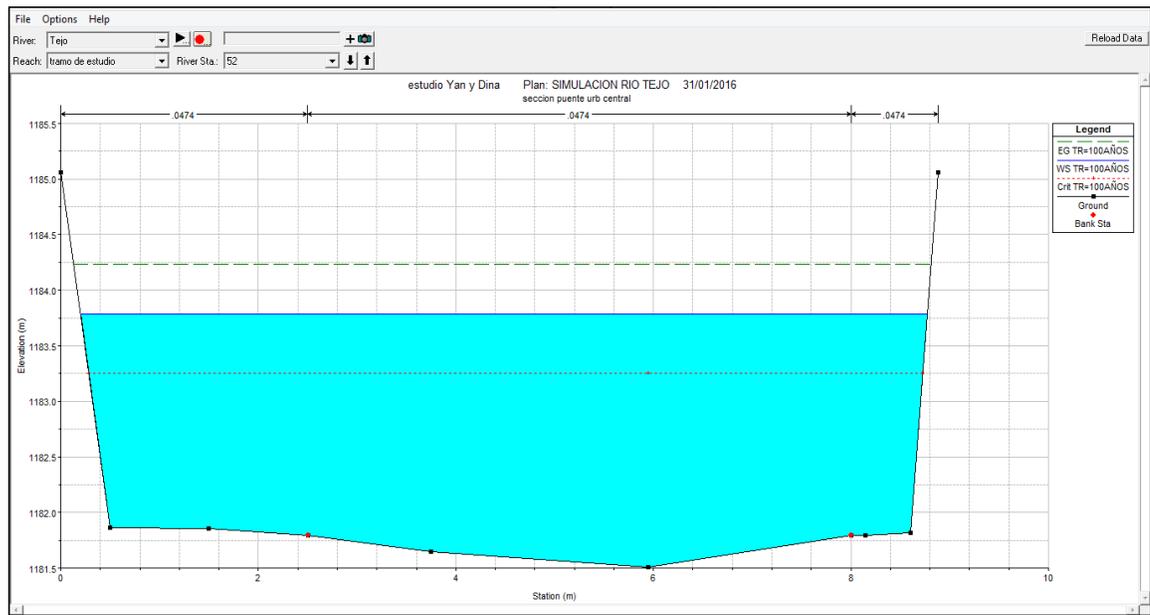
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 11. Distribución de velocidad puente Urbanización Marina.



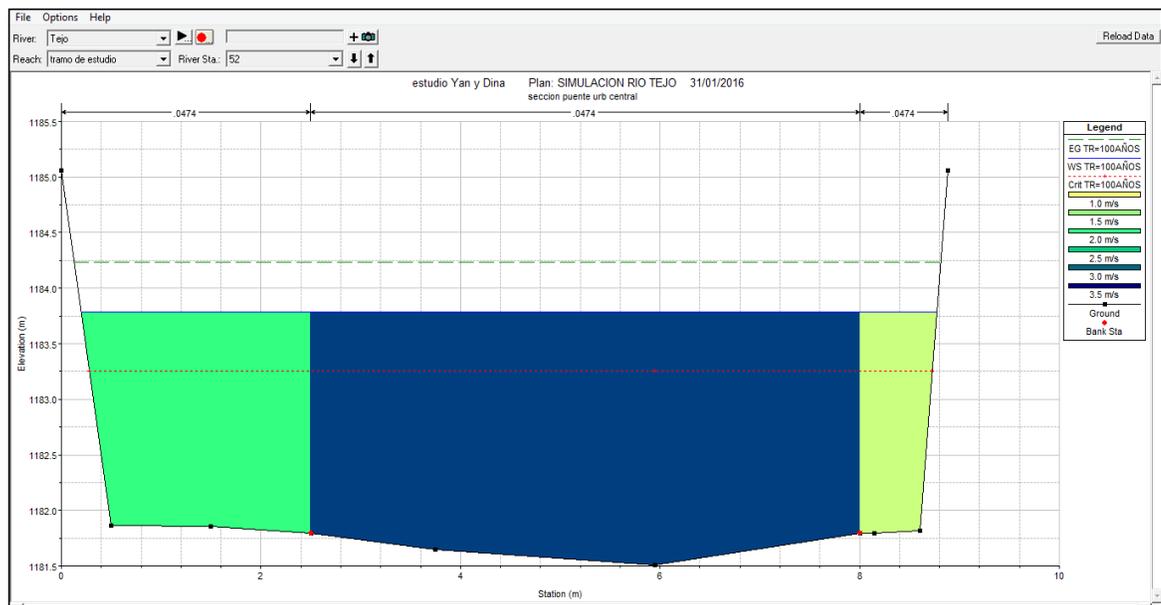
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 12. Condiciones de flujo puente Urbanización Central.



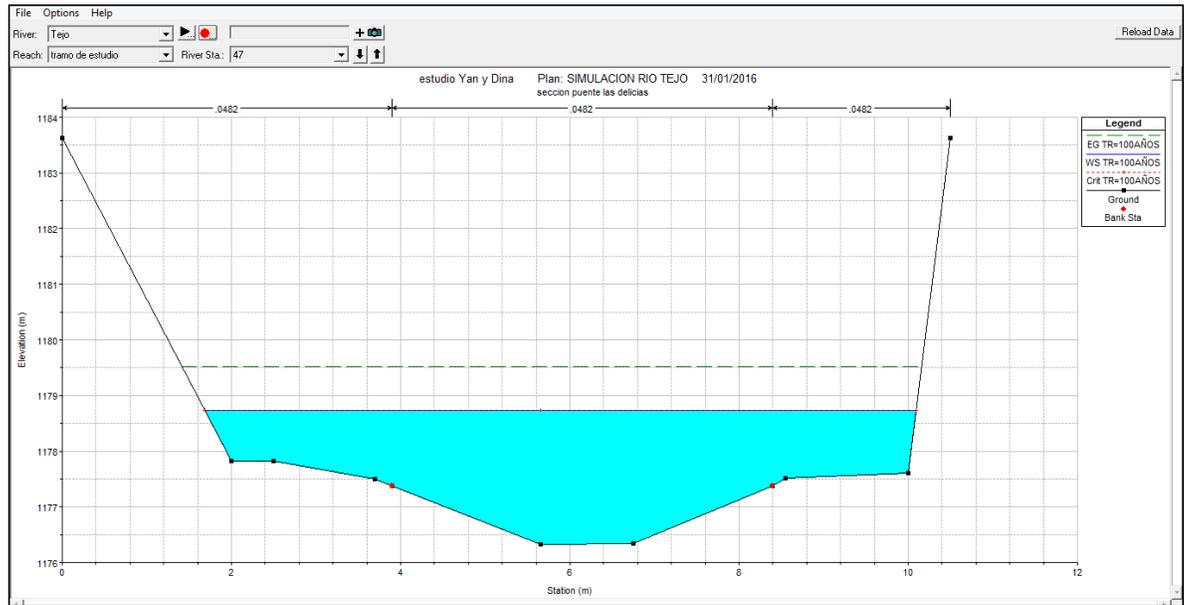
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 13. Distribución de velocidad puente Urbanización central.



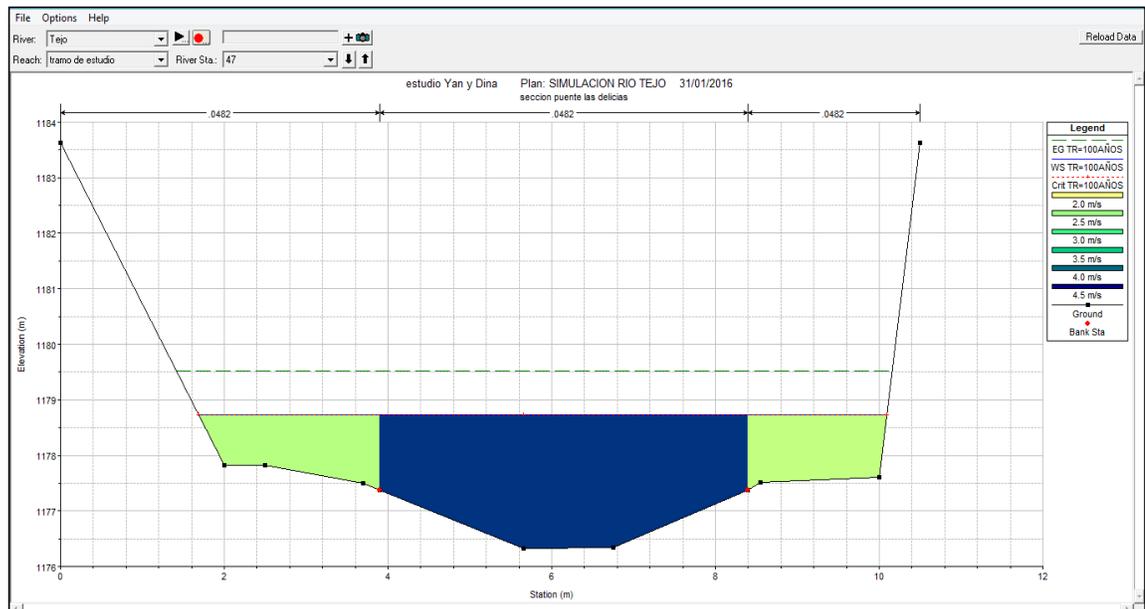
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 14. Condiciones de flujo puente Las Delicias.



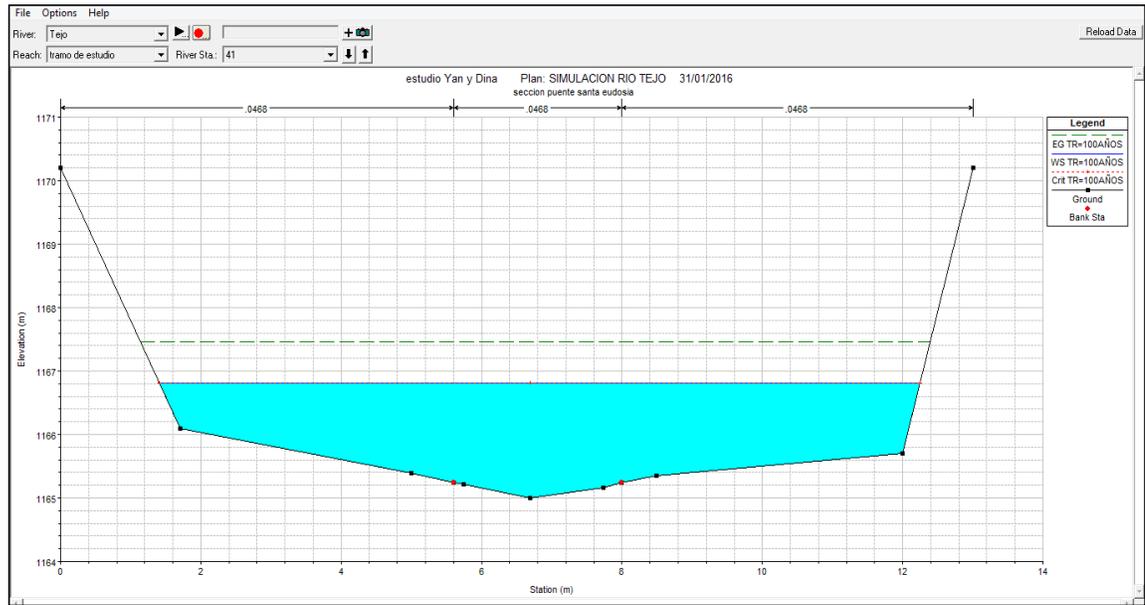
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 15. Distribución de velocidad puente Las Delicias.



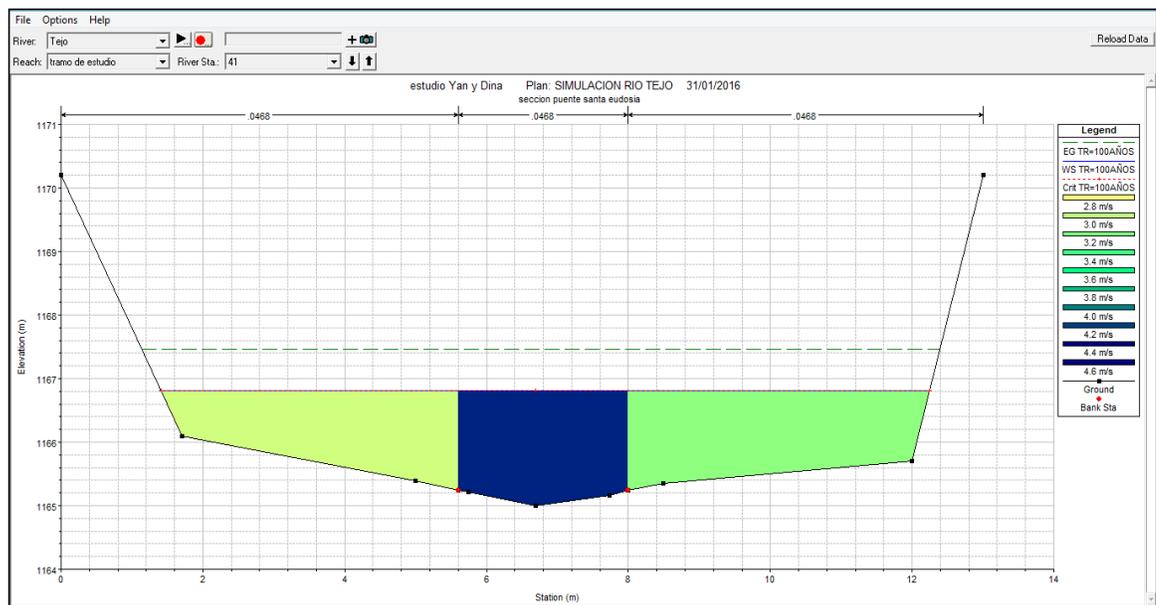
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 16. Sección puente santa Eudisia.



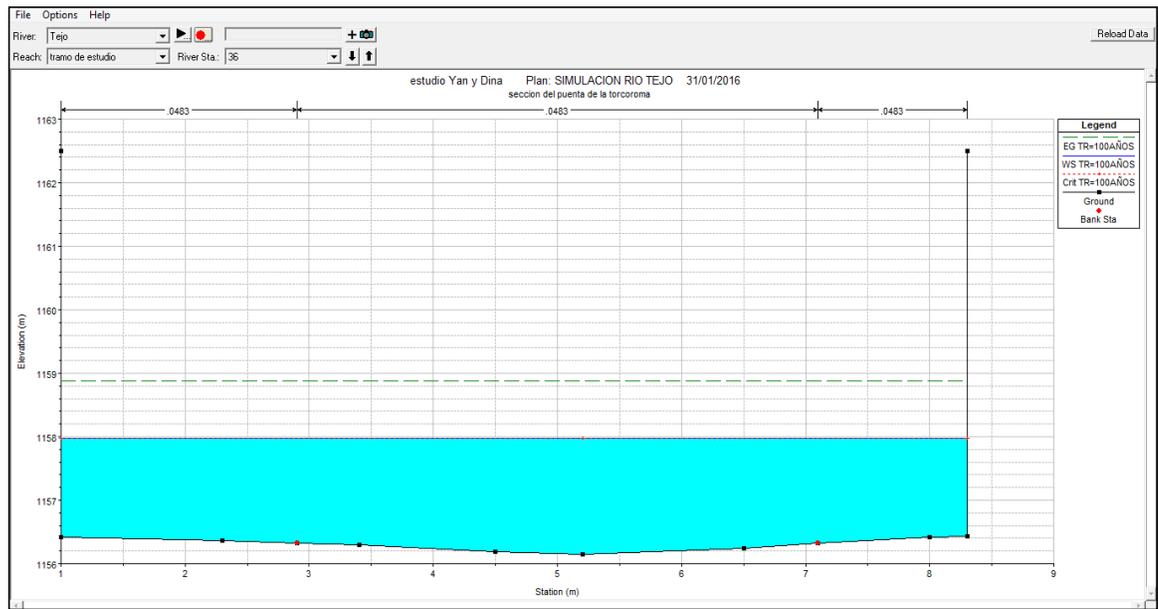
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 17. Distribución de velocidad puente Santa Eudisia.



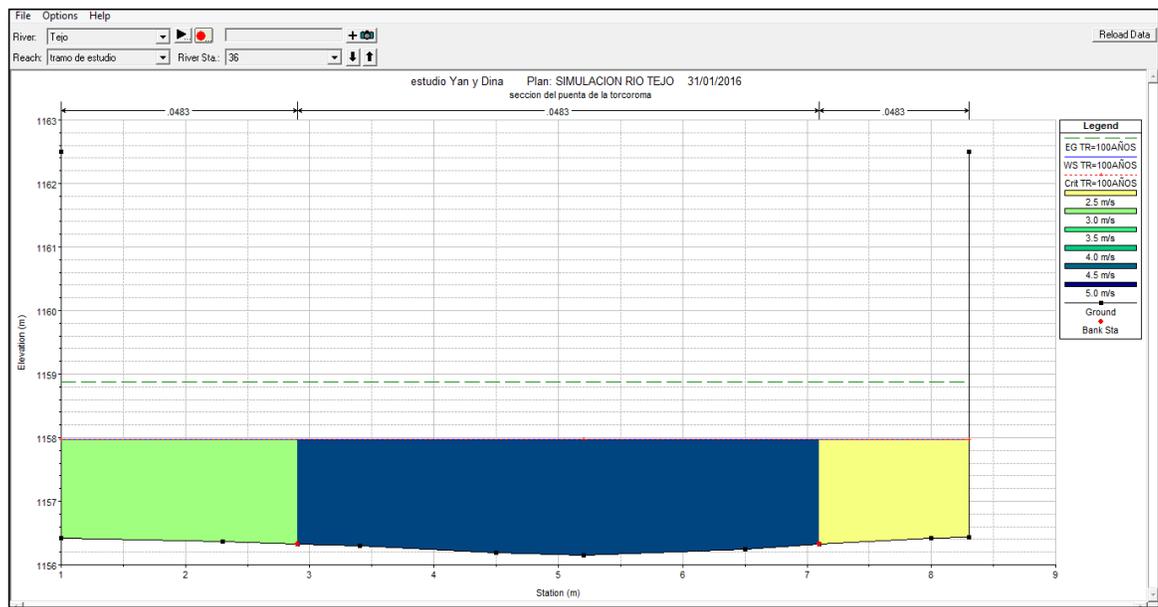
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 18. Sección puente de la Torcoroma.



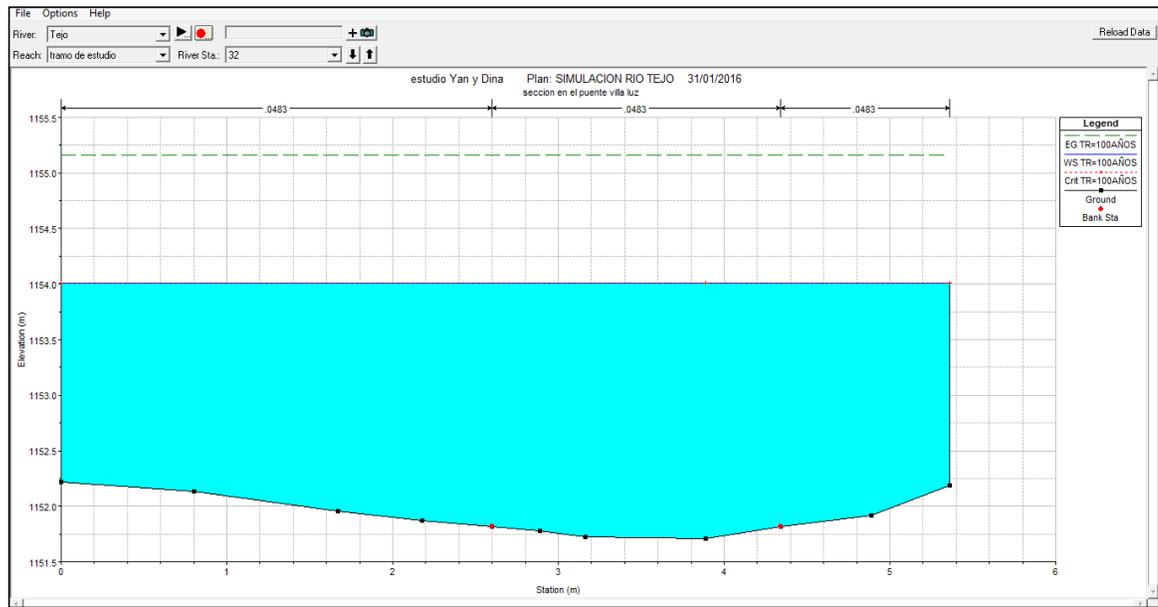
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 19. Distribución de velocidad puente de la Torcoroma.



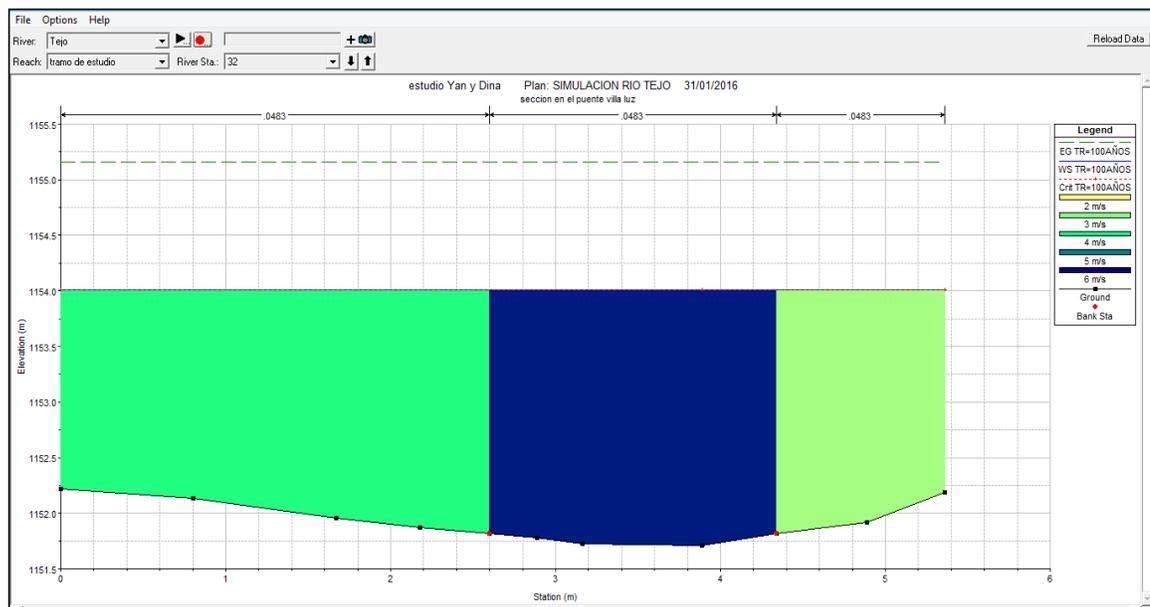
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 20. Sección puente de Villa Luz.



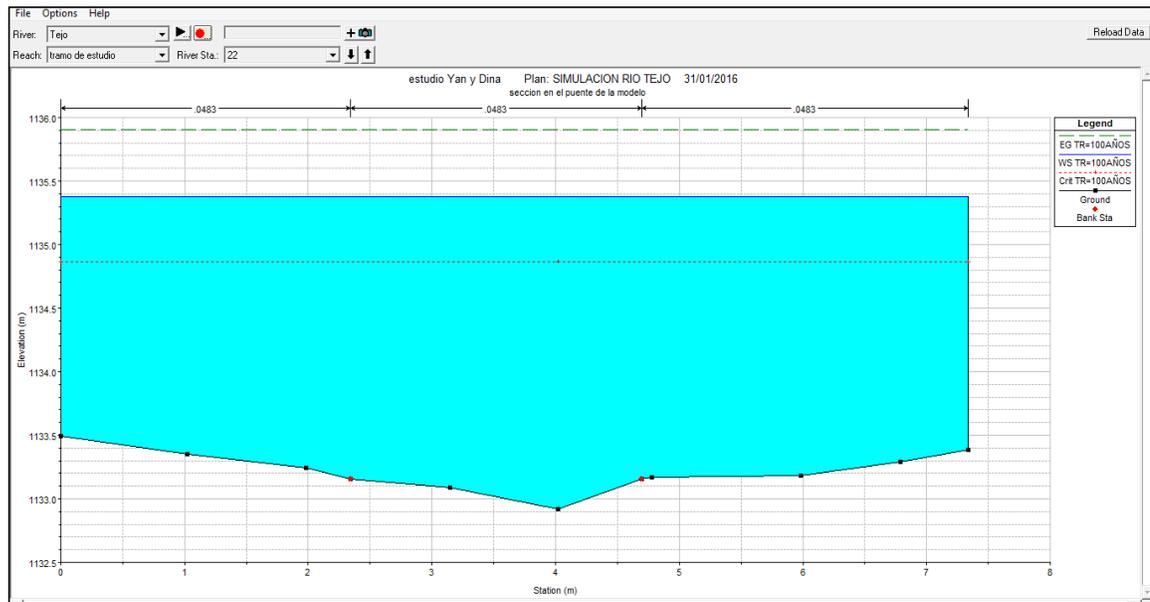
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 21. Distribución de velocidad puente de Villa Luz.



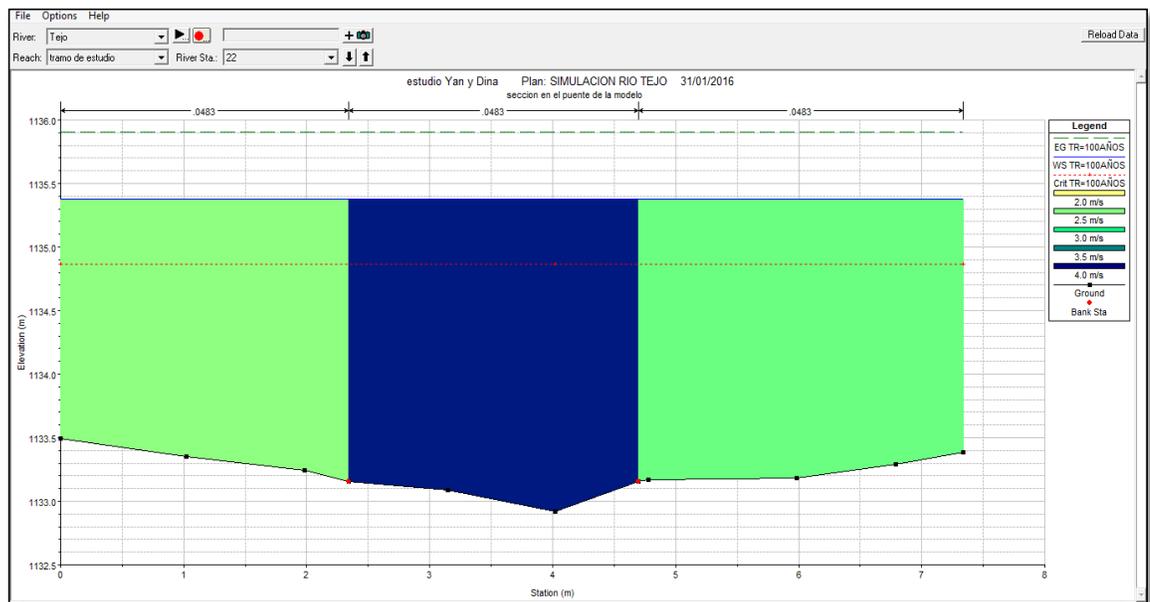
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 22. Sección puente de La Modelo.



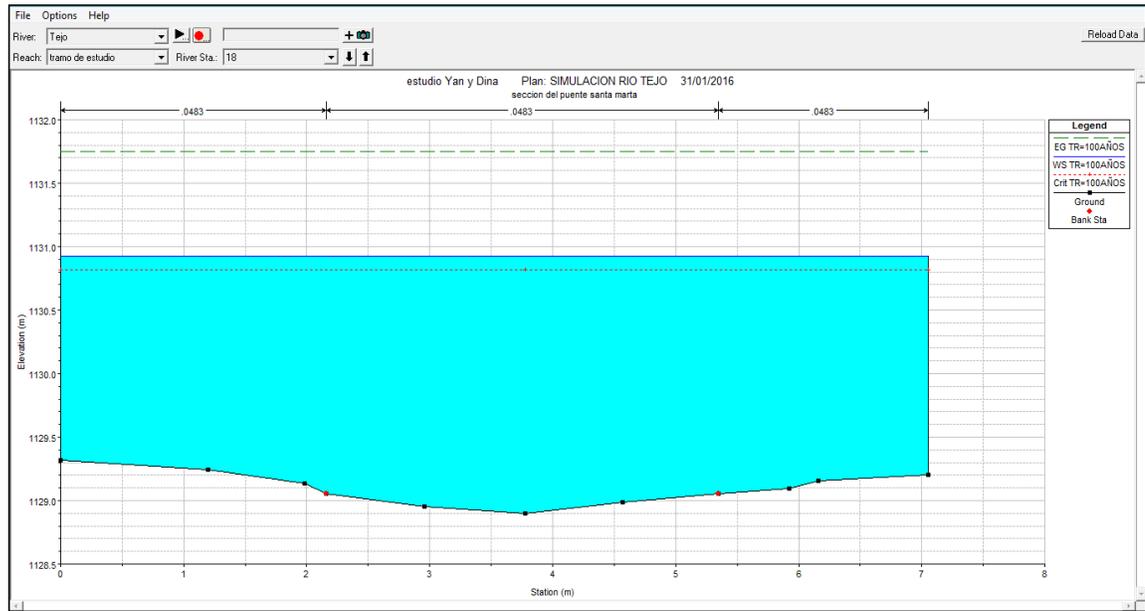
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 23. Distribución de velocidad puente de La Modelo.



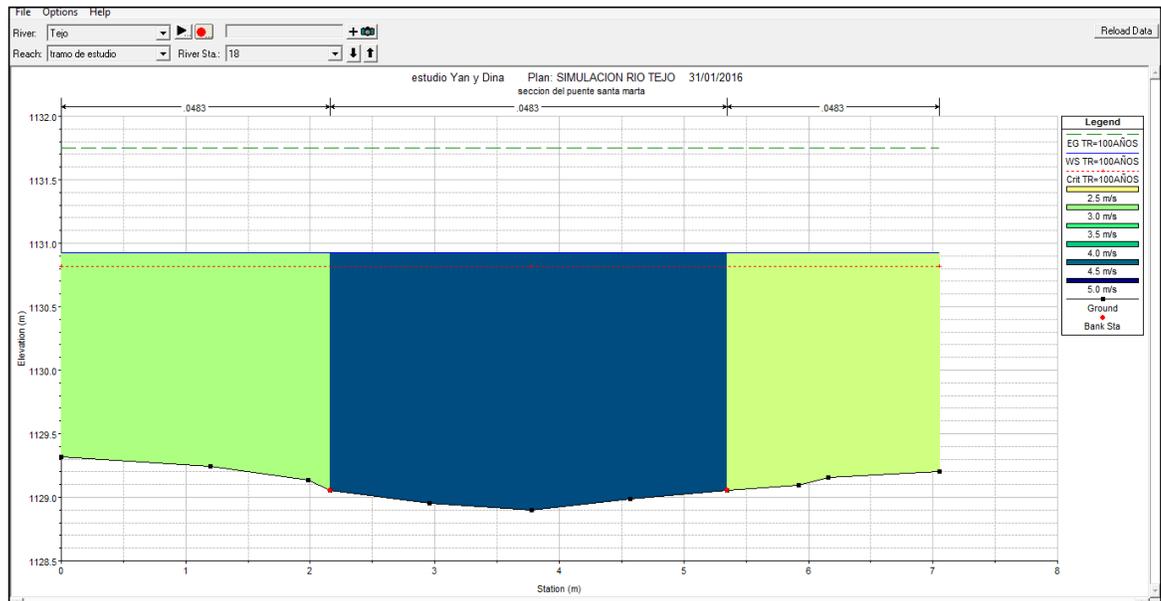
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 24. Sección puente Santa Marta.



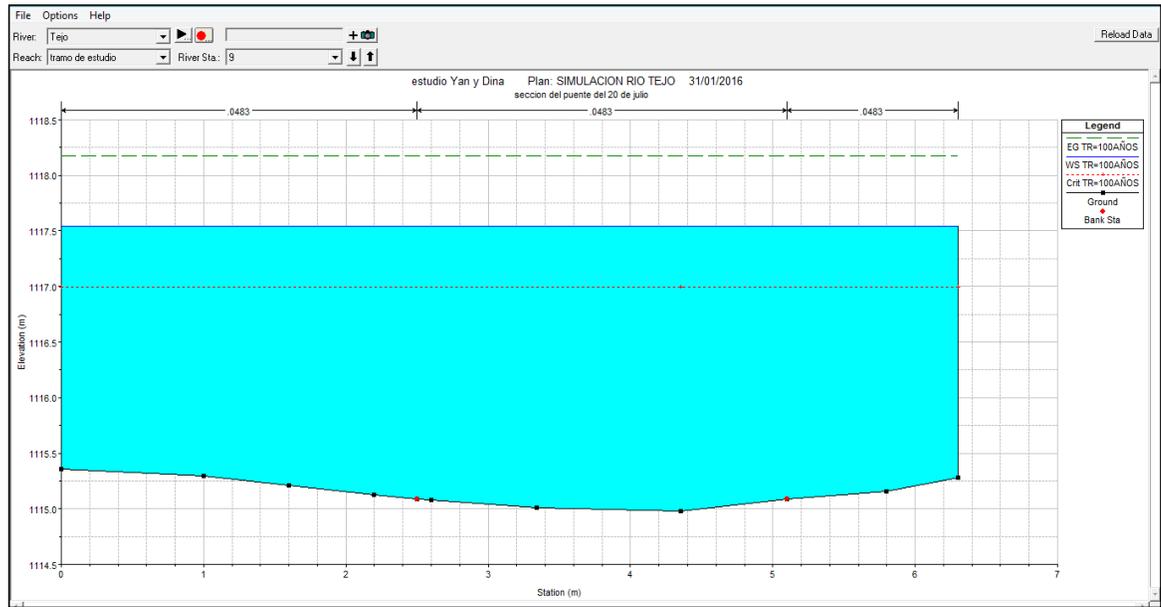
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 25. Distribución de velocidad puente Santa Marta.



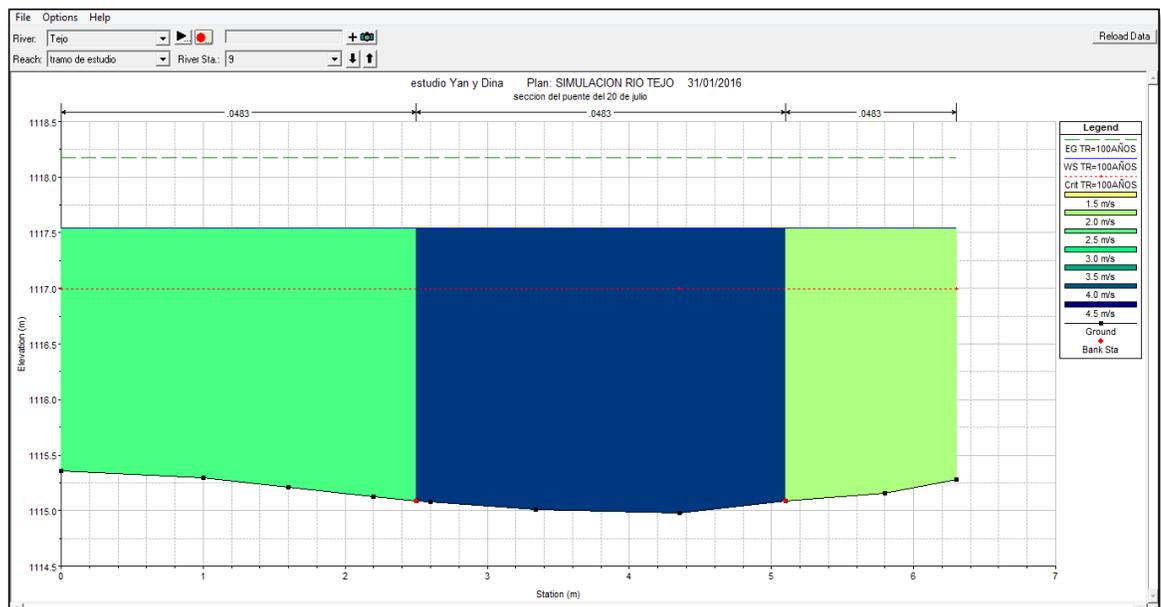
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 26. Sección puente de 20 de Julio.



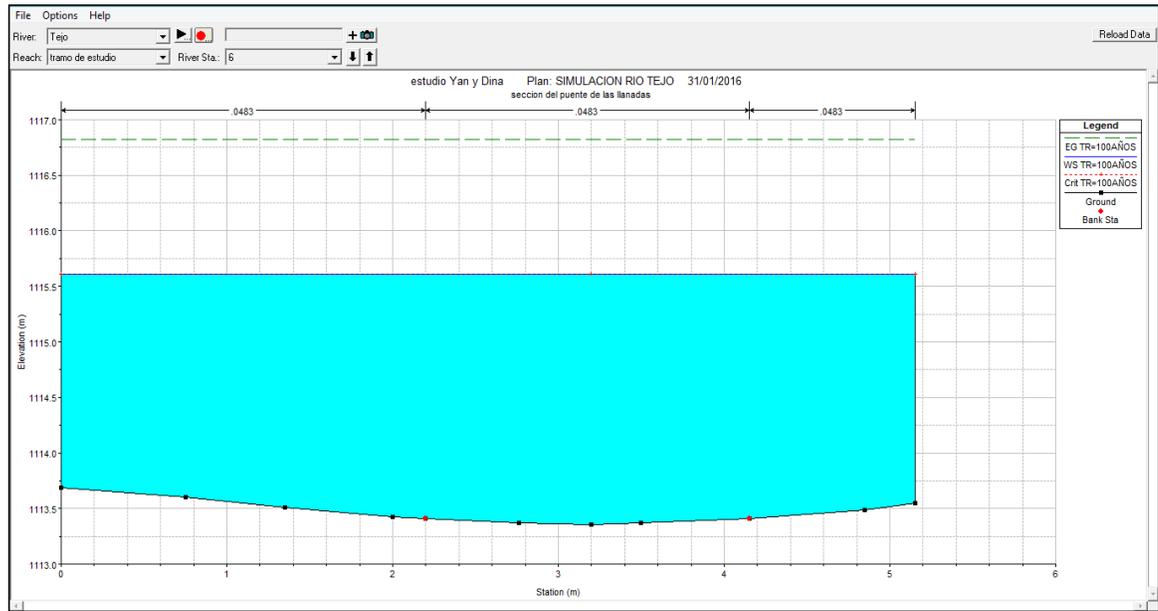
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 27. Distribución de velocidad puente de 20 de Julio.



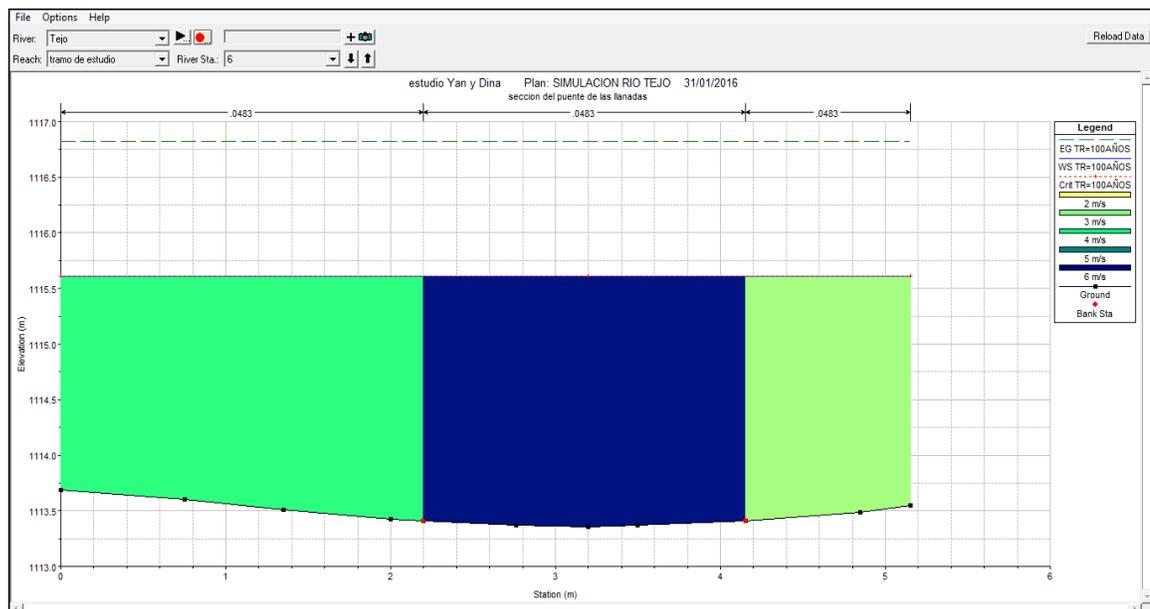
Fuente Autores del proyecto.

Grafica 28. Sección puente de las Llanadas.



Fuente Autores del proyecto.

Grafica 29. Distribución de velocidad puente de las Llanadas.



Fuente Autores del proyecto.

Las principales variables hidráulicas generadas durante el tránsito del caudal con periodo de retorno de 100 años se presentan en la Tabla; entre las variables reportadas se destacan la velocidad del flujo, el tirante máximo de la lámina de agua, la altura de la línea de energía, área mojada, etc, para las diferentes secciones analizadas.

Cuadro 22. Resultados que arroja el HEC-RAS para el Río Tejo en cada sección del tramo desde el puente Tejarito hasta el puente de las Llanadas.

Abscisa (m)	Q (m ³ /s)	cota de fondo (m)	cota lámina de agua (m)	Tirante (m)	Cota línea de energía (m)	Velocidad de flujo (m/s)	Área mojada (m ²)	Ancho Superficial (m)	Número de Froude
KP 0 + 000	47.8	1184.8	1186.85	1186.85	1187.71	4.49	12.3	7.2	1.01
KP 0 + 010	47.8	1184.16	1186.81	1186.09	1187.28	3.08	16.65	6.7	0.62
KP 0 + 020	47.8	1184.11	1186.24	1186.24	1187.13	4.53	12.3	7.27	1.06
KP 0 + 055	47.8	1183.04	1184.88	1184.88	1185.66	4.41	12.93	8.5	1.07
KP 0 + 065	47.8	1182.71	1185.1	1184.03	1185.21	1.65	32.48	15.81	0.35
KP 0 + 075	47.8	1182.11	1184.26	1184.26	1185.09	4.58	12.63	7.8	1.07
KP 0 + 105	47.8	1181.82	1184.74	1183.03	1184.81	1.32	43.71	16.3	0.25
KP 0 + 200	47.8	1181.53	1184.48	1183.22	1184.74	2.52	23.59	8.5	0.48
KP 0 + 210	47.8	1181.51	1183.78	1183.25	1184.23	3.2	17.32	8.57	0.7
KP 0 + 220	47.8	1181.11	1183.1	1183.1	1184.05	4.92	12.03	6.8	1.14
KP 0 + 276	47.8	1179.47	1181.51	1181.43	1182.21	4.31	13.68	8.6	1.02
KP 0 + 339	47.8	1178.44	1180.51	1180.43	1181.04	3.8	15.53	11.64	0.92
KP 0 + 361	47.8	1178.01	1179.55	1179.38	1179.94	3.31	17.68	14.3	0.87
KP 0 + 371	47.8	1176.33	1178.73	1178.73	1179.52	4.25	13.1	8.41	0.96
KP 0 + 381	47.8	1175.92	1177.99	1177.99	1178.73	4.41	13.31	9	1.06
KP 0 + 415	47.8	1174.27	1175.74	1175.74	1176.31	3.8	14.97	13	1.03
KP 0 + 452	47.8	1170.8	1173.06	1173.06	1173.7	4.29	14.09	10.5	0.98
KP 0 + 503	47.8	1168.2	1169.53	1169.53	1170.08	3.67	14.9	13.43	1.06
KP 0 + 529	47.8	1165.63	1167.59	1167.59	1168.29	4.43	13.5	9.82	1.05
KP 0 + 539	47.8	1165	1166.81	1166.81	1167.46	4.29	13.98	10.84	1.05
KP 0 + 549	47.8	1164.19	1166.19	1166.19	1166.88	4.46	13.32	9.6	1.04
KP 0 + 584	47.8	1161.45	1163.46	1163.46	1164.18	4.67	13.24	9	1.08
KP 0 + 662	47.8	1159.32	1160.85	1160.85	1161.48	4.14	13.89	11	1.09
KP 0 + 751	47.8	1156.19	1159.51	1158.48	1159.97	3.66	18.07	6.15	0.65
KP 0 + 761	47.8	1156.15	1157.97	1157.97	1158.87	4.66	12.22	7.3	1.13
KP 0 + 771	47.8	1155.83	1157.63	1157.63	1158.43	4.75	12.6	8.05	1.15
KP 0 + 817	47.8	1153.1	1155.21	1155.21	1156.14	4.78	12.2	7.01	1.1
KP 0 + 840	47.8	1151.69	1155.18	1153.62	1155.42	2.82	24	7.5	0.49
KP 0 + 850	47.8	1151.71	1154.01	1154.01	1155.16	5.79	11.19	5.36	1.23
KP 0 + 860	47.8	1151.43	1153.39	1153.39	1154.28	5.17	12.07	7.01	1.19

Fuente Autores del proyecto.

Cuadro 23. Resultados que arroja el HEC-RAS para el Río Tejo en cada sección del tramo desde el puente Tejarito hasta el puente de las Llanadas.

Abscisa (m)	Q (m ³ /s)	cota de fondo (m)	cota lámina de agua (m)	Tirante (m)	Cota línea de energía (m)	Velocidad de flujo (m/s)	Área mojada (m ²)	Ancho Superficial (m)	Número de Froude
KP 0 + 921	47.8	1149.33	1151.66	1151.66	1152.82	5.81	11.18	5.36	1.24
KP 0 + 988	47.8	1146.82	1149	1149	1150.01	5.47	11.64	6.15	1.2
KP 1 + 207	47.8	1144.86	1148.73	1147.28	1149.02	2.69	22.44	7.01	0.45
KP 1 +248	47.8	1143.51	1145.93	1145.93	1147.12	6.1	11	5.1	1.27
KP 1 +292	47.8	1140.19	1142.73	1142.73	1144.09	6.28	10.74	4.6	1.27
KP 1 +331	47.8	1138.52	1140.89	1140.89	1142.05	5.62	11.18	5.36	1.2
KP 1 +372	47.8	1135.61	1137.48	1137.48	1138.4	5.05	11.93	7.01	1.19
KP 1 +452	47.8	1133.05	1136.2	1134.81	1136.45	2.75	23.7	8.05	0.5
KP 1 +462	47.8	1132.92	1135.38	1134.87	1135.91	3.9	15.95	7.34	0.82
KP 1 +472	47.8	1132.87	1134.78	1134.78	1135.7	4.88	12.12	7.01	1.14
KP 1 +553	47.8	1131.32	1133.47	1133.47	1134.5	5.34	11.67	6.15	1.18
KP 1 +584	47.8	1129.07	1131.76	1130.87	1132.11	3.07	19.74	8.05	0.61
KP 1 +594	47.8	1128.9	1130.93	1130.82	1131.75	4.63	12.94	7.05	1.06
KP 1 +604	47.8	1128.7	1130.61	1130.61	1131.52	4.74	12.17	7.34	1.13
KP 1 +732	47.8	1126.16	1128.12	1128.09	1129	4.83	12.4	7.13	1.12
KP 1 +810	47.8	1123.93	1126.5	1125.89	1127.03	3.78	16.47	7.03	0.76
KP 1 +843	47.8	1122.92	1124.94	1124.94	1125.86	4.9	12.23	7.05	1.12
KP 1 +962	47.8	1121.23	1123.55	1123.34	1124.33	4.75	13.2	6.54	1.02
KP 2 + 042	47.8	1119.15	1120.91	1120.91	1121.72	4.59	12.68	8.21	1.13
KP 2 + 072	47.8	1116.79	1118.73	1118.73	1119.57	4.69	12.57	7.82	1.11
KP 2 + 206	47.8	1115.13	1118.67	1116.99	1118.92	2.56	24.76	7.4	0.44
KP 2 + 216	47.8	1114.98	1117.54	1116.99	1118.18	4.17	15.15	6.3	0.84
KP 2 + 226	47.8	1114.79	1116.94	1116.94	1117.97	5.25	11.69	6.15	1.16
KP 2 + 353	47.8	1113.37	1117.32	1115.1	1117.48	2.11	30.9	8.2	0.34
KP 2 + 363	47.8	1113.35	1115.61	1115.61	1116.82	5.86	11.02	5.15	1.25
KP 2 + 373	47.8	1113.18	1115.21	1115.21	1116.23	5.11	11.71	6.3	1.16
KP 2 + 402	47.8	1111.21	1113.6	1113.6	1114.76	5.79	11.25	5.35	1.21
KP 2 + 475	47.8	1109.49	1112.1	1111.59	1112.78	3.97	14.69	6	0.8
KP 2 + 542	47.8	1107.98	1110.35	1110.35	1111.56	5.73	11.13	5.15	1.21
KP 2 + 597	47.8	1106.42	1108.31	1108.31	1109.22	4.97	12.08	7.05	1.17

Fuente Autores del proyecto.

4.4 MODELO MATEMÁTICO DE AMPLIA UTILIZACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN EN LAS SECCIONES DE INTERÉS.

4.4.1. Análisis de la erosión hídrica del suelo en el municipio de Ocaña. La erosión del suelo por escurrimiento hídrico cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal, es quizás el proceso de mas importante degradación de suelos dado que este es irreversible y de generalmente de gran magnitud (HONORATO et, 2001).

Partimos del concepto técnico que son muchos los factores que favorecen e incrementan la erosión Hídrica: las lluvias, el suelo, la pendiente el tipo de vegetación, la presencia o ausencia de medidas de conservación, además del hombre que actúa como uno de los

principales actores al alterar las condiciones ecológicas del lugar, ya sea por necesidad o por aplicar técnicas inadecuadas para la realización de sus actividades redituables.

En esta parte de nuestra tesis estimaremos la pérdida de suelo por erosión Hidrica en la Microcuenca del rio tejo mediante la aplicación de la metodología **USLE/RUSLE**. Para de forma posterior los efectos de esta erosión sobre los puentes de uso vehicular peatonal en el tramo del rio tejo comprendido entre el Caracolí y el Tejarito. Para la realización del estudio general de la erosión del suelo de la Microcuenca del rio tejo aplicando la metodología antes mencionada determinaremos las siguientes variables

Factor de erosividad de las precipitaciones según (ROOS,MORGAN,FOSTER) factor R y el índice modificado de FOUINER

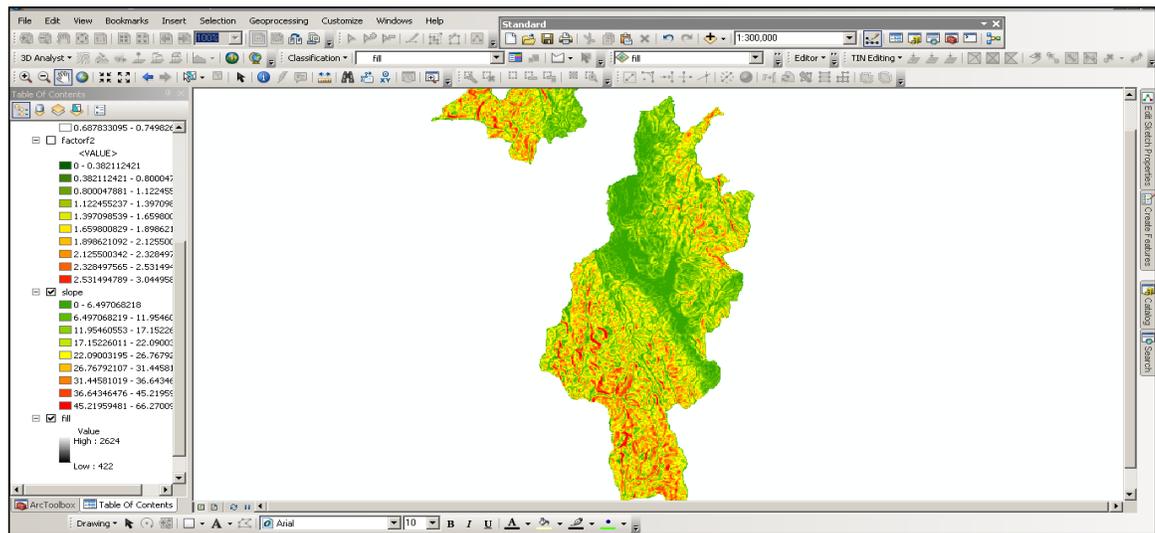
Factor de erodabilidad del suelo (K).

Determinar factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS)

Determinar el factor de la cobertura vegetal o uso actual del suelo

4.4.1.1 Factor de Erosividad. niciamos limpiado y rellenado el DEM de la Microcuenca obtenido de la página ASTER GDEM, y procedemos a realizar un slop o pendientes esto para calcular el factor F de la fórmula de la ecuación USLE/RUSLE. Luego procedemos a realizar un slop o Ráster de pendientes, este rater de pendiente o slop es nuestra base para el cálculo del factor (F) Fournier procedemos a la creación de la formula en ArcMap por medio de la calculadora Ráster con el uso del proceso de algebra de mapas.

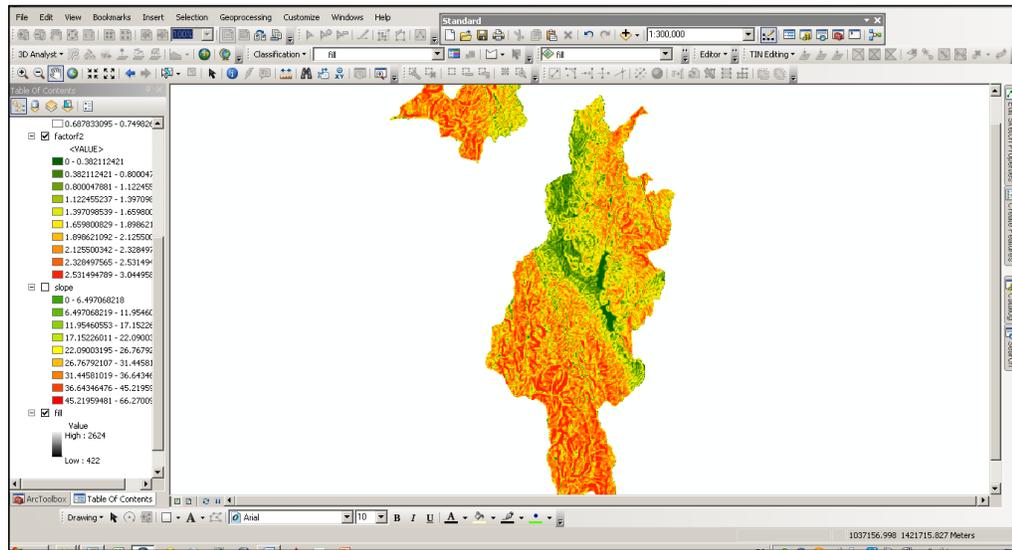
Imagen 10. Slop o Ráster de pendientes generado para iniciar el cálculo de las variables que componen la ecuación USLE/RUSLE



Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

Se obtuvo el factor F (INDICE MODIFICADO DE FOUINER), procedimos a él cálculo del factor m.

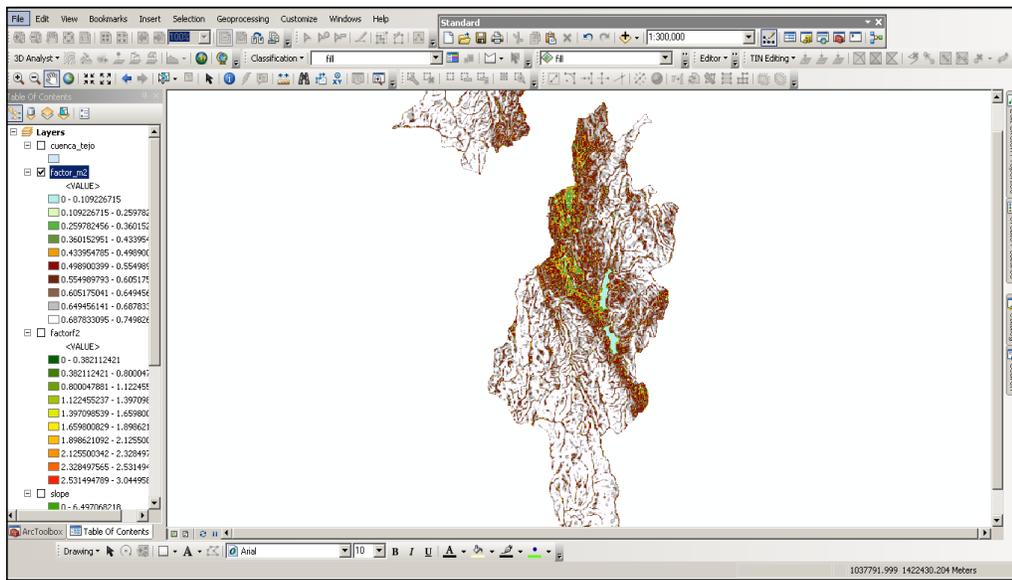
Imagen 11. Slop o Ráster de pendientes generado para iniciar el cálculo de las variables que componen la ecuación USLE/RUSLE



Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

Resultado del proceso para el cálculo del factor (F)

Imagen 12. Resultado del caculo del factor m y su reclasificación en ArcGIS 10.2

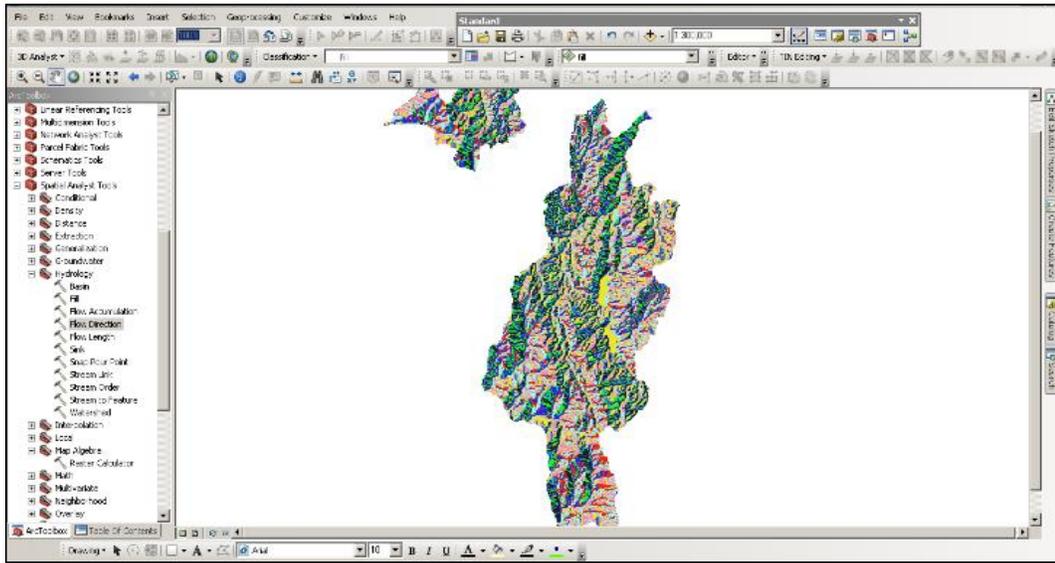


Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

4.4.1.2 Factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS). Para continuar con el análisis de erosión procedimos a realizar las direcciones y acumulación de flujos con el uso de la herramienta Hydrology y se procedió al cálculo del factor L (longitud de la pendiente

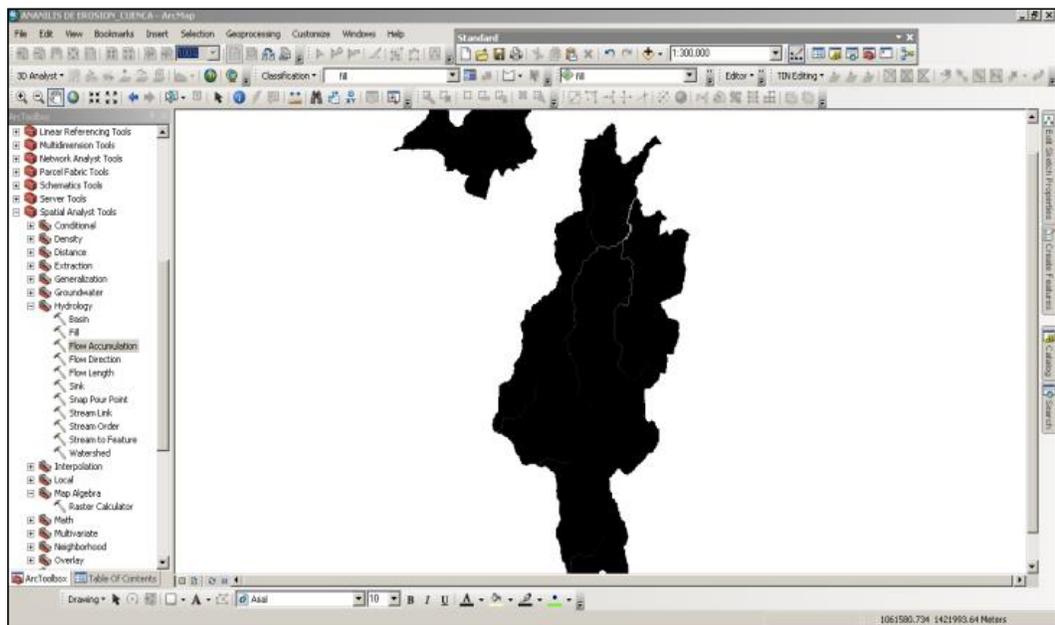
en metros) la longitud de la pendiente se defina como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye a un canal definido (Foster et al 1977).

Imagen 13. Resultado del flow direction y flow accumulation



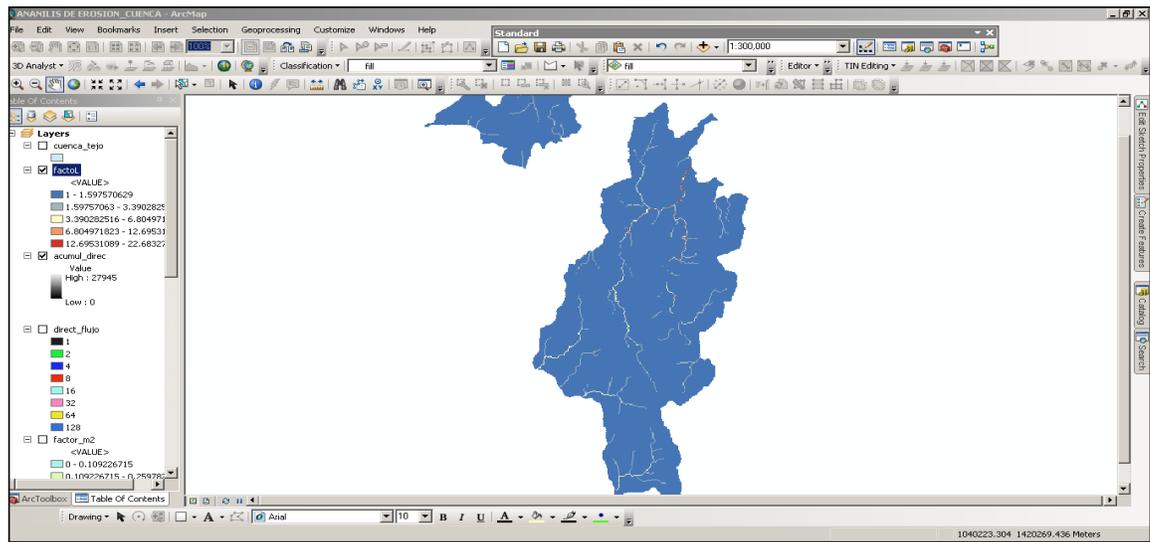
Fuente Wrearc_esri-0004658734_degr_2014

Imagen 14. Resultado del flow direction y flow accumulation



Fuente Wrearc_esri-0004658734_degr_2014

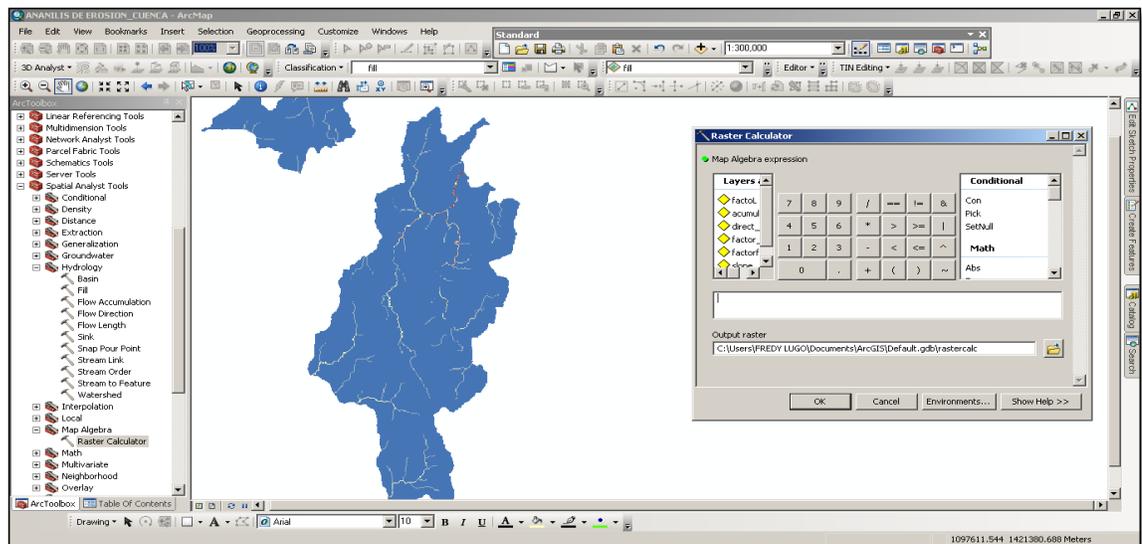
Imagen 15. Resultado del Geoproceso Ráster para la obtención del factor L



Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

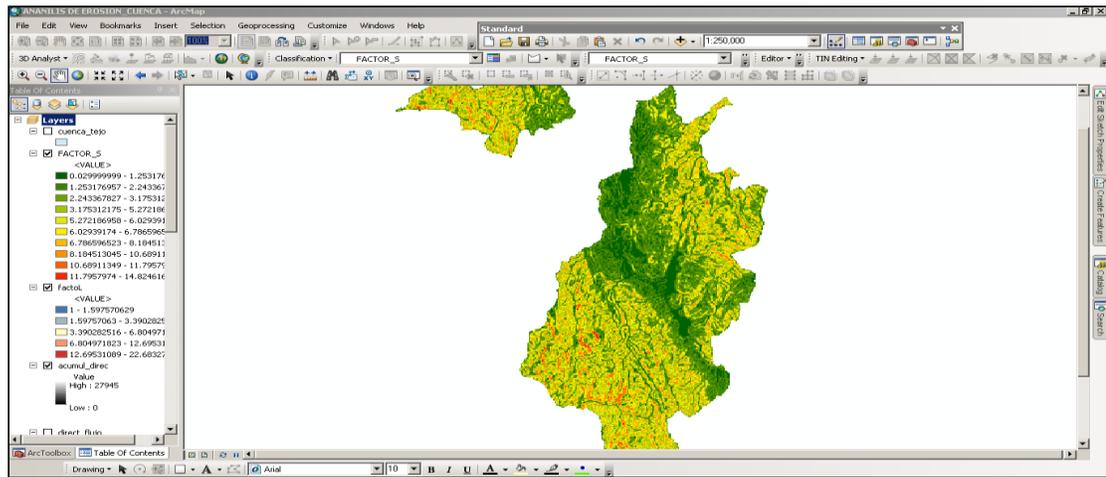
Factor L: Este es la longitud de la pendiente y expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22,13m con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente. Después de obtener el factor L se procede con el cálculo del factor S, dentro de la ecuación USLE/RUSLE implementado en el software de análisis de erosión.

Imagen 16. Zona de trabajo del software para el cálculo y variables de la ecuación universal de erosión USLE/RUSLE



Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

Imagen 17. Resultado obtenido como factor S

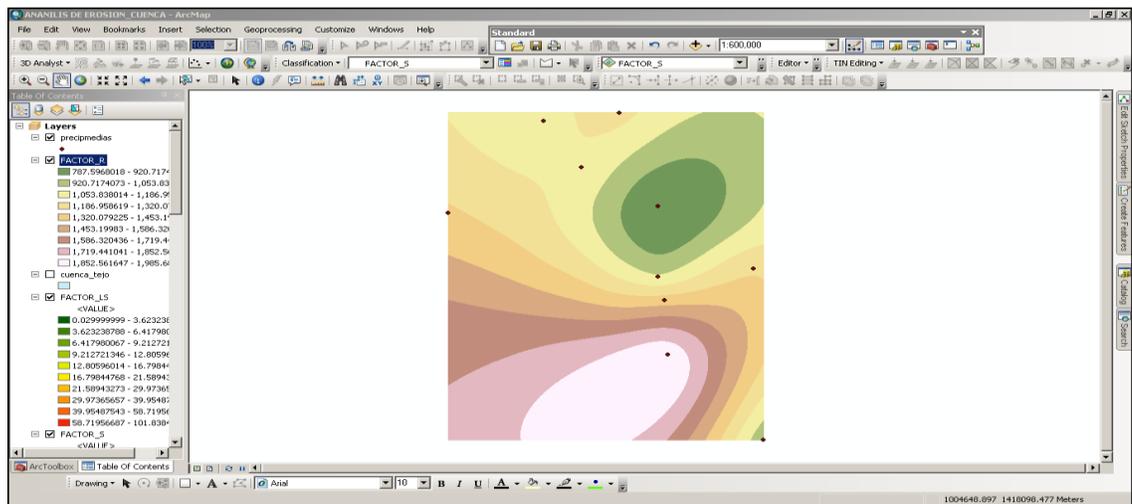


Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

Factor S: este es el factor de gradiente de pendiente y expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelo de una pendiente con gradiente estándar de 9% bajo otras condiciones similares definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelos por unidad de área

4.4.1.3 Factor R. Luego de obtener el factor LS, procedimos a determinar el factor R de la ecuación, el cual es el factor de lluvia en forma de un índice (EI30), que es medido por el poder erosivo de la lluvia expresado en toneladas metro /Ha /hora o en joule por m2 esta es una medida de las fuerzas erosivas de las lluvias y escurrimiento asociado.

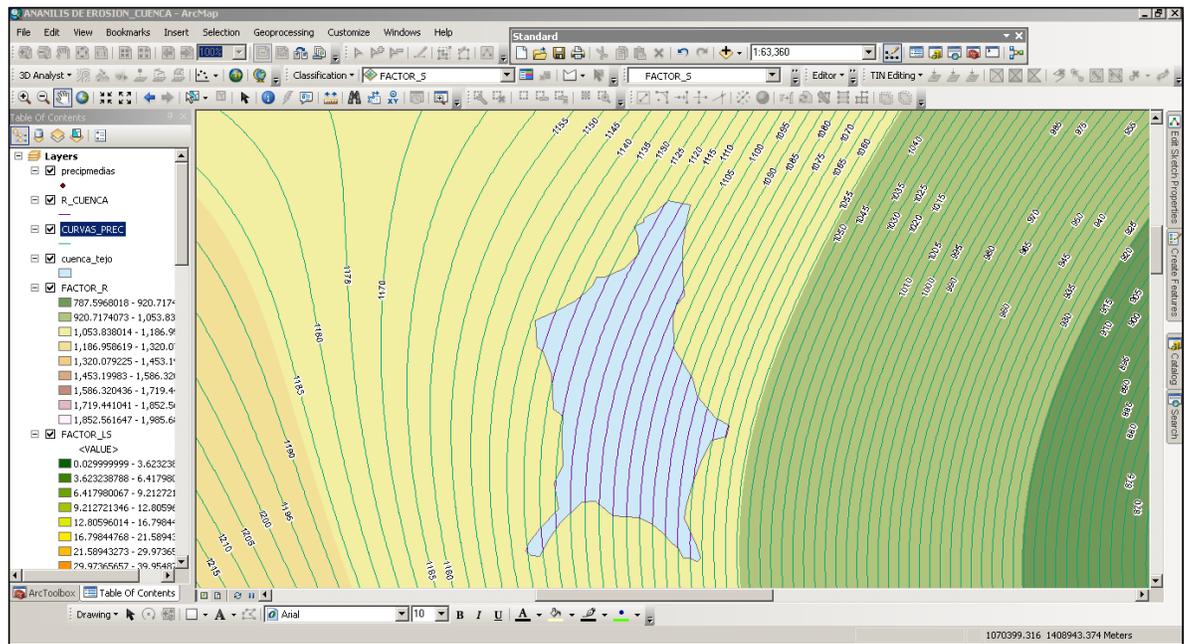
Imagen 18. Resultado del cálculo del factor R



Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

Imagen del resultado del cálculo del factor R basado en la precipitación media anual en el área de influencia del municipio de Ocaña norte de Santander, a partir de los valores de cálculo de R se genera el mapa de Isolneas de igual valor de R (isoerosividad) para la cuenca hidrográfica del tej.

Imagen 19. Proceso para la generación del mapa de factor R



Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

Proceso para la generación del mapa de factor R en la cuenca del rio tejo y partir de esta información generamos el factor K.

4.4.1.4 Factor de erodabilidad. Es el factor de erodabilidad del suelo, es erosión estándar por tonelada por una unidad de erosividad para un suelo específico con una pendiente uniforme de 9% de gradiente y 22.1 mtrs de longitud de pendiente en barbecho es una medida de la susceptibilidad inherente de las partículas del suelo a la erosión.

En otras palabras el factor K, muestra la vulnerabilidad del suelo de la Microcuenca del rio tejo esta es una característica inherente a los suelos la cual es función de la acción individual y/o combinadas de sus propiedades físicas químicas y biológicas así como también del manejo que de ellos se haga.

El método más completo y aceptado hasta el momento a nivel mundial para estimar K es el nomograma de **Wischmeier y Smith**, el cual requiere datos sobre porcentajes (%) de limo, porcentaje de arena, porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad en

caso de no contar con esta información tan detallada se pueden usar valores tabulados por Kirkby y Morgan (1980). Estos valores se pueden observar en la siguiente tabla:

Cuadro 24. Valores de K asociados a la textura y al contenido de M.O

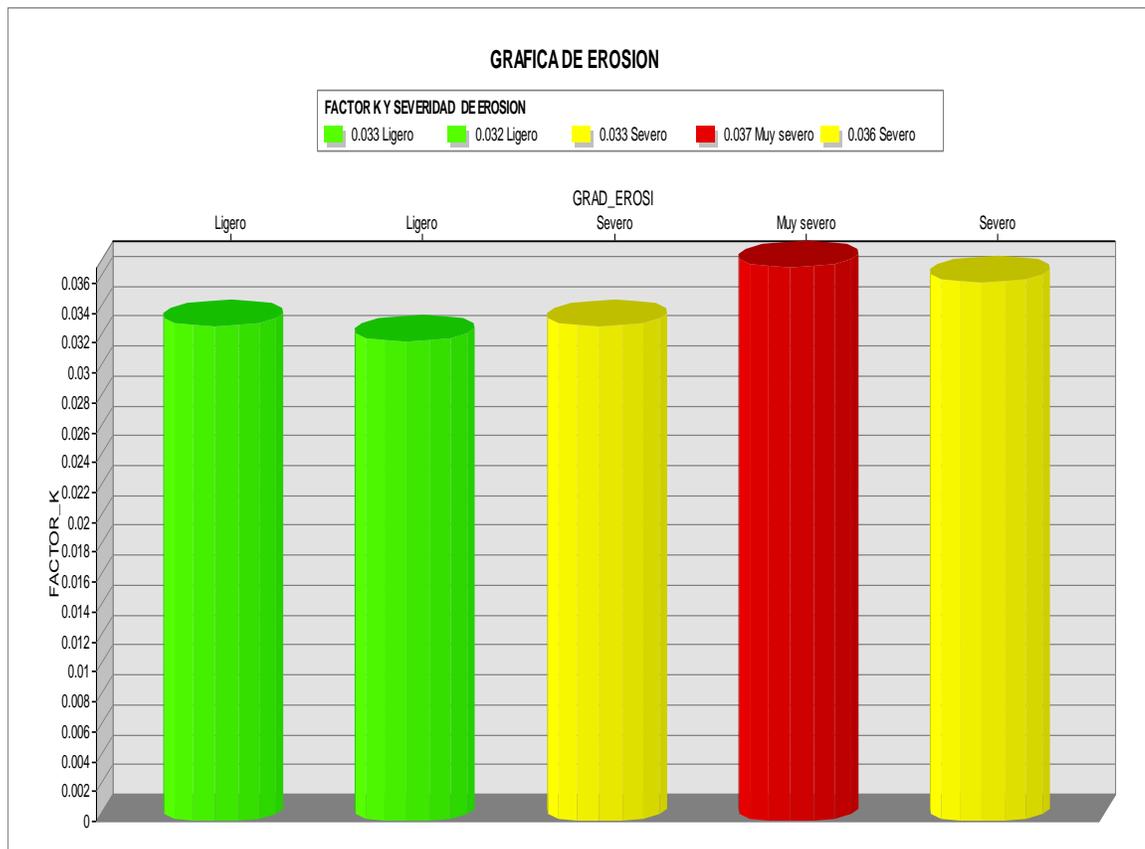
TEXTURA DEL SUELO	< 0.5%	2%	>4%
Arcilla	0.017	0.038	-----
Arcilla arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcilla limosa	0.033	0.030	0.025
Arena	0.007	0.004	0.003
Arena fina	0.0021	0.018	0.013
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena muy fina	0.055	0.047	0.037
Arena muy fina franca	0.058	0.050	0.040
Franco (grada)	0.050	0.045	0.038
Franco arcillolimoso	0.049	0.042	0.034
Franco arcilloso	0.037	0.033	0.028
Franco arenoarcilloso	0.036	0.033	0.028
Franco arenoso	0.036	0.032	0.025
Franco arenoso fino	0.046	0.040	0.032
Franco arenoso muy fino	0.062	0.054	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Limo franco	0.063	0.055	0.043

Fuente Wrearc_esrri-0004658734_degr_2014

Como en este caso solo contamos con información de profundidad y clase textural se procedió a calcular el % de materia orgánica para cada una de las unidades de suelos para conocer la cantidad en % de materia orgánica.

Al encontrar que debido a la escala de estudio de suelos de norte de Santander 1:100.000, el nivel de detalle en el que se haya la información requerida los valores de K es menor estos valores se obtienen empleado los % de las unidades cartográficas en cada perfil de suelo para que de esta forma se pueda totalizar y dar un valor única a K en cada unidad de suelo.

Grafica 30. Estadística del factor K que determina el grado de erosión del suelo



Fuente Autores de la investigación.

4.4.1.5 Factor C. Este indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo y se expresa como la relación entre la pérdida de suelo en el sentido de la pendiente a intervalos regulares los valores de c son pequeños cuando el suelo está protegido del impacto del agua lluvia y de la acción de la escorrentía superficial y viceversa es decir el valor de C será mayor en el caso contrario.

La salida grafica No (), deja ver claramente que en el área de influencia se presentan 4 zonas bien diferenciadas a nivel espacial, la primera y más grande en cuanto área se refiere se ubica a nivel medio de la Microcuenca con un total de 620.05 Ha entre las coordenadas planas 1078194.4089 ; 1403915.13379 con un grado de erosión severo la siguiente zona es la que presenta influencia sobre el casco urbano del municipio con un área total de 562.11 Ha en las coordenadas planas 1079218.93672; 1403926.90878 con un grado de erosión muy severo, y la tercera zona en importancia que se puede apreciar es de 215,21 ha la cual se localiza al sur de la cuenca la cual también es la zona con mayores pendientes del área de la Microcuenca del tejo y presenta un grado de erosión ligero.

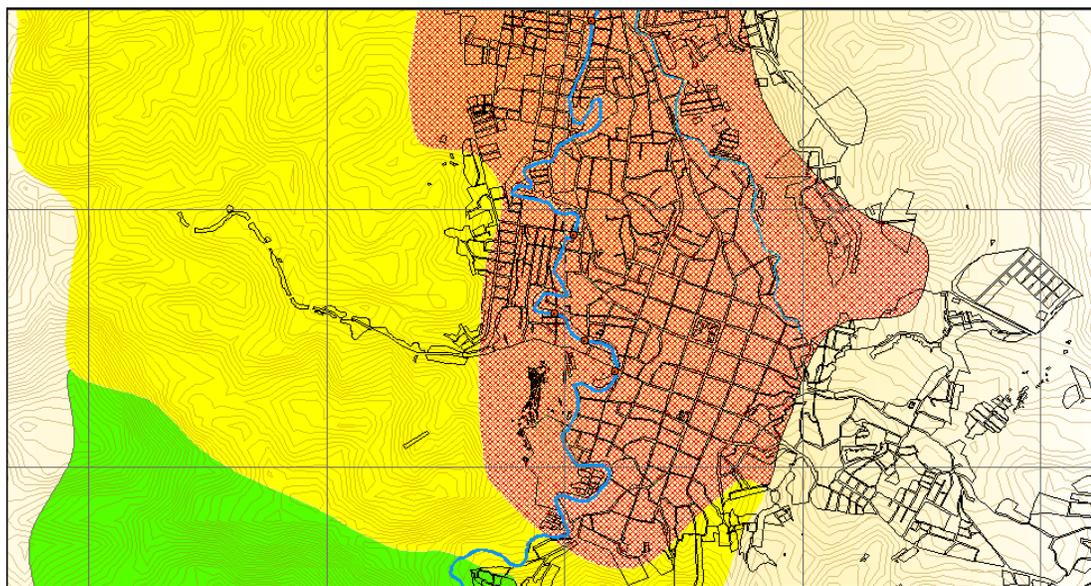
La infraestructura motivo de estudio en esta tesis se ubica en la zona espacial de la Microcuenca que presenta un grado de erosión severa (Ver tabla de puentes)

Cuadro 25. Características mecánicas y de drenaje en los puentes analizados.

LOCALIZACION GENERAL DE PUENTE ANALIZADO			CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS MECANICAS Y DE DRENAJES		
NOMBRE	X	Y	USCS	COMPORTAMIENTO MECANICO	CAPACIDAD DE DRENAJE
TEJARITO	1079396.605	1402371.766	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA
URBANIZACION CENTRAL	1079281.068	1402491.116	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA
SANTA EUDOSIA	1079165.252	1402597.659	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA
VILLA LUZ	1079239.452	1402903.042	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA
LAS LLANADAS	1079305.05	1403730.937	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA

Fuente Autores de la investigación.

Imagen 21. Localización de los puentes en objeto de estudio sobre la zona con un grado de severidad severo



Fuente Autores de la investigación.

4.4.2 Clasificación de suelos de la Microcuenca del tejo en el tramo comprendido entre el puente Tejarito y la afluencia con el río chiquito. Los suelos de la zona de la Microcuenca donde se encuentran ubicadas las obras civiles objeto de nuestro estudio presentan las siguientes características según los estudios realizados por la compañía **GEOTEC Colombia.**

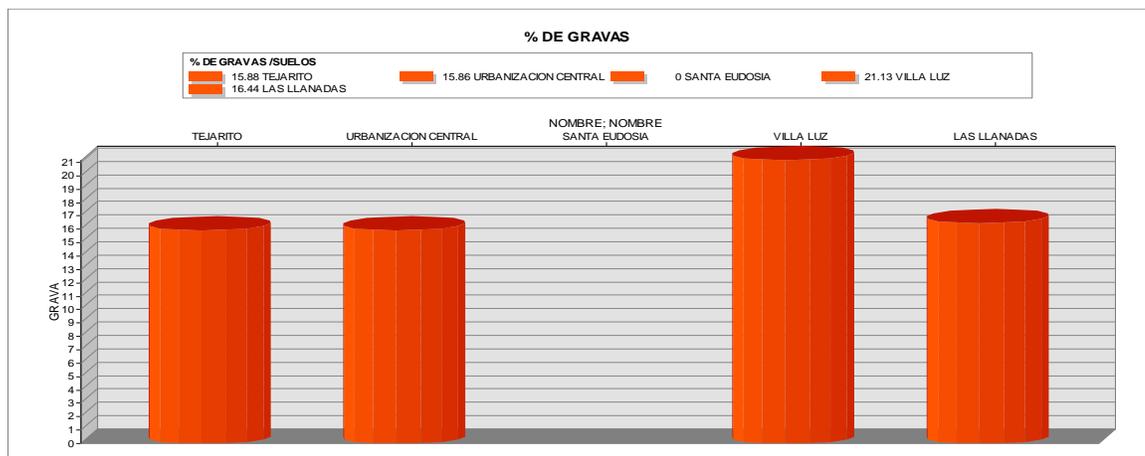
En cuanto a clasificación por granulometría los suelos de la zona de estudio se pueden clasificar como suelos malos con mayor capacidad de carga y susceptibilidad a deformación.

Cuadro 26. Información granulométrica de puentes.

INFORMACION GENERAL DE LOS PUENTES OBJETO DE ESTUDIO				CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS DEL SECTOR EN ESTUDIO				
NOMBRE	X	Y	USCS	COMPORTAMIENTO MECANICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	GRAVA	ARENA	FINOS
TEJARITO	1079396.61	1402371.77	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA	15.88	1588	16.95
URBANIZACI	1079281.07	1402491.12	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA	15.86	72.97	11.17
SANTA EUDC	1079165.25	1402597.66	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA	0	0	0
VILLA LUZ	1079239.45	1402903.04	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACEPTABLE A MALA	21.13	51.03	27.85
LAS LLANAD	1079305.05	1403730.94	SMd	ACEPTABLE A BUENO	ACAPTABLE A MALA	16.44	76.61	6.95

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 31. Porcentajes de gravas en los suelos del área de estudio



Fuente Autores de la investigación.

Según el estudio de laboratorio los suelos con mayor % de gravas son los que se encuentran ubicados en el barrio villa luz con un total de 21,13%

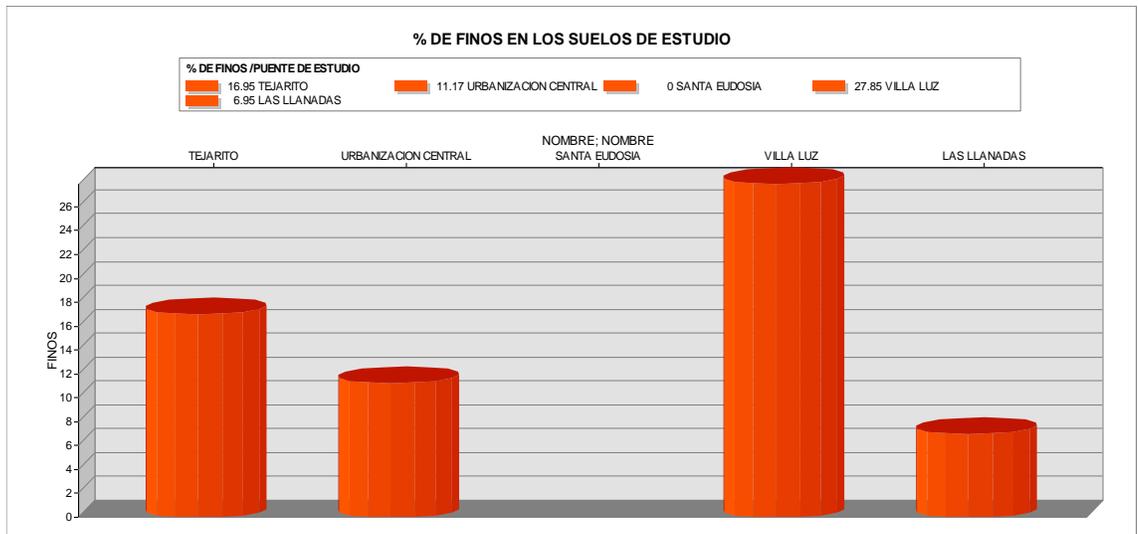
Grafica 32. Porcentajes de arenas en los suelos del área de estudio



Fuente Autores de la investigación.

Para el caso de las arenas el sitio con mayor porcentaje según los resultados del estudio pertenece a los suelos del sector de las llanadas con un total de 76.61%.

Grafica 33. Porcentajes de arenas en los suelos del área de estudio



Fuente Autores de la investigación.

En el porcentaje de las partículas finas se presenta en una mayor cantidad en el puente villa luz y su zona de influencia con un total de 27,85%

4.4.3 Erosión en el tramo de estudio

En los análisis de socavación general y local, ya sea en puentes o en obras hidráulicas menores, se deberá tener un conocimiento integral de los aspectos hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos y topográficos del sitio en estudio. Por tal razón, resultan de gran importancia estos estudios y el nivel de análisis de la información primaria y secundaria recopilada durante la etapa previa de ellos. Por otro lado, la evaluación de la socavación en puentes y, en general, en estructuras hidráulicas, es un tema sobre el que no se ha dicho la última palabra, por lo que aún se trabaja en el desarrollo de metodologías para determinar la profundidad de socavación al presentarse una creciente. En general, las diferentes ecuaciones propuestas para el cálculo de la socavación son el resultado de investigaciones de laboratorio con limitada verificación en campo, razón por la cual la profundidad de socavación calculada puede diferir entre un autor y otro.

Se debe tener en cuenta que un estudio de socavación no sólo se debe basar en los resultados que arrojen las ecuaciones indicadas, sino que deberá primar la experiencia, el conocimiento de las diferentes variables, las limitaciones y los rangos de aplicación de las ecuaciones a utilizar y, sobre todo, un buen criterio, que garantice la obtención de los valores adecuados de socavación que aseguren la estabilidad. (2)

4.4.3.1 Método para estimar la socavación

Socavación general, tiene que ver con el descenso generalizado de lecho de la corriente durante el paso de la creciente de un periodo de retorno de 100 años y que se sucede en tramos rectos; en una contracción ya sea de tipo natural o motivada por una obra (estribos, puentes, espigones, etc.) y en los tramos de curvas en los ríos.

El conocimiento del descenso del nivel del lecho de un río, a causa de la socavación general, es de gran importancia. En este proceso de degradación del lecho por el paso de una creciente asociada a un periodo de retorno, pueden quedar al descubierto capas del subsuelo que, dependiendo de la estratificación del cauce, podrían corresponder a un solo material, condición conocida como homogénea, o a estratos con materiales distintos al que forma el lecho inicial del cauce, condición conocida como heterogénea.

Para calcular la socavación general se requiere la siguiente información:

Sección transversal del cauce del sitio, indicando el nivel del agua para el caudal de diseño asociado a su periodo de retorno.

Caudal de diseño asociado a su periodo de retorno.

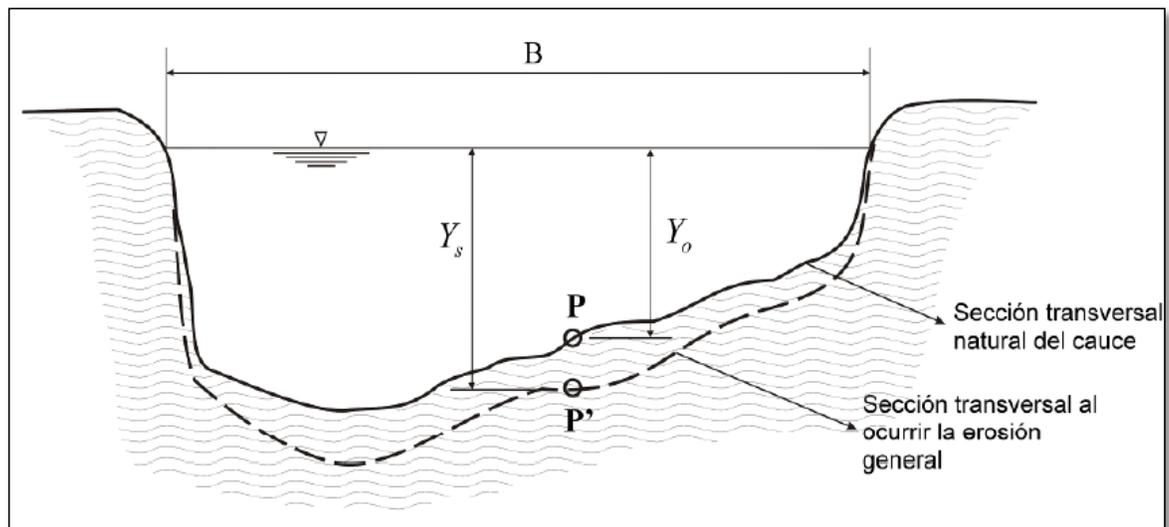
Características físicas del material del fondo inicial y de los diferentes estratos del subsuelo que puedan ser descubiertos y erosionados durante el paso de la creciente seleccionada. Los

datos más importantes son la densidad y la granulometría de suelos no cohesivos y el peso volumétrico seco de los materiales cohesivos.

Existen muchos métodos para evaluar la socavación general, siendo el más utilizado en el medio colombiano el propuesto por Lischtvan - Lebediev. Asimismo, se emplean otros métodos como el de Maza Álvarez, Maza Álvarez - Echavarría Alfaro y el de Blench, entre otros. (2)

El criterio propuesto por Lischtvan – Lebediev se basa en la obtención de la condición de equilibrio entre la velocidad media real del flujo y la velocidad media máxima necesaria para no erosionar el material del fondo; la profundidad de socavación en cualquier punto de la sección transversal se obtiene al igualar las ecuaciones de la velocidad real y la velocidad erosiva. Dependiendo del material que conforma el lecho del río, que podría corresponder a suelos de tipo granular o cohesivos, para cada caso se propone una ecuación que permite hallar la profundidad de socavación. Este método es el de mayor aplicación para determinar la socavación general en el lecho de una corriente y también se puede emplear para estimar la socavación por contracción en el caso que se vaya a proyectar un puente, por lo cual el efecto de la contracción no debe adicionarse a los valores de socavación obtenidos. (3)

Imagen 22. Ejemplo de sección transversal y las variables que arroja el método de Lischtvan – Lebediev.



Fuente: Manual de drenaje para carreteras 2009. INVIAS.

Socavación general, definición de variables.

SUELOS GRANULARES

$$Y_s = \left(\frac{\alpha * Y_0^{5/3}}{0.68 * \beta * \mu * \emptyset * d_m^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+Z}}$$

Donde:

Y_s : Profundidad del flujo después de ocurrida la socavación. Se mide desde el nivel del agua cuando pasa la creciente, hasta el nivel del fondo del cauce erosionado, en metros (m).

Y_0 : Profundidad inicial existente en una línea vertical predeterminada de la sección medida desde el nivel del agua cuando pasa la creciente, hasta el nivel del cauce antes del proceso de socavación, en metros (m).

α : Coeficiente de sección, definido como:

$$\alpha = \frac{Q_d}{Y_m^{5/3} * B_e}$$

Q_d : Caudal de diseño asociado al periodo de retorno, en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Y_m : Profundidad media, en metros (m), definida como:

$$Y_m = \frac{A}{B_e}$$

A: Área hidráulica, en metros cuadrados (m^2).

B_e : Ancho efectivo de la superficie del agua en la sección transversal, en metros (m). Del ancho total se debe descontar el ancho de las pilas cuando el ángulo de incidencia de la corriente con respecto al eje de la pila es 0. En caso de que la corriente forme un ángulo con las pilas, este valor se debe ajustar. (Figura 6.2).

β : Coeficiente de frecuencia. Este coeficiente toma en cuenta el periodo de retorno T comprendido entre 15 y 1500 años. Para obtener su valor se propone la siguiente expresión (Referencia 6.4):

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \ln(T)$$

μ : Coeficiente de contracción. Este valor se toma de la Tabla 6.1 como una función de la velocidad media del flujo y de la distancia libre entre pilas cuando hay un puente.

\emptyset : Coeficiente de corrección por el efecto de la densidad del agua durante la creciente. Para agua clara (clear water) este valor es igual a 1.0. Si la creciente transporta sedimentos en suspensión (lived-bed), este coeficiente se calcula como:

$$\emptyset = -0.54 + 1.5143 \gamma_{as}$$

γ_{as} : Peso específico del agua más sedimento, en toneladas por metro cúbico (T/m³).

d_m : Diámetro medio de las partículas del material granular, en milímetros (mm). Se calcula como:

$$d_m = 0.01 \sum d_i P_i$$

d_i : Diámetro en milímetros (mm) de una fracción de la curva granulométrica del material.
 P_i : Peso de esa fracción expresado en porcentaje con respecto al total de la muestra (porcentaje retenido).

Z: Exponente variable que depende del diámetro medio de las partículas del material granular.

$$Z = 0.394557 - 0.0413 \log(d_m) - 0.00891 \log^2 d_m$$

Cuadro 27. Factor de corrección por contracción del cauce μ (3)

V (m/s)	LONGITUD LIBRE ENTRE DOS PILAS O ESTRIBOS (m)												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
<1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.0	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.0	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
\geq 4.0	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Fuente: Manual de drenaje para carreteras 2009. INVIAS.

V = velocidad media en la sección transversal

$\mu = 1.0$ si no hay obstáculos

SUELOS COHESIVOS

$$Y_S = \left[\frac{\alpha x Y_0^{5/3}}{0.60 x \beta x \mu x \phi x \gamma_d^{1.18}} \right]^{1/X}$$

Donde:

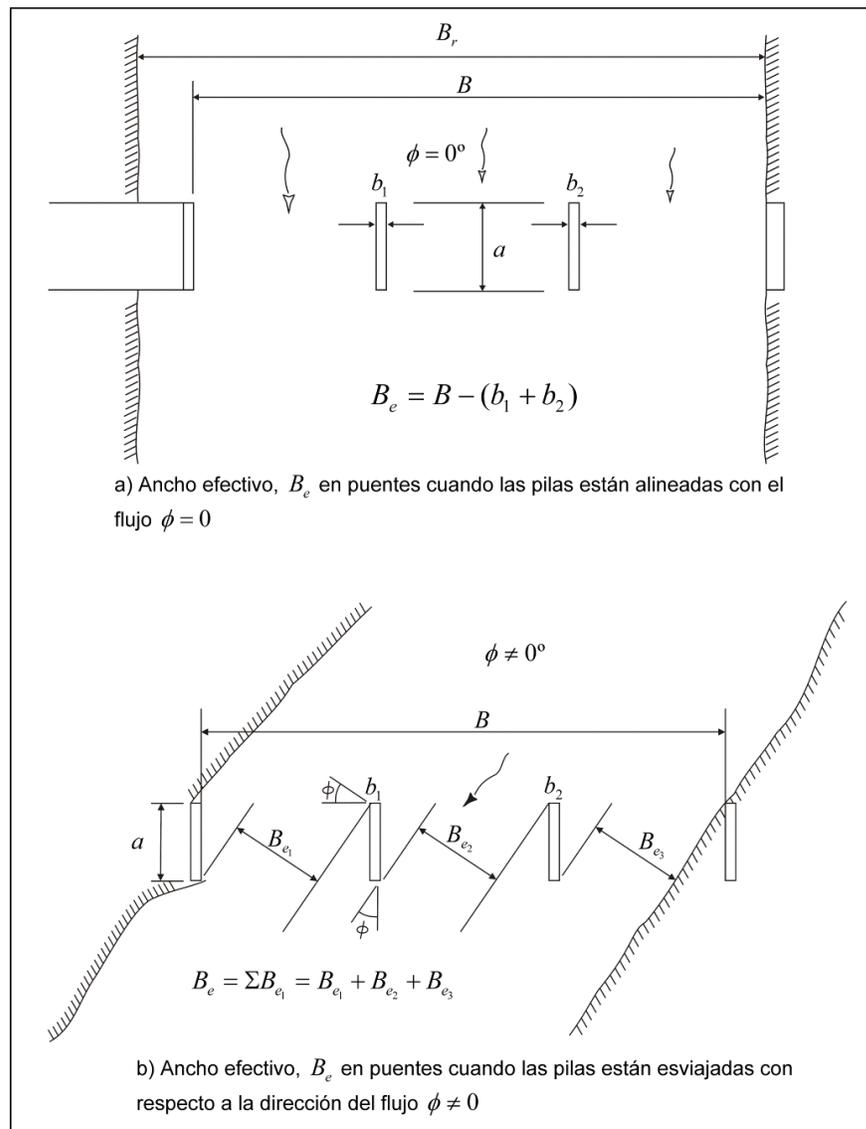
$\gamma_s, \alpha, Y_0, \beta, \mu, \phi$ se definen igual que para suelos granulares

γ_d : Peso volumétrico seco del material cohesivo, en toneladas por metro cúbico (T/m³).

X : Exponente variable que depende del peso volumétrico seco del material cohesivo.

$$X = 0.892619 - 0.58073 \gamma_d + 0.136275 \gamma_d^2$$

Imagen 23. Cálculo del ancho efectivo “Be” en puentes



Fuente: Manual de drenaje para carreteras 2009. INVIAS.

4.4.3.2. Sección erosionada en cada puente. A continuación se muestra la sección transversal para cada puente con las pilas correspondientes, la lámina de agua para el periodo de 100 años y el perfil de la erosión que se presentara en cada puente según el método mostrado anteriormente.

PUENTE UBICADO EN EL BARRIO EL TEJARITO.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información

Imagen 24. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Tejarito.

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window in HEC-RAS. The window title is 'Cross Section Output'. The menu bar includes 'File', 'Type', 'Options', and 'Help'. The input fields are: River: Tejo, Profile: TR=100AÑOS, Reach: tramo de estudio, RS: 59, and Plan: RIOTEJO. Below the input fields is a header row: 'Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 59 Profile: TR=100AÑOS'. The main data table has two columns: one for general parameters and one for element-specific parameters. The general parameters column includes: E.G. Elev (m), Vel Head (m), W.S. Elev (m), Crit W.S. (m), E.G. Slope (m/m), Q Total (m3/s), Top Width (m), Vel Total (m/s), Max Chl Dpth (m), Conv. Total (m3/s), Length Wtd. (m), Min Ch El (m), Alpha, Frctn Loss (m), and C & E Loss (m). The element-specific parameters column includes: Element, Left OB, Channel, Right OB, Wt. n-Val., Reach Len. (m), Flow Area (m2), Area (m2), Flow (m3/s), Top Width (m), Avg. Vel. (m/s), Hydr. Depth (m), Conv. (m3/s), Wetted Per. (m), Shear (N/m2), Stream Power (N/m s), Cum Volume (1000 m3), and Cum SA (1000 m2). Below the table is a section titled 'Errors, Warnings and Notes' containing two warning messages. At the bottom of the window, there is a text box with the instruction 'Enter to move to next upstream river station location'.

Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 59 Profile: TR=100AÑOS		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	1187.28				
Vel Head (m)	0.47	Wt. n-Val.	0.047	0.047	0.047
W.S. Elev (m)	1186.81	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	1186.09	Flow Area (m2)	0.23	15.02	1.40
E.G. Slope (m/m)	0.006177	Area (m2)	0.23	15.02	1.40
Q Total (m3/s)	47.80	Flow (m3/s)	0.08	46.28	1.44
Top Width (m)	6.70	Top Width (m)	0.10	6.00	0.60
Vel Total (m/s)	2.87	Avg. Vel. (m/s)	0.35	3.08	1.03
Max Chl Dpth (m)	2.64	Hydr. Depth (m)	2.30	2.50	2.33
Conv. Total (m3/s)	608.2	Conv. (m3/s)	1.0	588.9	18.3
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	2.40	6.04	2.92
Min Ch El (m)	1184.16	Shear (N/m2)	5.80	150.54	28.99
Alpha	1.12	Stream Power (N/m s)	320.79	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.10	Cum Volume (1000 m3)	13.93	17.10	9.43
C & E Loss (m)	0.04	Cum SA (1000 m2)	7.23	7.30	4.96

Errors, Warnings and Notes

Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.

Enter to move to next upstream river station location

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1402368.904	1079399.387

Imagen 25. Puente en el barrio el Tejarito.



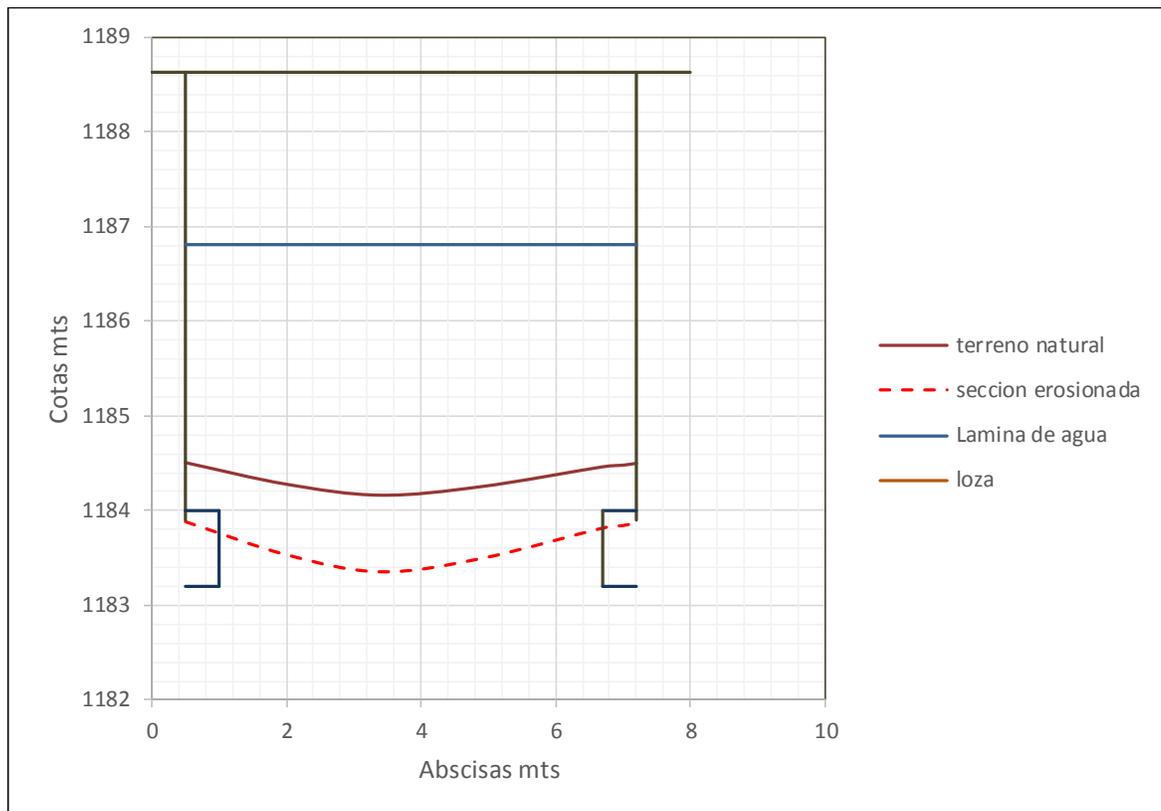
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 28. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el Puente Tejarito.

PUENTE Tejarito						
Determinación de perfil de socavación general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1186.81						
P ₁	Abscisa (m)	Cota P ₁ (msnm)	Y ₀₁ (m)	Y _{S1} (m)	Sg ₁ (m)	Ps ₁ (msnm)
A	0.5	1184.507	2.30	2.93	0.62	1183.88
B	2	1184.279	2.53	3.28	0.75	1183.53
C	3.4	1184.163	2.65	3.46	0.81	1183.35
D	4.9	1184.254	2.56	3.31	0.76	1183.50
E	6.7	1184.463	2.35	2.99	0.65	1183.82
F	7	1184.48	2.33	2.97	0.64	1183.84
G	7.2	1184.5	2.31	2.94	0.63	1183.87

Fuente Autores de la investigación.

Gráfica 34. Socavación para el puente ubicado en el barrio Tejarito.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 0.81 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.62 mts y 0.63 mts que ya entra a afectar la cimentación del puente debido a que la pieza a dejar descubierta.

PUENTE UBICADO EN LA URBANIZACIÓN MARINA.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

PUENTE UBICADO EN LA URBANIZACIÓN MARINA.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 26. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en la Urbanización Marina.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: Tejo		Profile: TR=100AÑOS			
Reach: tramo de estudio		RS: 56		Plan: RIOTEJO	
Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 56 Profile: TR=100AÑOS					
E.G. Elev (m)	1185.21	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.11	Wt. n-Val.	0.047	0.047	0.047
W.S. Elev (m)	1185.10	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	1184.03	Flow Area (m2)	0.21	10.61	21.66
E.G. Slope (m/m)	0.002035	Area (m2)	0.21	10.61	21.66
Q Total (m3/s)	47.80	Flow (m3/s)	0.04	17.50	30.26
Top Width (m)	15.81	Top Width (m)	0.10	4.70	11.01
Vel Total (m/s)	1.47	Avg. Vel. (m/s)	0.20	1.65	1.40
Max Chl Dpth (m)	2.39	Hydr. Depth (m)	2.09	2.26	1.97
Conv. Total (m3/s)	1059.5	Conv. (m3/s)	0.9	387.9	670.7
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	2.18	4.74	12.42
Min Ch El (m)	1182.71	Shear (N/m2)	1.91	44.68	34.82
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)	775.63	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)	13.82	16.61	8.97
C & E Loss (m)	0.07	Cum SA (1000 m2)	7.15	7.05	4.71
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.					
Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.					
Enter to move to next downstream river station location					

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1402438.638	1079394.855

Imagen 27. Puente barrio Urbanización Marina



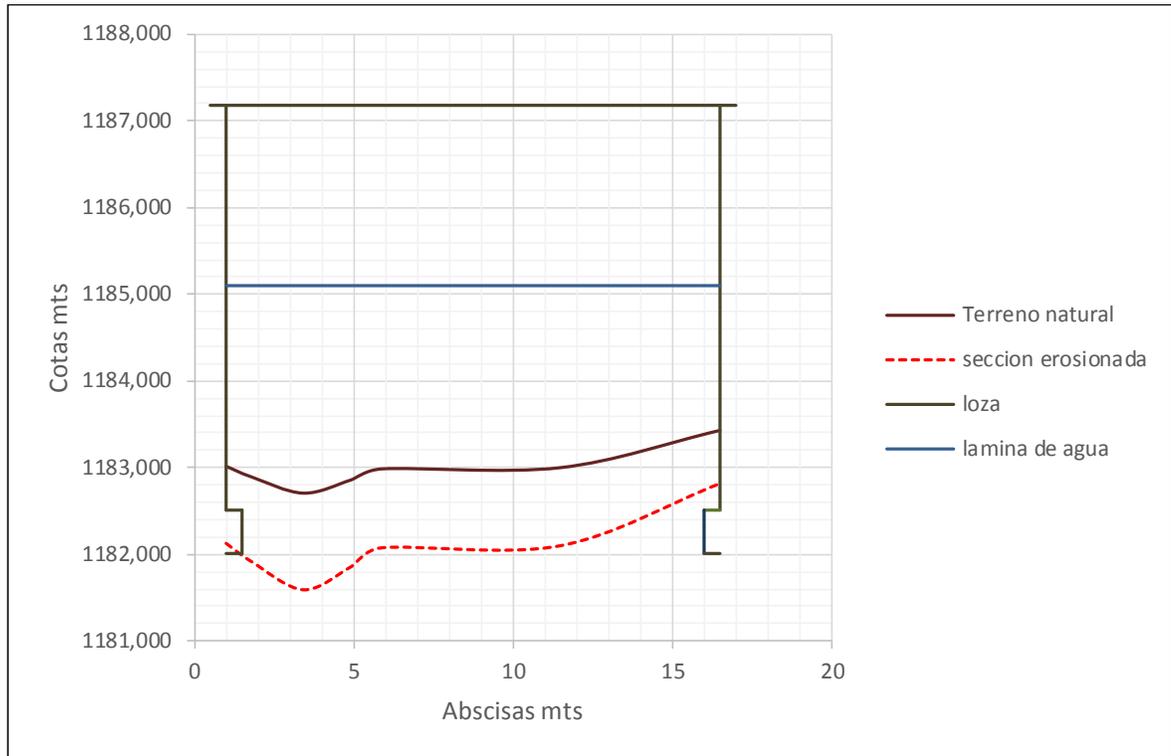
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 29. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Urbanización Marina.

PUENTE URBANIZACION MARINA						
Determinación de perfil de socavacion general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1185.1						
P₁	Abscisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	S_{g1} (m)	P_{S1} (msnm)
A	1	1183.016	2.08	2.97	0.89	1182.13
B	1.8	1182.893	2.21	3.18	0.98	1181.92
C	3.42	1182.706	2.39	3.51	1.11	1181.59
D	4.9	1182.856	2.24	3.25	1.00	1181.85
E	5.89	1182.99	2.11	3.02	0.91	1182.08
F	11.49	1183.00	2.10	3.00	0.90	1182.10
G	16.50	1183.43	1.67	2.28	0.61	1182.82

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 35. Socavación para el puente ubicado en el barrio Urbanización Marina.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.11 mts para la parte más crítica que es la parte izquierda de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.60mts y 0.89 mts que ya entra a afectar la cimentación de la parte izquierda del puente debido a que la empieza a dejar descubierta.

PUENTE UBICADO EN LA URBANIZACIÓN CENTRAL.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 28. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en la Urbanización Central.

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window in HEC-RAS. The window title is 'Cross Section Output'. The menu bar includes 'File', 'Type', 'Options', and 'Help'. The 'River' is set to 'Tejo', 'Profile' to 'TR=100AÑOS', 'Reach' to 'tramo de estudio', 'RS' to '52', and 'Plan' to 'RIOTEJO'. The main data table is titled 'Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 52 Profile: TR=100AÑOS'. The table has two main columns: 'Element' and 'Value'. The 'Element' column lists various hydraulic parameters, and the 'Value' column provides the corresponding numerical values. Below the table, there is a section for 'Errors, Warnings and Notes' with two warning messages. At the bottom, there is a text input field with the prompt 'Enter to move to next downstream river station location'.

Element	Value
E.G. Elev (m)	1184.23
Vel Head (m)	0.45
W.S. Elev (m)	1183.78
Crit W.S. (m)	1183.25
E.G. Slope (m/m)	0.008370
Q Total (m3/s)	47.80
Top Width (m)	8.57
Vel Total (m/s)	2.76
Max Chl Dpth (m)	2.28
Conv. Total (m3/s)	522.5
Length Wtd. (m)	10.00
Min Ch El (m)	1181.51
Alpha	1.16
Frcn Loss (m)	0.13
C & E Loss (m)	0.05
Wt. n-Val.	0.047
Reach Len. (m)	10.00
Flow Area (m2)	4.17
Area (m2)	4.17
Flow (m3/s)	8.35
Top Width (m)	2.30
Avg. Vel. (m/s)	2.00
Hydr. Depth (m)	1.81
Conv. (m3/s)	91.2
Wetted Per. (m)	3.95
Shear (N/m2)	86.69
Stream Power (N/m s)	425.16
Cum Volume (1000 m3)	12.93
Cum SA (1000 m2)	6.76
Left OB	0.047
Channel	10.00
Right OB	0.047
Flow Area (m2)	4.17
Area (m2)	11.80
Flow (m3/s)	4.17
Top Width (m)	11.80
Avg. Vel. (m/s)	1.35
Hydr. Depth (m)	4.17
Conv. (m3/s)	37.75
Wetted Per. (m)	1.70
Shear (N/m2)	0.77
Stream Power (N/m s)	1.26
Cum Volume (1000 m3)	1.76
Cum SA (1000 m2)	18.6
Left OB	3.95
Channel	5.53
Right OB	2.57
Flow Area (m2)	86.69
Area (m2)	175.10
Flow (m3/s)	43.20
Top Width (m)	0.00
Avg. Vel. (m/s)	0.00
Hydr. Depth (m)	0.00
Conv. (m3/s)	12.93
Wetted Per. (m)	14.91
Shear (N/m2)	8.09
Stream Power (N/m s)	6.76
Cum Volume (1000 m3)	6.38
Cum SA (1000 m2)	4.35
Left OB	0.047
Channel	10.00
Right OB	0.047

Errors, Warnings and Notes

Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.

Enter to move to next downstream river station location

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1402499.881	1079290.907

Imagen 29. Puente Urbanización Central



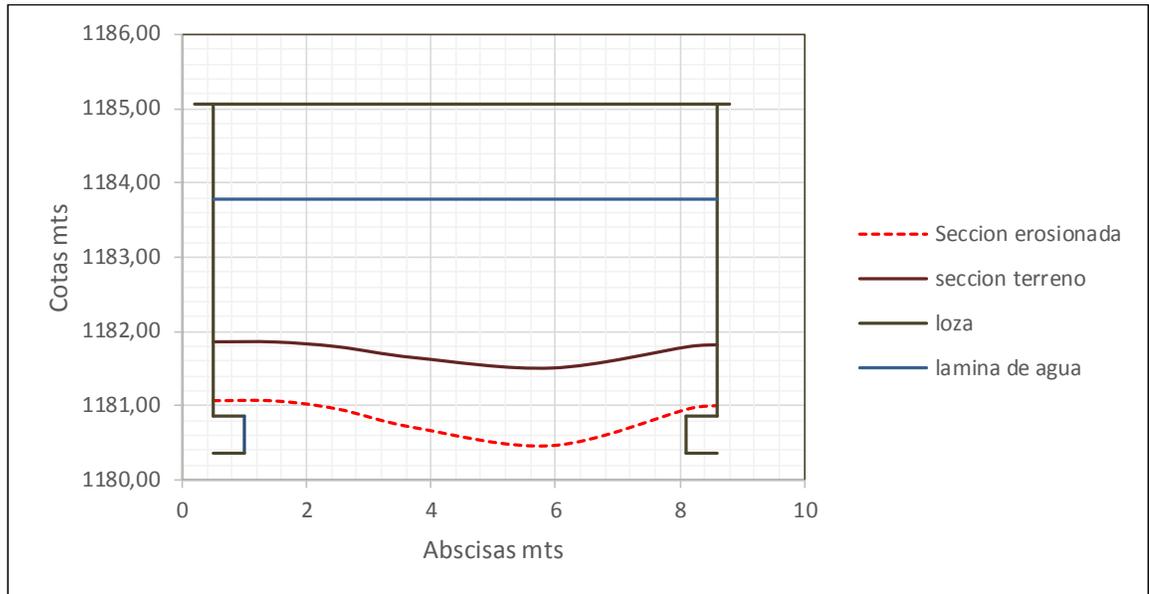
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 30. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Urbanización Central.

PUENTE URBANIZACION CENTRAL						
Determinación de perfil de socavacion general- método de lischtván Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1183.78						
P₁	Abscisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	Sg₁ (m)	Ps₁ (msnm)
A	0.5	1181.860	1.92	2.71	0.79	1181.07
B	1.5	1181.857	1.92	2.72	0.79	1181.06
C	2.5	1181.793	1.99	2.83	0.84	1180.95
D	3.75	1181.645	2.13	3.08	0.94	1180.70
E	5.95	1181.51	2.27	3.32	1.04	1180.46
F	8.15	1181.80	1.98	2.82	0.84	1180.96
G	8.60	1181.82	1.96	2.78	0.82	1181.00

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 36. Socavación para el puente ubicado en el barrio Urbanización Central.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.04 mts para la parte más crítica que es la parte centro-derecha de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.79mts y 0.82 mts que no afectan la cimentación del puente debido a que aún hay terreno por erosionar.

PUENTE UBICADO EN LAS DELICIAS.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 30. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en las Delicias.

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window in HEC-RAS. The window title is 'Cross Section Output'. The menu bar includes 'File', 'Type', 'Options', and 'Help'. The main area contains a table of data for a cross-section named 'Tejo' at station 'RS: 47'. The table is organized into two columns: the left column lists various hydraulic parameters and their values, and the right column lists the same parameters broken down by 'Left OB', 'Channel', and 'Right OB'. Below the table is a section for 'Errors, Warnings and Notes' containing three warning messages. At the bottom, there is a text input field for moving to the next downstream river station location.

Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 47 Profile: TR=100AÑOS					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	1179.52	Wt. n-Val.	0.048	0.048	0.048
Vel Head (m)	0.79	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	1178.73	Flow Area (m ²)	2.14	9.01	1.95
Crit W.S. (m)	1178.73	Area (m ²)	2.14	9.01	1.95
E.G. Slope (m/m)	0.019621	Flow (m ³ /s)	5.03	38.30	4.48
Q Total (m ³ /s)	47.80	Top Width (m)	2.21	4.50	1.69
Top Width (m)	8.41	Avg. Vel. (m/s)	2.35	4.25	2.29
Vel Total (m/s)	3.65	Hydr. Depth (m)	0.97	2.00	1.15
Max Chl Dpth (m)	2.40	Conv. (m ³ /s)	35.9	273.4	32.0
Conv. Total (m ³ /s)	341.2	Wetted Per. (m)	2.93	5.09	2.78
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m ²)	140.11	340.54	134.91
Min Ch El (m)	1176.33	Stream Power (N/m s)	502.72	0.00	0.00
Alpha	1.17	Cum Volume (1000 m ³)	12.08	14.04	7.34
Frctn Loss (m)	0.21	Cum SA (1000 m ²)	6.06	5.88	3.76
C & E Loss (m)	0.02				

Errors, Warnings and Notes

- Warning:** The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.
- Warning:** The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.
- Warning:** During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program

Enter to move to next downstream river station location

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1402600.540	1079168.677

Imagen 31. Puente ubicado en el barrio las Delicias



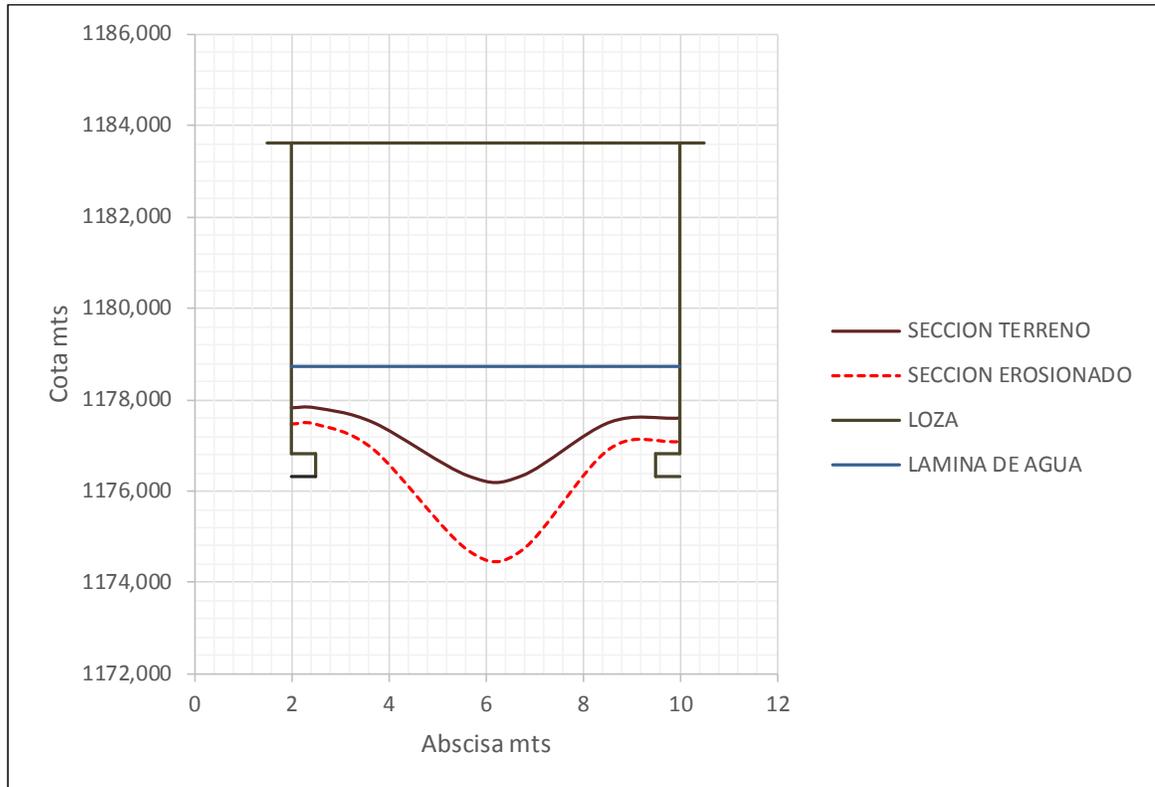
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 31. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación puente las Delicias.

PUENTE LAS DELICIAS						
Determinación de perfil de socavacion general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1178.73						
P₁	Abscisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	S_{g1} (m)	P_{S1} (msnm)
A	2	1177.824	0.91	1.26	0.36	1177.47
B	2.5	1177.823	0.91	1.26	0.36	1177.47
C	3.7	1177.496	1.23	1.82	0.59	1176.91
D	5.65	1176.331	2.40	4.03	1.64	1174.70
E	6.75	1176.34	2.39	4.02	1.63	1174.71
F	8.55	1177.51	1.22	1.81	0.58	1176.92
G	10.00	1177.60	1.13	1.64	0.51	1177.09

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 37. Socavación para el puente ubicado en el barrio Las Delicias.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.64 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.36 mts y 0.51 mts que no afectan la cimentación del puente a pesar de que en la zona central se presente una gran profundidad de erosión esto no afecta la cimentación del puente.

PUENTE UBICADO EN SANTA EUDOSIA.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 32. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Santa Eudosia.

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window in HEC-RAS. The window title is 'Cross Section Output'. The menu bar includes 'File', 'Type', 'Options', and 'Help'. The input fields are: River: Tejo, Profile: TR=100AÑOS, Reach: tramo de estudio, RS: 41, and Plan: RIOTEJO. The main data table is as follows:

Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 41 Profile: TR=100AÑOS					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	1167.46	Wt. n-Val.	0.047	0.047	0.047
Vel Head (m)	0.65	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	1166.81	Flow Area (m2)	4.50	4.08	5.40
Crit W.S. (m)	1166.81	Area (m2)	4.50	4.08	5.40
E.G. Slope (m/m)	0.020518	Flow (m3/s)	13.28	17.51	17.01
Q Total (m3/s)	47.80	Top Width (m)	4.19	2.40	4.25
Top Width (m)	10.84	Avg. Vel. (m/s)	2.95	4.29	3.15
Vel Total (m/s)	3.42	Hydr. Depth (m)	1.07	1.70	1.27
Max Chl Dpth (m)	1.81	Conv. (m3/s)	92.7	122.2	118.7
Conv. Total (m3/s)	333.7	Wetted Per. (m)	4.76	2.46	5.17
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m2)	190.30	334.23	210.22
Min Ch El (m)	1165.00	Stream Power (N/m s)	622.41	0.00	0.00
Alpha	1.09	Cum Volume (1000 m3)	11.21	13.15	6.70
Frctn Loss (m)	0.22	Cum SA (1000 m2)	5.27	5.30	3.22
C & E Loss (m)	0.00				

Below the table is the 'Errors, Warnings and Notes' section, which contains three warning messages:

- Warning:** The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.
- Warning:** The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m), between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.
- Warning:** During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program

At the bottom of the window, there is a text input field with the prompt: 'Enter to move to next downstream river station location'.

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1402685.865	1079162.903

Imagen 33. Puente en el barrio Santa Eudisia



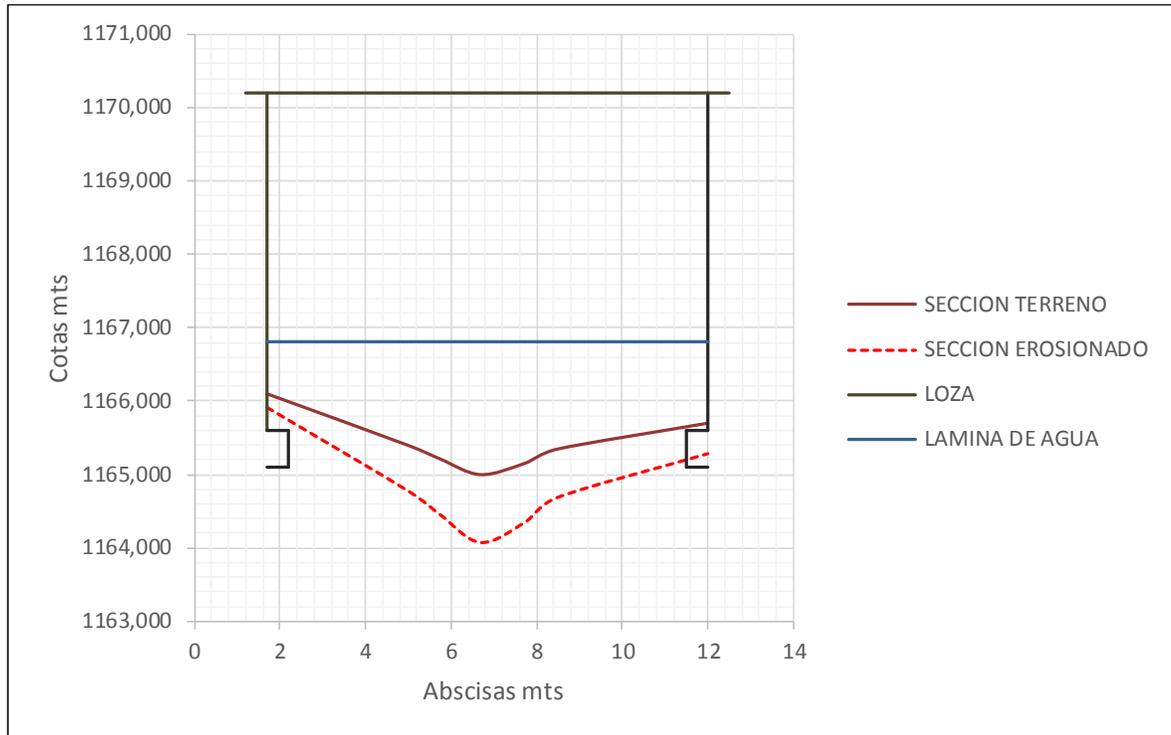
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 32. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Santa Eudisia.

PUENTE SANTA EUDOSIA						
Determinación de perfil de socavacion general- método de lischtván Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1166.81						
P₁	Abscisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	Sg₁ (m)	Ps₁ (msnm)
A	1.7	1166.100	0.71	0.90	0.19	1165.91
B	5	1165.397	1.41	2.04	0.62	1164.77
C	5.75	1165.211	1.60	2.36	0.76	1164.45
D	6.69	1165.00	1.81	2.74	0.93	1164.07
E	7.74	1165.16	1.65	2.46	0.80	1164.35
F	8.49	1165.35	1.46	2.12	0.66	1164.69
G	12.00	1165.70	1.11	1.53	0.42	1165.28

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 38. Socavación para el puente ubicado en el barrio Santa Eudisia.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 0.93 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.19 mts y 0.42 mts que afectan la cimentación del puente del margen derecho.

PUENTE UBICADO EN EL BARRIO LA TORCOROMA.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 34. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Torcoroma.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Tejo	Profile:	TR=100AÑOS		
Reach:	tramo de estudio	RS:	36	Plan:	RIOTEJO
Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 36 Profile: TR=100AÑOS					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	1158.87	Wt. n-Val.	0.048	0.048	0.048
Vel Head (m)	0.91	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	1157.97	Flow Area (m ²)	3.02	7.29	1.90
Crit W.S. (m)	1157.97	Area (m ²)	3.02	7.29	1.90
E.G. Slope (m/m)	0.024452	Flow (m ³ /s)	8.96	34.01	4.82
Q Total (m ³ /s)	47.80	Top Width (m)	1.90	4.20	1.20
Top Width (m)	7.30	Avg. Vel. (m/s)	2.96	4.66	2.54
Vel Total (m/s)	3.91	Hydr. Depth (m)	1.59	1.74	1.58
Max Chl Dpth (m)	1.82	Conv. (m ³ /s)	57.3	217.5	30.8
Conv. Total (m ³ /s)	305.7	Wetted Per. (m)	3.46	4.22	2.74
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m ²)	209.93	414.73	166.47
Min Ch El (m)	1156.15	Stream Power (N/m s)	397.39	0.00	0.00
Alpha	1.16	Cum Volume (1000 m ³)	9.93	11.97	5.85
Frctn Loss (m)	0.25	Cum SA (1000 m ²)	4.55	4.76	2.69
C & E Loss (m)	0.03				
Errors, Warnings and Notes					
Warning:	The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.				
Warning:	The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m) between the current and previous cross section. This may indicate the need for additional cross sections.				
Warning:	During the standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program				
Enter to move to next downstream river station location					

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1402838.384	1079191.983

Imagen 35. Puente del barrio Torcoroma.



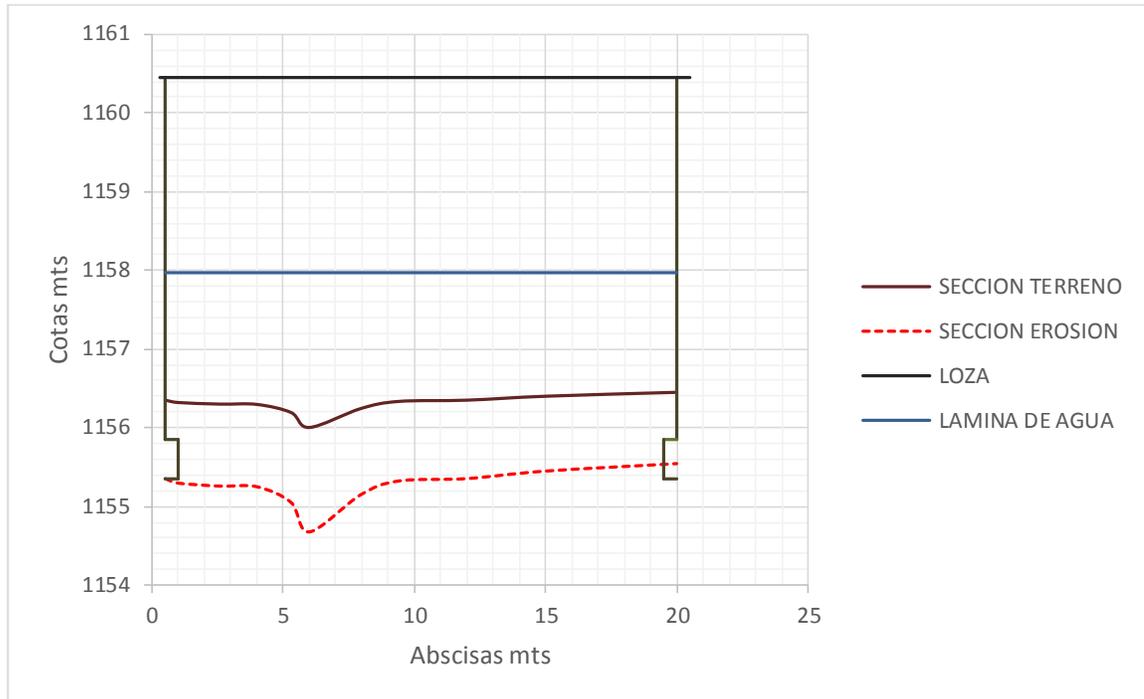
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 33. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación puente Torcoroma

PUENTE TORCOROMA						
Determinación de perfil de socavacion general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1157.97						
P₁	Abcisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	Sg₁ (m)	Ps₁ (msnm)
A	0.5	1156.35	1.62	2.62	1.00	1155.35
B	1	1156.32	1.65	2.67	1.02	1155.30
C	2.6	1156.3	1.67	2.71	1.04	1155.26
D	4	1156.296	1.67	2.72	1.05	1155.25
E	5.3	1156.193	1.78	2.92	1.14	1155.05
F	6	1156.003	1.97	3.29	1.33	1154.68
G	7.96	1156.244	1.73	2.82	1.09	1155.15
H	9.4	1156.334	1.64	2.65	1.01	1155.32
I	12.00	1156.35	1.62	2.62	1.00	1155.35
J	15.00	1156.40	1.57	2.52	0.95	1155.45
K	20.00	1156.45	1.52	2.43	0.91	1155.54

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 39. Socavación para el puente ubicado en el barrio Torcoroma.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.33 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 1.00 mts y 0.91 mts que afectan la cimentación del puente dejando al descubierto la cimentación.

PUENTE UBICADO EN EL BARRIO VILLA LUZ.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 36. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Villa Luz.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: Tejo		Profile: TR=100AÑOS			
Reach: tramo de estudio		RS: 32		Plan: RIOTEJO	
Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 32 Profile: TR=100AÑOS					
E.G. Elev (m)	1155.16	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.15	Wt. n-Val.	0.048	0.048	0.048
W.S. Elev (m)	1154.01	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	1154.01	Flow Area (m ²)	5.16	3.94	2.10
E.G. Slope (m/m)	0.026724	Area (m ²)	5.16	3.94	2.10
Q Total (m ³ /s)	47.80	Flow (m ³ /s)	19.31	22.79	5.70
Top Width (m)	5.36	Top Width (m)	2.60	1.74	1.02
Vel Total (m/s)	4.27	Avg. Vel. (m/s)	3.75	5.79	2.71
Max Chl Dpth (m)	2.30	Hydr. Depth (m)	1.98	2.26	2.06
Conv. Total (m ³ /s)	292.4	Conv. (m ³ /s)	118.1	139.4	34.8
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	4.43	1.76	2.92
Min Ch El (m)	1151.71	Shear (N/m ²)	305.18	586.19	188.17
Alpha	1.23	Stream Power (N/m s)	256.62	0.00	0.00
Ficth Loss (m)	0.27	Cum Volume (1000 m ³)	9.35	11.43	5.49
C & E Loss (m)	0.08	Cum SA (1000 m ²)	4.29	4.53	2.54
Errors, Warnings and Notes					
Warning:	The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.				
Warning:	The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.				
Warning:	The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.				
Warning:	The cross section had to be extended vertically during the critical depth calculations.				
Warning:	The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m) between the current and previous cross section. This may indicate the				
Enter to move to next downstream river station location					

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1402906.980	1079237.340

Imagen 37. Puente del barrio Villa Luz



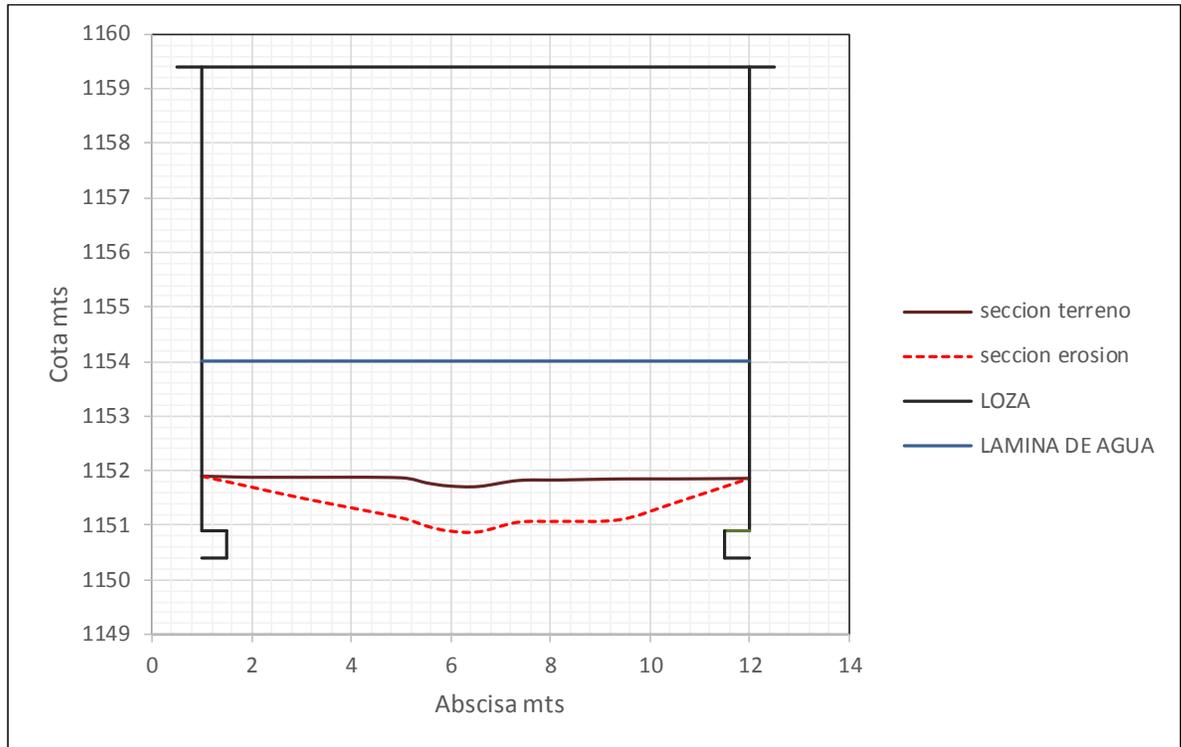
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 34. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Villa Luz.

PUENTE VILLA LUZ						
Determinacion de perfil de socavacion general- método de lischtván Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1154.01						
P₁	Abscisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	S_{g1} (m)	P_{s1} (msnm)
A	1	1151.9	2.11	2.83	0.00	1151.90
B	1.5	1151.89	2.12	2.84	0.09	1151.80
C	2	1151.88	2.13	2.86	0.18	1151.70
D	3	1151.88	2.13	2.86	0.38	1151.50
E	5	1151.871	2.14	2.87	0.73	1151.14
F	5.51	1151.777	2.23	3.02	0.79	1150.99
G	5.96	1151.721	2.29	3.11	0.82	1150.90
H	6.56	1151.711	2.30	3.13	0.83	1150.88
I	7.36	1151.821	2.19	2.95	0.76	1151.06
J	8.20	1151.83	2.18	2.94	0.76	1151.07
K	9.40	1151.85	2.16	2.91	0.75	1151.10
L	10.50	1151.85	2.16	2.91	0.44	1151.41
M	12.00	1151.86	2.15	2.89	0.00	1151.86

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 40. Socavación para el puente ubicado en el barrio Villa Luz.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 0.83 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.44 mts y 0.18 mts que no afectan la cimentación del puente a pesar de que en la zona central se presente una gran profundidad de erosión esto no afecta la cimentación del puente.

PUENTE UBICADO EN EL BARRIO LA MODELO.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 38. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio La Modelo.

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window in HEC-RAS. The window title is 'Cross Section Output'. The menu bar includes 'File', 'Type', 'Options', and 'Help'. The 'River' is set to 'Tejo', 'Profile' to 'TR=100AÑOS', 'Reach' to 'tramo de estudio', 'RS' to '22', and 'Plan' to 'RIOTEJO'. Below the input fields is a table with the following data:

Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 22 Profile: TR=100AÑOS					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	1135.91	Wt. n-Val.	0.048	0.048	0.048
Vel Head (m)	0.53	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	1135.38	Flow Area (m2)	4.78	5.49	5.68
Crit W.S. (m)	1134.87	Area (m2)	4.78	5.49	5.68
E.G. Slope (m/m)	0.011921	Flow (m3/s)	11.67	21.44	14.69
Q Total (m3/s)	47.80	Top Width (m)	2.34	2.36	2.64
Top Width (m)	7.34	Avg. Vel. (m/s)	2.44	3.90	2.58
Vel Total (m/s)	3.00	Hydr. Depth (m)	2.04	2.33	2.15
Max Chl Dpth (m)	2.46	Conv. (m3/s)	106.9	196.4	134.5
Conv. Total (m3/s)	437.8	Wetted Per. (m)	4.25	2.42	4.65
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m2)	131.35	265.26	142.86
Min Ch El (m)	1132.92	Stream Power (N/m s)	351.42	0.00	0.00
Alpha	1.15	Cum Volume (1000 m3)	5.89	7.49	3.44
Frcn Loss (m)	0.17	Cum SA (1000 m2)	2.74	3.14	1.65
C & E Loss (m)	0.04				

Below the table is a section titled 'Errors, Warnings and Notes' containing the following warnings:

- Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.
- Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.
- Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.
- Warning: The cross section had to be extended vertically during the critical depth calculations.
- Warning: The parabolic search method failed to converge on critical depth. The program will try the cross section slice/secant.

At the bottom of the window, there is a 'Select Profile' button.

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1403193.710	1079149.665

Imagen 39. Puente en el barrio la Modelo.



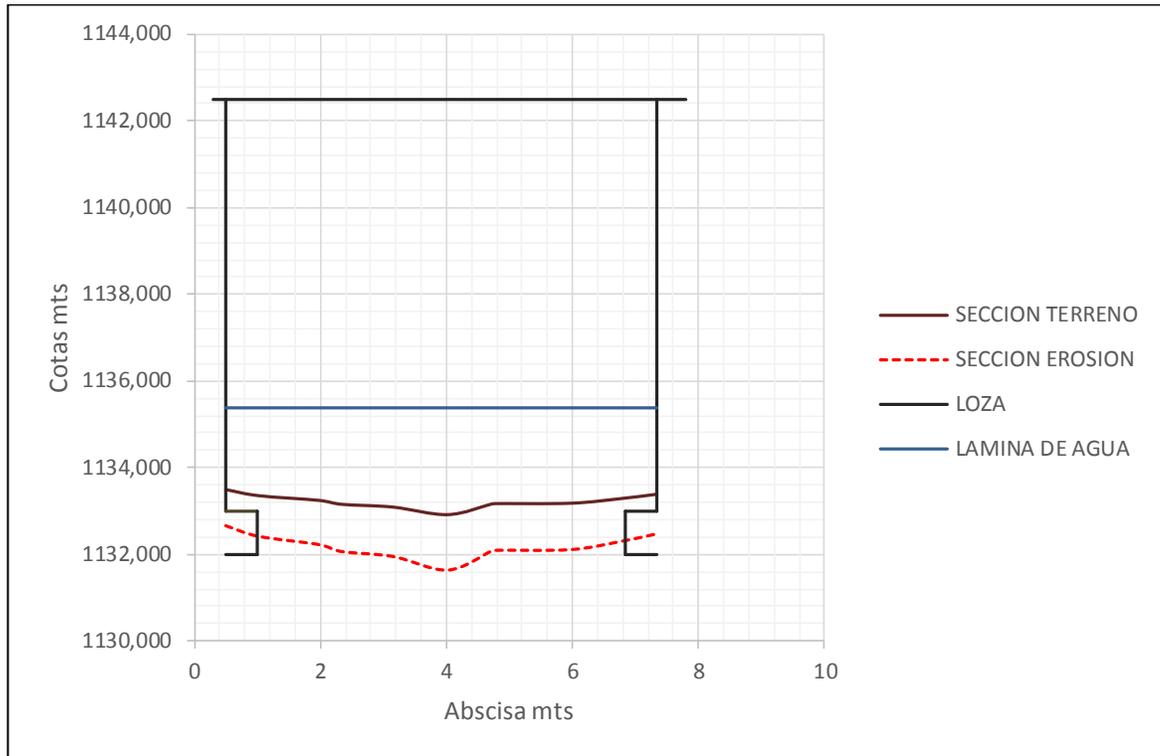
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 35. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente La Modelo

PUENTE LA MODELO						
Determinación de perfil de socavación general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1135.38						
P₁	Abscisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	Sg₁ (m)	P_{S1} (msnm)
A	0.5	1133.495	1.89	2.72	0.83	1132.66
B	1.02	1133.354	2.03	2.96	0.94	1132.42
C	1.98	1133.245	2.14	3.16	1.02	1132.22
D	2.34	1133.154	2.23	3.32	1.09	1132.06
E	3.15	1133.091	2.29	3.43	1.14	1131.95
F	4.02	1132.92	2.46	3.74	1.28	1131.64
G	4.70	1133.15	2.23	3.32	1.09	1132.06
H	4.78	1133.17	2.21	3.29	1.08	1132.09
I	5.98	1133.18	2.20	3.27	1.07	1132.11
J	6.79	1133.29	2.09	3.08	0.99	1132.30
K	7.34	1133.39	1.99	2.91	0.91	1132.47

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 41. Socavación para el puente ubicado en el barrio La Modelo.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.28 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.83 mts y 0.91 mts que afectan la cimentación del puente dejando al descubierto la cimentación.

PUENTE UBICADO EN EL BARRIO SANTA MARTA.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 40. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio Santa Marta.

Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 18 Profile: TR=100AÑOS					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	1131.75	Wt. n-Val.	0.048	0.048	0.048
Vel Head (m)	0.82	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
W.S. Elev (m)	1130.93	Flow Area (m2)	3.66	6.23	3.04
Crit W.S. (m)	1130.82	Area (m2)	3.66	6.23	3.04
E.G. Slope (m/m)	0.020596	Flow (m3/s)	10.62	28.83	8.34
Q Total (m3/s)	47.80	Top Width (m)	2.16	3.19	1.70
Top Width (m)	7.05	Avg. Vel. (m/s)	2.90	4.63	2.74
Vel Total (m/s)	3.69	Hydr. Depth (m)	1.70	1.95	1.79
Max Chl Dpth (m)	2.03	Conv. (m3/s)	74.0	200.9	58.1
Conv. Total (m3/s)	333.1	Wetted Per. (m)	3.80	3.21	3.43
Length Wtd. (m)	10.00	Shear (N/m2)	194.75	392.60	179.04
Min Ch EI (m)	1128.90	Stream Power (N/m s)	337.54	0.00	0.00
Alpha	1.18	Cum Volume (1000 m3)	5.20	6.57	3.01
Frcn Loss (m)	0.22	Cum SA (1000 m2)	2.39	2.74	1.45
C & E Loss (m)	0.01				

Errors, Warnings and Notes

Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.

Warning: The cross section had to be extended vertically during the critical depth calculations.

Warning: The parabolic search method failed to converge on critical depth. The program will try the cross section slice/secant method to find critical depth.

Enter to move to next downstream river station location

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1403284.553	1079231.937

Imagen 41. Puente peatonal barrio Santa Marta



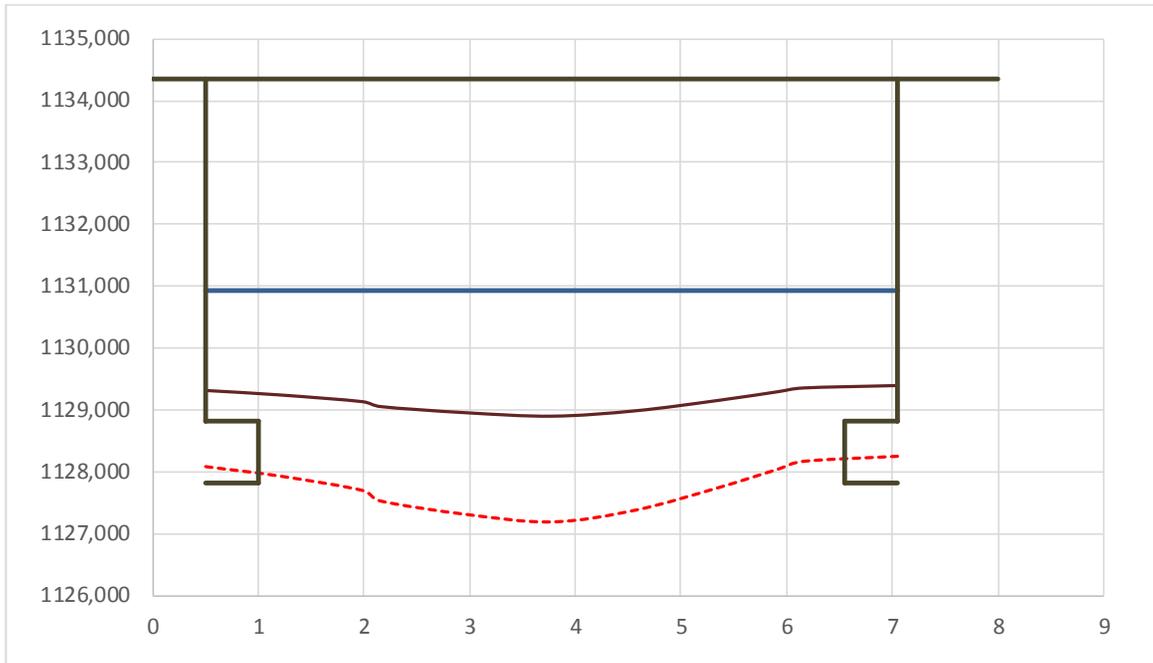
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 36. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente Santa Marta.

PUENTE SANTA MARTA						
Determinación de perfil de socavación general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1129.6						
P1	Abscisa (m)	Cota P1 (msnm)	Y01 (m)	YS1 (m)	Sg1 (m)	Ps1 (msnm)
A	0,5	1129,315	1,62	2,85	1,23	1128,08
B	1,2	1129,243	1,69	3,00	1,31	1127,93
C	1,98	1129,135	1,80	3,23	1,43	1127,70
D	2,16	1129,054	1,88	3,40	1,53	1127,53
E	2,96	1128,956	1,97	3,62	1,64	1127,31
F	3,78	1128,90	2,03	3,74	1,71	1127,19
G	4,57	1128,99	1,94	3,55	1,61	1127,38
H	5,35	1129,15	1,78	3,19	1,41	1127,74
I	5,92	1129,30	1,63	2,89	1,25	1128,04
J	6,16	1129,36	1,57	2,76	1,19	1128,17
K	7,05	1129,40	1,54	2,68	1,14	1128,25

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 42. Socavación para el puente ubicado en el barrio Santa Marta.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.64 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 1.23 mts y 1.14 mts que afectan la cimentación del puente dejándola descubierta.

PUENTE UBICADO EN EL BARRIO 20 DE JULIO.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 42. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio 20 de Julio.

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window in HEC-RAS. The window title is 'Cross Section Output'. The menu bar includes 'File', 'Type', 'Options', and 'Help'. The 'River' is set to 'Tejo', 'Profile' to 'TR=100AÑOS', 'Reach' to 'tramo de estudio', 'RS' to '9', and 'Plan' to 'RIOTEJO'. The main data table is titled 'Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 9 Profile: TR=100AÑOS'. Below the table is a section for 'Errors, Warnings and Notes' containing five warning messages.

Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 9 Profile: TR=100AÑOS					
E.G. Elev (m)	1118.18	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.64	Wt. n-Val.	0.048	0.048	0.048
W.S. Elev (m)	1117.54	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	1116.99	Flow Area (m2)	5.75	6.55	2.86
E.G. Slope (m/m)	0.011913	Area (m2)	5.75	6.55	2.86
Q Total (m3/s)	47.80	Flow (m3/s)	14.84	27.30	5.66
Top Width (m)	6.30	Top Width (m)	2.50	2.60	1.20
Vel Total (m/s)	3.15	Avg. Vel. (m/s)	2.58	4.17	1.98
Max Chl Dpth (m)	2.56	Hydr. Depth (m)	2.30	2.52	2.38
Conv. Total (m3/s)	437.9	Conv. (m3/s)	135.9	250.2	51.8
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	4.70	2.61	3.48
Min Ch El (m)	1114.98	Shear (N/m2)	142.69	292.87	95.84
Alpha	1.25	Stream Power (N/m s)	301.63	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.17	Cum Volume (1000 m3)	2.06	2.38	0.90
C & E Loss (m)	0.04	Cum SA (1000 m2)	0.82	0.89	0.37

Errors, Warnings and Notes

- Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.
- Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.
- Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.
- Warning: The cross section had to be extended vertically during the critical depth calculations.
- Warning: The parabolic search method failed to converge on critical depth. The program will try the cross section slice/secant

Enter to move to next downstream river station location

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1403593.443	1079285.628

Imagen 43. Puente del barrio 20 de Julio



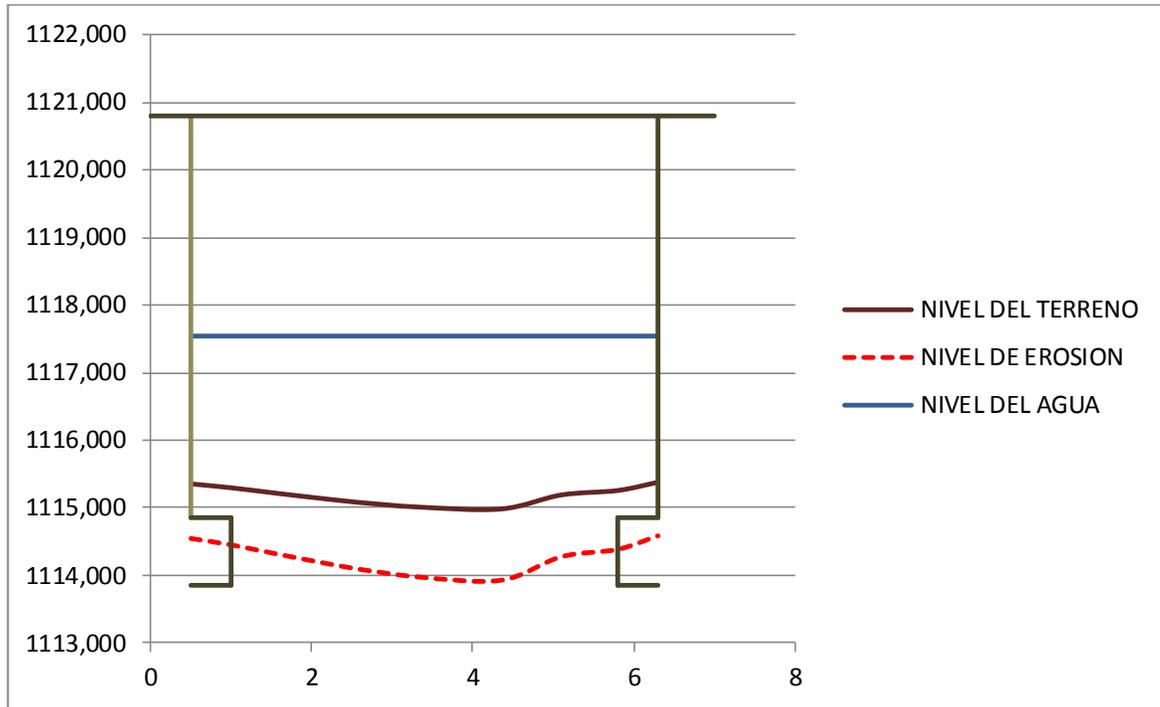
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 37. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente 20 de Julio

PUENTE 20 DE JULIO						
Determinacion de perfil de socavacion general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1115.8						
P₁	Abscisa (m)	Cota P₁ (msnm)	Y₀₁ (m)	Y_{S1} (m)	S_{g1} (m)	P_{s1} (msnm)
A	0,5	1115,354	2,19	2,99	0,81	1114,55
B	1	1115,296	2,24	3,09	0,84	1114,45
C	1,6	1115,210	2,33	3,23	0,90	1114,31
D	2,2	1115,128	2,41	3,37	0,95	1114,17
E	2,5	1115,090	2,45	3,43	0,98	1114,11
F	2,60	1115,08	2,46	3,45	0,99	1114,09
G	3,34	1115,01	2,53	3,56	1,03	1113,98
H	4,35	1114,98	2,56	3,61	1,05	1113,93
I	5,10	1115,19	2,35	3,26	0,91	1114,28
J	5,80	1115,26	2,28	3,15	0,87	1114,39
K	6,30	1115,38	2,16	2,95	0,79	1114,59

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 43. Socavación para el puente ubicado en el barrio 20 de Julio.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.03 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.79 mts y 0.81 mts que afectan la cimentación del puente dejándola descubierta.

PUENTE UBICADO EN EL BARRIO LAS LLANADAS.

Del HEC-RAS se obtiene la siguiente información.

Imagen 44. Resultados del HEC-RAS para el puente ubicado en el barrio las Llanadas.

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River:	Tejo	Profile:	TR=100AÑOS		
Reach:	tramo de estudio	RS:	6	Plan:	RIOTEJO
Plan: RIOTEJO Tejo tramo de estudio RS: 6 Profile: TR=100AÑOS					
E.G. Elev (m)	1116.82	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.21	Wt. n-Val.	0.048	0.048	0.048
W.S. Elev (m)	1115.61	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)	1115.61	Flow Area (m ²)	4.53	4.35	2.14
E.G. Slope (m/m)	0.027539	Area (m ²)	4.53	4.35	2.14
Q Total (m ³ /s)	47.80	Flow (m ³ /s)	16.55	25.47	5.77
Top Width (m)	5.15	Top Width (m)	2.20	1.95	1.00
Vel Total (m/s)	4.34	Avg. Vel. (m/s)	3.65	5.86	2.70
Max Chl Dpth (m)	2.26	Hydr. Depth (m)	2.06	2.23	2.14
Conv. Total (m ³ /s)	288.0	Conv. (m ³ /s)	99.8	153.5	34.8
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	4.14	1.95	3.07
Min Ch El (m)	1113.35	Shear (N/m ²)	295.90	601.25	188.01
Alpha	1.26	Stream Power (N/m s)	246.57	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.26	Cum Volume (1000 m ³)	0.79	1.17	0.37
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m ²)	0.40	0.51	0.19
Errors, Warnings and Notes					
Warning:	The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program used critical depth for the water surface and continued on with the calculations.				
Warning:	The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.				
Warning:	The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.				
Warning:	The cross section had to be extended vertically during the critical depth calculations.				
Warning:	The energy loss was greater than 1.0 ft (0.3 m) between the current and previous cross section. This may indicate the				
Enter to move to next downstream river station location					

Fuente Autores de la investigación.

COORDENADAS

NORTE	ESTE
1404049.859	1079340.792

Imagen 45. Puente en el barrio Las Llanadas.



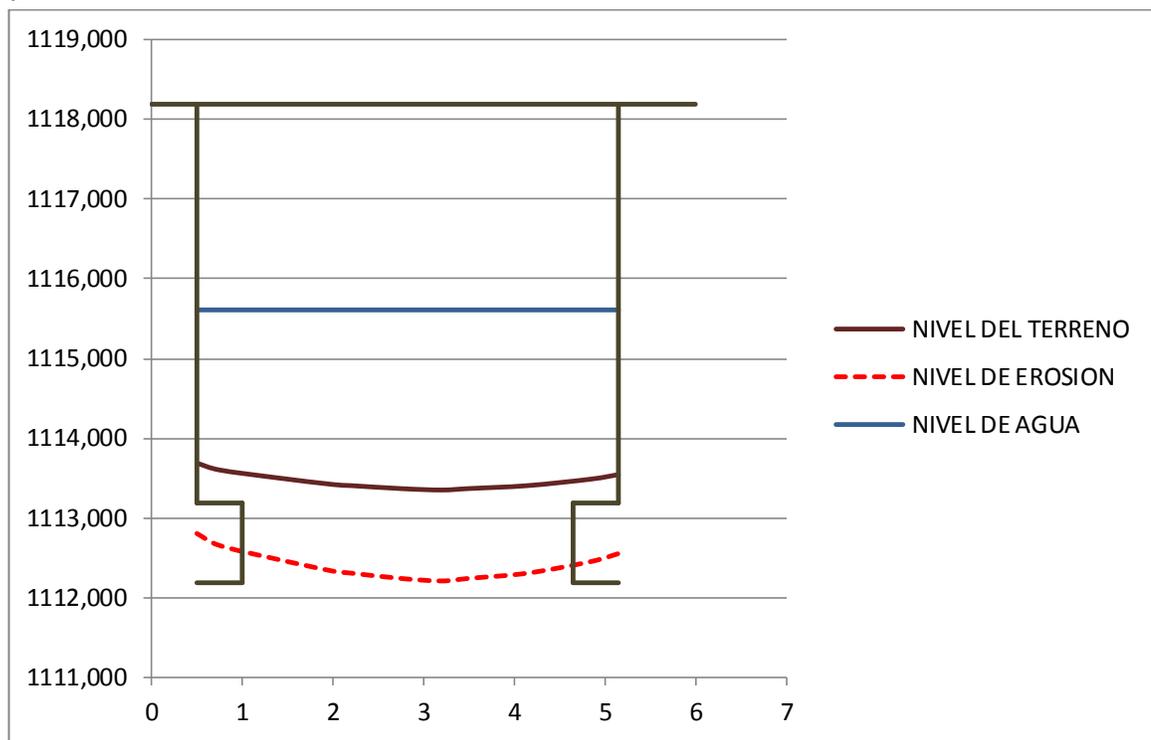
Fuente Autores de la investigación.

Cuadro 38. Profundidad de flujo luego de ocurrida la socavación en el puente las Llanadas.

PUENTE LAS LLANADAS						
Determinacion de perfil de socavacion general- método de lischvan Lebediev						
Nivel aguas máximas extraordinarias Tr -100 años = 1107.2						
P1	Abscisa (m)	Cota P1 (msnm)	Y01 (m)	YS1 (m)	Sg1 (m)	Ps1 (msnm)
A	0,5	1113,689	1,92	2,80	0,88	1112,81
B	0,75	1113,603	2,01	2,95	0,95	1112,66
C	1,35	1113,510	2,10	3,12	1,02	1112,49
D	2	1113,421	2,19	3,28	1,09	1112,33
E	2,2	1113,407	2,20	3,30	1,10	1112,31
F	2,76	1113,37	2,24	3,37	1,13	1112,24
G	3,20	1113,35	2,26	3,40	1,14	1112,21
H	3,50	1113,37	2,24	3,37	1,13	1112,24
I	4,15	1113,41	2,20	3,30	1,10	1112,31
J	4,85	1113,49	2,12	3,15	1,03	1112,46
K	5,15	1113,55	2,06	3,06	0,99	1112,55

Fuente Autores de la investigación.

Grafica 44. Socavación para el puente ubicado en el barrio las Llanadas.



Fuente Autores de la investigación.

La erosión presentada en este puente es de 1.14 mts para la parte más crítica que es la parte central de la sección en los extremos se presenta una erosión de 0.99 mts y 0.88 mts que afectan la cimentación del puente dejándola descubierta.

5. CONCLUSIONES

De la recolección y análisis de la información relacionada con las variables topográficas, estudio de suelos, hidrológica e hidráulica se encontró que para la zona de estudio del río Tejo que es desde el barrio el Tejarío hasta el barrio el Caracolí, entidades pertinentes a poseer dicha información carecían de ella o tenían muy poca información, por lo que para los datos topobatiométricos fue necesario realizar un trabajo de campo para las secciones en los puentes y a lo largo del río, para el estudio de suelos se realizaron unos ensayos de laboratorio los cuales describieron el tipo de material que se encuentra a lo largo del río y para la información hidrológica e hidráulica se toma de los datos que se tenían para el plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio, con lo cual se distingue que en temas de prevención de desastres las autoridades encargadas no tienen ningún interés.

El estudio hidrológico desarrollado para el tramo a analizar muestra las condiciones de caudal para los diferentes periodos de retorno seleccionados, llegando al dato de que para un periodo de retorno de 100 años se puede presentar un evento con un caudal de 74.9 m³/sg esto muestra un gran aumento del caudal que también es ocasionado por la características de la Microcuenca.

Haciendo referencia a los parámetros morfométricos de la cuenca, los valores resultantes indican que el río Tejo, presenta una tendencia fuerte a las crecidas y súbitas, debido a que el valor del índice de gravelius (1.554) está por encima de la unidad 1, un valor mayor que 1.5 la categoriza como de forma alargada.

Se pudo establecer que la Microcuenca del río Tejo es una Microcuenca geológicamente madura según lo refleja el cálculo de su curva Hipsométrica.

Al realizar la modelación hidráulica del tramo del canal natural estudiado con el software HEC-RAS 4.1.0 se encontró que la avenida para el periodo de retorno de 100 años algunos tramos y secciones geométricas transversales del río no tienen la capacidad hidráulica para transportar la cantidad de agua producida, lo cual ocasiona que se aumente la velocidad en esas secciones, siendo esta variable una de las principales razones para que se presente erosión.

Empleado el modelo matemático de Lischvan – Lebediev para el cálculo de la erosión en el tramo del río se encontró que para la mayoría de las secciones se presenta una erosión considerable (valores de 0.5 m a 1.0 m) que puede afectar la cimentación de los puentes y poner en riesgo la estabilidad de las estructuras.

Se encuentra que en casi todas las secciones analizadas se presenta en mayor medida socavación, la sedimentación no está presente en mayor medida en el tramo que se analizó. Basados en el balance hídrico realizado a la Microcuenca del río Tejo y su índice de escasez se delimitaron dos áreas la primera de ellas con un índice de escasez alto y otro medio, la zona geográfica que presenta un índice de escasez alto son un total de 286.84Ha y se

encuentra localizada en la parte alta de la Microcuenca y la zona con un índice medio de escasez cuenta con un total 1203.79 Ha

La Microcuenca del río Tejo presenta 4 zonas en su análisis de susceptibilidad a erosión la primera de ellas y más grande a nivel espacial cuenta con un total de 620.05 Ha y un grado de erosión severo y se ubica en las coordenadas planas 1078194.4089 ; 1403915.13379, la segunda zona tiene un área total de 562.11 Ha, que presenta un grado de erosión muy severo y se ubica en las coordenadas planas 1079218.93672; 1403926.90878 bajo la influencia geográfica de esta zona se encuentra el tramo objeto de estudio por parte de esta tesis.

El estudio de suelos realizado en 5 puntos de la ciudad de Ocaña y que se encuentran entre el Tejarito y el Caracolí mostraron en sus resultados que son suelos con un comportamiento mecánico aceptable a bueno y una capacidad de drenaje de buena a mala.

La pendiente media de la Microcuenca del río Tejo se calculó en 15.23% lo que se considera según los estándares internacionales como una pendiente suave esta constituye pues un elemento de vital importancia en el efecto del agua lluvia al caer a la superficie de la Microcuenca por la velocidad que adquiere y su efecto erosivo.

6. RECOMENDACIONES

Encomienda utilizar un programa para la catalogación y desarrollo del estudio hidrológico que arroje resultados más confiables acerca de los caudales que se podrán ocasionar para diferentes periodos de retorno.

Se recomienda realizar estudios más profundos y específicos en el cauce del río Tejo para establecer las zonas de perfil de equilibrio que se presentan en este drenaje.

Se encarga continuar con los estudios en el río Tejo que ayuden a mitigar el problema de la socavación que se presenta a su paso por el casco urbano de la ciudad de Ocaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALCALDIA DE BOGOTA. DECRETO 1541 DE 1978. [En línea]. 1978. [Recuperado el día 5 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1250>

ARISTIZABAL, Víctor. Modelos hidrológicos e hidráulicos de zonificación de la amenaza por inundación en el municipio de La Dorada Caldas. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 5 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: http://pdpmagdalenacentro.org/Informe_t%C3%A9cnico_CONTR-163-12_Zonas_de_inundaci%C3%B3n_Corpocaldas.pdf

ASTRONOMIA. La Erosión Fluvial. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 3 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: <http://www.astromia.com/tierraluna/erosionfluvial.htm>

EL TIEMPO. Editorial: Ciudades y ríos. [En línea]. 2015. [Recuperado el día 30 de Agosto de 2015] Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/opinion/editorial/ciudades-y-rios-editorial-el-tiempo-abril-18-2015/15589215>

GUITELMAN, Adolfo. EROSIÓN Y SOCAVACIÓN. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 5 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: http://www.geocities.ws/construcciones_hidraulicas/erosion.pdf

UNIVERSIDAD DE PIURA. Estudio de Suelos. [En línea]. 2013. [Recuperado el día 3 de Septiembre de 2015] Disponible en internet: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_19_147_6_72.pdf

ANEXOS

BATIMETRIA DEL RIO TEJO DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LOS BARRIOS TEJARITO HASTA EL BARRIO EL CARACOLI

Puente Tejarito

PUNTO		NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
1	A	1402358.317	1079389.971	1184.975	0.100	0.000	A-A L=8.8 mts
						0.600	
	B	1402356.986	1079389.048	1184.130	0.110		
						0.450	
	C	1402357.157	1079387.506	1183.557	0.160		
						0.650	
	D	1402357.707	1079393.734	1183.669	0.070		
					2.500		
	E	1402359.884	1079400.666	1184.944	0.000	4.200	
2	A	1402367.402	1079397.225	1184.507	0.070	0.000	E-E L=10.0 mts
						1.500	
	B	1402366.328	1079390.459	1184.079	0.050		
						1.400	
	C	1402368.904	1079399.387	1183.063	0.030		
						1.500	
	D	1402368.239	1079396.855	1182.854	0.000		
					1.800		
	E	1402367.637	1079399.290	1184.863	0.000	6.200	
3	A	1402381.523	1079403.274	1184.460	0.000		A-A L=11.80 mts
						1.500	
	B	1402383.794	1079390.273	1183.701	0.000		
						1.100	
	C	1402382.716	1079389.074	1183.546	0.000		
						1.150	
	D	1402383.674	1079395.318	1182.291	0.120		
					1.380		
	E	1402383.445	1079396.326	1183.907	0.000	5.130	

Tramo entre el puente Tejarito y el puente de la Urbanización Marina

PUNTO		NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
4	A	1402427.570	1079396.460	1183.421	0.000		E-E
						1.150	L=10

	B	1402427.862	1079396.784	1182.516	0.080		mts
						0.800	
	C	1402423.226	1079394.502	1181.937	0.130		
						0.670	
	D	1402426.362	1079393.124	1182.667	0.100		
						1.500	
	E	1402428.363	1079394.266	1182.971	0.000	4.120	
5	A	1402437.923	1079395.269	1183.116	0.000		L = 10 mts
						1.550	
	B	1402438.128	1079395.044	1182.293	0.120		
						0.870	
	C	1402438.638	1079394.855	1181.606	0.140		
						1.000	
	D	1402437.287	1079393.416	1181.856	0.140		
						1.470	
	E	1402438.669	1079397.446	1182.186	0.030	4.890	
6	A	1402448.776	1079394.370	1182.814	0.000		L = 10 mts
						1.300	
	B	1402448.004	1079398.023	1182.191	0.112		
						0.950	
	C	1402447.893	1079396.825	1181.586	0.035		
						1.000	
	D	1402448.302	1079395.071	1181.807	0.060		
						1.050	
	E	1402447.624	1079394.301	1182.065	0.000	4.300	
7	A	1402470.166	1079371.492	1182.199	0.000		L = 30 mts
						1.650	
	B	1402470.440	1079370.555	1182.176	0.000		
						1.300	
	C	1402464.582	1079374.400	1181.519	0.070		
						1.070	
	D	1402470.649	1079373.382	1181.236	0.145		
						1.350	
	E	1402473.561	1079374.974	1181.971	0.000	5.370	

Puente de la urbanización Marina

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
8	A	1402495.350	1079299.414	1182.017	0.000	
						1.750

	B	1402497.347	1079299.180	1181.860	0.020		
						1.500	
	C	1402497.509	1079299.736	1181.680	0.045		
						0.960	
	D	1402496.654	1079299.327	1181.390	0.100		
						1.440	
	E	1402495.398	1079299.012	1181.727	0.000		5.650
9	A	1402503.226	1079288.419	1181.857	0.000		
						2.000	
	B	1402500.831	1079290.331	1181.803	0.000		
						0.250	
	C	1402499.881	1079290.907	1181.345	0.350		
						1.200	
	D	1402499.245	1079290.280	1181.307	0.152		
						3.200	
	E	1402500.289	1079289.488	1181.506	0.000		6.650
10	A	1402504.949	1079278.966	1181.476	0.000		
						0.900	
	B	1402503.594	1079279.180	1181.243	0.010		
						1.000	
	C	1402502.055	1079278.620	1181.109	0.100		
						0.700	
	D	1402501.852	1079278.852	1181.130	0.100		
						1.050	
	E	1402500.686	1079279.797	1181.300	0.040		3.650

Tramo entre el puente de la Urbanización y Marina y el Puente de la Urbanización Central

	PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
11	A	1402513.167	1079252.514	1180.030	0.000		
						1.090	
	B	1402512.883	1079253.114	1179.727	0.098		
						0.920	
	C	1402513.939	1079253.881	1179.469	0.110		
						0.650	
	D	1402515.122	1079254.647	1179.743	0.100		
						0.920	
	E	1402512.278	1079252.765	1180.070	0.060		3.580
12	A	1402591.776	1079199.077	1179.377	0.070		A - A
						0.920	L = 30 mts

	B	1402591.341	1079199.611	1179.004	0.060		E - E L = 26.5 mts
						0.850	
	C	1402590.634	1079199.326	1178.759	0.092		
						0.790	
	D	1402592.124	1079198.324	1178.039	0.080		
						1.060	
E	1402593.539	1079197.625	1178.760	0.000	3.620		

Puente urbanización central

	PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
13	A	1402601.809	1079183.074	1178.390	0.000		A - A L = 10 mts E - E L = 9.5 mts
						0.900	
	B	1402599.225	1079183.448	1178.114	0.080		
						0.800	
	C	1402596.301	1079182.808	1178.069	0.120		
						0.600	
	D	1402595.831	1079182.407	1178.010	0.080		
						0.520	
	E	1402595.981	1079182.558	1178.204	0.060	2.820	
14	A	1402599.254	1079171.247	1177.823	0.000		
						1.650	
	B	1402600.643	1079174.705	1177.396	0.000		
						1.500	
	C	1402600.540	1079168.677	1176.501	0.100		
						1.100	
	D	1402600.014	1079166.966	1176.377	0.110		
						1.800	
	E	1402588.568	1079171.463	1177.406	0.060	6.050	
15	A	1402601.520	1079160.184	1176.670	0.000		
						0.750	
	B	1402597.189	1079161.206	1176.191	0.110		
						0.900	
	C	1402599.159	1079162.623	1175.969	0.000		
						0.880	
	D	1402599.592	1079163.382	1175.419	0.000		
					1.080		
	E	1402599.795	1079162.242	1176.670	0.000	3.610	

Puente del Barrio las Delicias

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
19	A	1402689.627	1079155.460	1166.033	0.000	
						0.740
	B	1402687.315	1079156.166	1165.836	0.160	
						0.550
	C	1402682.873	1079156.733	1165.534	0.110	
						0.750
	D	1402682.245	1079154.778	1165.721	0.020	
					1.000	
	E	1402678.287	1079152.446	1166.209	0.000	3.040
20	A	1402682.468	1079159.361	1165.397	0.120	
						0.750
	B	1402682.956	1079160.331	1165.311	0.120	
						0.940
	C	1402685.865	1079162.903	1164.929	0.130	
						1.050
	D	1402683.711	1079160.930	1165.156	0.070	
					0.750	
	E	1402675.290	1079166.476	1165.247	0.000	3.490
21	A	1402682.372	1079171.306	1164.840	0.260	
						0.600
	B	1402682.238	1079171.943	1164.134	0.190	
						0.500
	C	1402680.514	1079161.745	1163.983	0.200	
						0.400
	D	1402679.814	1079171.112	1164.270	0.240	
					0.500	
	E	1402684.194	1079173.827	1164.586	0.000	2.000

A - A
L = 10 mts
E - E
L = 10 mts

Tramo entre los puentes del Barrio las Delicias y el Barrio Santa Eudisia

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
22	A	1402677.116	1079205.141	1161.803	0.270	
						0.500
	B	1402685.333	1079203.730	1161.641	0.130	
						0.300
	C	1402670.928	1079203.161	1161.446	0.070	
						0.350
	D	1402673.624	1079212.961	1161.511	0.020	
					0.650	
	E	1402670.669	1079210.719	1161.681	0.000	1.800

23	A	1402796.423	1079172.215	1159.555	0.000	
						0.400
	B	1402799.148	1079174.319	1159.306	0.110	
						0.460
	C	1402798.236	1079170.691	1159.241	0.080	
						0.620
	D	1402796.603	1079170.508	1159.315	0.080	
						0.590
E	1402198.206	1079173.419	1159.693	0.170		2.070

Puente del Barrio Santa Eudisia

	PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
24	A	1402813.462	1079189.345	1156.584	0.140		
						0.730	
	B	1402811.825	1079190.239	1156.226	0.120		
						0.430	
	C	1402815.065	1079189.971	1156.187	0.130		
						0.480	
	D	1402813.862	1079188.978	1156.374	0.070		
						0.600	
	E	1402814.069	1079188.825	1156.684	0.000	2.240	
25	A	1402836.232	1079197.088	1156.296	0.030		
						0.900	
	B	1402838.180	1079195.330	1156.193	0.200		
						2.100	
	C	1402838.384	1079191.983	1156.003	0.000		
						1.660	
	D	1402838.068	1079190.870	1156.344	0.020		
						1.250	
	E	1402838.253	1079190.699	1156.334	0.000	5.910	
26	A	1402849.343	1079190.671	1156.003	0.110		
						0.600	
	B	1402848.560	1079193.535	1155.977	0.110		
						0.680	
	C	1402848.707	1079197.946	1155.874	0.020		
						1.660	
	D	1402850.344	1079192.120	1155.828	0.020		
						1.660	
	E	1402848.444	1079189.700	1155.967	0.000	4.600	

Tramo entre los puentes del Barrio Santa Eudisia y el Barrio Torcoroma.

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
27	A	1402854.947	1079190.453	1153.534	0.000	
					0.900	
	B	1402856.950	1079193.396	1153.316	0.060	
					0.520	
	C	1402855.206	1079190.078	1153.003	0.130	
					0.680	
	D	1402857.301	1079193.540	1153.219	0.030	
				0.760		
E	1402857.177	1079192.144	1153.396	0.000	2.860	

Puente del Barrio Torcoroma

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
28	A	1402904.462	1079231.640	1151.934	0.000	
					0.930	
	B	1402903.426	1079229.924	1151.893	0.040	
					0.760	
	C	1402904.054	1079230.465	1151.724	0.030	
					0.820	
	D	1402902.794	1079229.954	1151.691	0.090	
				0.900		
E	1402905.036	1079229.933	1151.898	0.000	3.410	
29	A	1402900.866	1079236.202	1151.871	0.260	
					0.510	
	B	1402901.912	1079235.391	1151.777	0.160	
					0.450	
	C	1402906.980	1079237.340	1151.721	0.160	
					0.600	
	D	1402904.266	1079234.411	1151.711	0.130	
				0.800		
E	1402903.233	1079235.500	1151.821	0.000	2.360	
30	A	1402924.181	1079245.567	1151.737	0.000	
					0.950	
	B	1402924.675	1079244.302	1151.653	0.050	
					0.800	
	C	1402922.394	1079241.107	1151.530	0.070	
				0.800		

	D	1402921.922	1079240.551	1151.229	0.170		
						1.000	
	E	1402916.886	1079241.015	1151.507	0.000	3.550	

Tramo entre los puentes de los Barrios Torcoroma y Barrio Villa luz

PUNTO		NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
31	A	1402985.446	1079249.311	1149.506	0.000		
						0.720	
	B	1402985.271	1079250.116	1149.363	0.150		
						0.510	
	C	1402985.234	1079250.650	1149.311	0.120		
						0.520	
	D	1402979.989	1079249.616	1149.467	0.110		
					0.560		
	E	1402978.974	1079249397.0	1149.586	0.030	2.310	
32	A	1402996.233	1079176.315	1147.000	0.000		
						0.810	
	B	1402996.423	1079176.545	1146.914	0.070		
						0.550	
	C	1402995.458	1079175.412	1146.816	0.110		
						0.670	
	D	1402994.095	1079178.806	1147.006	0.090		
					0.980		
	E	1402990.698	1079177.644	1147.066	0.030	3.010	
33	A	1403082.574	1079019.086	1145.054	0.000		
						1.250	
	B	1403078.139	1079008.298	1144.927	0.080		
						1.080	
	C	1403074.088	1079002.695	1144.849	0.013		
						0.810	
	D	1403077.223	1079017.607	1144.861	0.070		
					1.100		
	E	1403070.081	1078999.165	1145.959	0.000	4.240	
34	A	1403086.837	1079026.977	1143.786	0.000		
						0.500	
	B	1403097.234	1079027.536	1143.676	0.070		
						0.400	

	C	1403096.870	1079029.105	1143.576	0.150		
						0.490	
	D	1403090.797	1079027.696	1143.506	0.220		
						0.420	
	E	1403095.835	1079023.585	1143.649	0.350	1.810	
35	A	1403127.370	1079066.063	1140.317	0.000		
						0.470	
	B	140123.772	1079064.187	1140.241	0.210		
						0.400	
	C	1403121.978	1079063.843	1140.187	0.160		
						0.410	
	D	1403130.381	1079067.301	1140.213	0.090		
						0.600	
	E	1403127.778	1079065.447	1140.353	0.000	1.880	
36	A	1403155.754	1079056.516	1138.756	0.000		
						0.490	
	B	1403159.837	1079052.238	1138.664	0.080		
						0.570	
	C	1403159.225	1079054.041	1138.520	0.130		
						0.400	
	D	1403157.173	1079053.877	1138.637	0.170		
						0.680	
	E	1403158.628	1079057.734	1138.753	0.000	2.140	
37	A	1403190.047	1079130.238	1135.879	0.000		
						1.360	
	B	1403187.712	1079127.758	1135.763	0.000		
						1.180	
	C	1403189.567	1079119.793	1135.605	0.000		L = 10 mts
						0.600	
	D	1403187.089	1079120.272	1135.654	0.100		
						0.500	
	E	1403181.254	1079124.694	1135.701	0.000	3.640	

Puente del Barrio Villa luz

PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
38	A	1403191.688	1079132.340	1133.236	0.220	
						0.850
	B	1403191.008	1079129.511	1133.156	0.020	

					0.800	
	C	1403190.746	1079134.449	1133.047	0.040	
					1.500	
	D	1403186.077	1079138.591	1133.074	0.000	
					2.150	
	E	1403184.785	1079135.757	1133.163	0.000	5.300
39	A	1403192.916	1079148.409	1133.154	0.020	
					1.180	
	B	1403190.399	1079150.129	1133.091	0.060	
					0.800	
	C	1403193.710	1079149.665	1132.916	0.050	
					0.970	
	D	1403196.080	1079150.413	1133.171	0.120	
					0.720	
	E	1403193.249	1079146.038	1133.180	0.000	3.670
40	A	1403266.349	1079205.212	1132.987	0.000	
					1.100	
	B	1403265.294	1079203.236	1132.937	0.070	
					0.800	
	C	1403266.082	1079202.920	1132.870	0.040	
					0.800	
	D	1403265.656	1079203.854	1132.954	0.060	
					1.120	
	E	1403267.010	1079203.987	1133.163	0.230	3.820

L = 10 mts

Tramo entre los puentes de los barrios Villa Luz y la Modelo

	PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
41	A	1403272.529	1079213.708	1131.479	0.000		
						0.800	
	B	1403271.368	1079214.584	1131.437	0.070		
						0.550	
	C	1403274.050	1079213.871	1131.319	0.100		
						0.450	
	D	1403275.316	1079215.123	1131.363	0.110		
						1.020	
	E	1403277.364	1079214.635	1131.497	0.050	2.820	

Puente ubicado en el Barrio la Modelo

PUNTO		NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
42	A	1403282.346	1079224.124	1129.253	0.000		
						1.050	
	B	1403281.894	1079222.360	1129.123	0.150		
						0.570	
	C	1403281.553	1079222.532	1129.071	0.080		
						0.700	
	D	1403281.348	1079223.590	1129.181	0.070		
					0.800		
	E	1403281.044	1079222.886	1129.237	0.000	3.120	
43	A	1403284.611	1079233.051	1129.054	0.000		
						1.280	
	B	1403285.531	1079232.574	1128.956	0.100		
						0.700	
	C	1403284.553	1079231.937	1128.900	0.080		
						0.730	
	D	1403283.779	1079231.655	1128.987	0.090		
					0.850		
	E	1403284.764	1079232.450	1129.996	0.080	3.560	
44	A	1403305.819	1079283.368	1128.876	0.000		
						1.210	
	B	1403309.828	1079286.303	1128.750	0.060		
						0.730	
	C	1403305.894	1079289.881	1128.701	1192.081		
						0.600	
	D	1403311.886	1079285.646	1128.869	0.120		
					0.760		
	E	1403310.839	1079290.390	1128.900	0.000	3.300	

Tramo entre los puentes del barrio la Modelo y Santa Marta

PUNTO		NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
45	A	1403334.633	1079320.181	1126.356	0.000		
						0.600	
	B	1403336.354	1079319.903	1126.209	0.120		
						0.520	
	C	1403333.297	1079317.517	1126.156	0.200		
						0.400	
	D	1403335.835	1079318.641	1126.224	0.210		
					1.240		

	E	1403337.333	1079321.509	1126.301	0.050	2.760	
46	A	1403352.421	1079315.482	1124.000	0.000		
						0.810	
	B	1403351.490	1079318.625	1123.987	0.110		
						0.100	
	C	1403349.861	1079318.704	1123.931	0.130		
						0.720	
	D	1403347.688	1079324.582	1124.023	0.060		
						0.650	
	E	1403345.720	1079317.140	1124.123	0.000	2.280	
47	A	1403383.011	1079227.488	1123.101	0.000		
						0.900	
	B	1403381.792	1079226.991	1123.006	0.110		
						0.700	
	C	1403379.946	1079226.558	1122.923	0.190		
						0.700	
	D	1403377.834	1079226.896	1122.956	0.160		
						1.100	
	E	1403380.279	1079226.183	1123.998	0.060	3.400	
48	A	1403472.888	1079229.229	1121.567	0.000		
						0.900	
	B	1403472.601	1079230.334	1121.407	0.110		
						0.700	
	C	1403472.007	1079227.899	1121.367	0.180		
						0.600	
	D	1403471.891	1079232.448	1121.234	0.060		
						0.580	
	E	1403469.510	1079238.207	1121.498	0.000	2.780	
49	A	1403493.438	1079236.634	1119.321	0.000		
						1.300	
	B	1403491.757	1079243.198	1119.256	0.090		
						1.100	
	C	1403492.105	1079242.958	1119.145	0.060		
						0.860	
	D	1403498.299	1079239.136	1119.298	0.110		

						1.370	
	E	1403493.205	1079238.058	1119.304	0.000	4.630	
50	A	1403572.005	1079273.057	1117.101	0.000		L = 10 mts
						1.280	
	B	1403572.136	1079276.540	1116.978	0.100		
						0.670	
	C	1403568.692	1079276.622	1116.850	0.090		
						0.770	
	D	1403568.479	1079277.773	1116.790	0.100		
						1.300	
	E	1403568.787	1079280.349	1116.898	0.000	4.020	

Puente del Barrio Santa Marta

	PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
51	A	1403577.214	1079286.569	1115.289	0.000		L = 10 mts
						1.070	
	B	1403577.524	1079288.737	1115.210	0.150		
						1.000	
	C	1403579.447	1079287.986	1115.176	0.080		
						1.370	
	D	1403582.038	1079283.439	1115.090	0.050		
						1.200	
	E	1403578.576	1079287.956	1115.250	0.000	4.640	
52	A	1403590.677	1079284.448	1115.128	0.000		L = 10 mts
						1.000	
	B	1403593.433	1079282.686	1115.078	0.090		
						0.750	
	C	1403593.443	1079285.628	1115.010	0.080		
						0.600	
	D	1403593.282	1079284.006	1114.982	0.070		
						1.000	
	E	1403592.312	1079282.561	1115.090	0.000	3.350	
53	A	1403722.116	1079296.664	1114.982	0.000		
						1.200	
	B	1403723.341	1079294.097	1114.901	0.140		

						1.000	
	C	1403720.313	1079299.091	1114.826	0.180		
						0.800	
	D	1403720.436	1079300.605	1114.789	0.100		
						0.750	
	E	1403719.261	1079302.639	1114.945	0.000	3.750	

Puente del Barrio 20 de Julio

	PUNTO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
54	A	1403726.790	1079304.456	1113.560	0.000		
						1.540	
	B	1403731.891	1079308.376	1113.498	0.110		
						1.070	
	C	1403737.689	1079302.312	1113.402	0.110		
						1.140	
	D	1403724.941	1079306.934	1113.366	0.100		
						1.500	
	E	1403731.551	1079305.646	1113.475	0.280	5.250	

55	A	1403739.535	1079312.227	1113.421	0.000		
						0.900	
	B	1403741.155	1079308.263	1113.369	0.140		
						0.700	
	C	1403738.354	1079308.517	1113.352	0.100		
						0.780	
	D	1403739.151	1079308.854	1113.370	0.110		
						0.820	
	E	1403740.215	1070308.562	1113.400	0.070	3.200	

56	A	1403766.364	1079328.622	1113.329	0.000		
						1.100	
	B	1403764.546	1079328.084	1113.267	0.200		
						0.620	
	C	1403763.049	1079326.793	1113.201	0.120		
						1.000	
	D	1403765.305	1079325.048	1113.178	0.070		
						0.700	
	E	1403765.659	1079324.977	1113.310	0.000	3.420	

Puente del barrio las Llanadas

PUNTO		NORTE	ESTE	ALTITUD	PROFUNDIDAD	ANCHO	LONGITUD
58	A	1403963.916	1079297.271	1109.678	0.000		
						0.850	
	B	1403964.721	1079294.920	1109.567	0.110		
						0.700	
	C	1403965.103	1079294.173	1109.489	0.120		
						0.500	
	D	1403962.101	1079294.046	1109.600	0.100		
					1.200		
	E	1403964.148	1079292.928	1109.603	0.050	3.250	
59	A	1403993.890	1079390.128	1108.109	0.000		
						0.750	
	B	1403993.400	1079309.450	1108.067	0.120		
						0.650	
	C	1403994.868	1079309.991	1107.987	0.130		
						0.700	
	D	1403997.493	1079308.760	1107.956	0.100		
					0.730		
	E	1404000.591	1079302.388	1108.000	0.000	2.830	
60	A	1404050.565	1079341.189	1106.526	0.070		
						1.750	
	B	1404050.949	1079340.644	1106.456	0.080		
						1.000	
	C	1404049.859	1079340.792	1106.423	0.080		
						0.940	
	D	1404050.178	1079340.308	1106.478	0.100		
					1.000		
	E	1404050.124	1079340.957	1106.550	0.000	4.690	