

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



**EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE
LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2,351m
AGUAS ARRIBA Y 5,606m AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE
MOSCOSO.**

PRESENTADO POR:

**BR. VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN
BR. ANA DELMY PONCE CONTRERAS
BR. XENIA MARGARITA VENTURA DÍAZ**

DOCENTE DIRECTOR

ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

OCTUBRE DE 2012

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

VICERECTORA ACADEMICA:

Maestra Ana María Glower de Alvarado

SECRETARIA GENERAL:

Dra. Ana Leticia de Amaya

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

Lic. Cristóbal Hernán Ríos Benítez

VICE-DECANO:

Lic. Carlos Alexander Díaz

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Jorge Alberto Ortíz Hernández

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA:

Ing. Luis Clayton Martínez

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INENIERÍA Y ARQUITECTURA**



**“EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE
LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2,351m
AGUAS ARRIBA Y 5,606m AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE
MOSCO”**

Presentado por:

**COREAS GAITAN, VANESSA MARGARITA
PONCE CONTRERAS, ANA DELMY
VENTURA DÍAZ, XENIA MARGARITA**

Para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Coordinador de Proyectos de Graduación:

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

Docente Director de Trabajo de Graduación:

ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO

Ciudad Universitaria, San Miguel, Octubre de 2012.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR

ING. FRANCISCO ANTONIO AGUIRRE GALLO

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por habernos permitido culminar el presente Trabajo de Graduación y con ello la carrera de Ingeniería Civil.

Son muchas las personas e instituciones que han colaborado en la elaboración de este Trabajo de Graduación. Expresamos a todos nuestros sinceros agradecimiento y especialmente a:

Ing. Carlos Alberto Menjivar

Dr. Carlos Blanco

Ing. Carlos Alberto Ayala

Tec. Héctor Pineda Castro

Ing. Francisco Antonio Aguirre Gallo

Ing. David Arnoldo Chávez

AGRADECIMIENTO A INSTITUCIONES

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Dirección General de Protección Civil (DGPC)

Alcaldía Municipal de San Miguel

Agradecemos a todas aquellas personas que se vieron involucradas con este proceso y nos guiaron hasta el final.

DEDICO ESTE TRIUNFO:

A Dios Todo Poderoso y a la Virgen Maria: Por guiarme e iluminarme a lo largo de mi formación académica y permitirme alcanzar la meta que me propuse.

Mis Padres: Carlos y Fidelicia que han estado conmigo en todo momento por darme un estudio que me ayudará en mi futuro y por creer en mí. Gracias por sus incansables oraciones y por comprenderme tanto. Los amo.

Mis Hermanos: Carlos, Glenda y Yessenia por su apoyo incondicional, porque en los momentos en que mas las necesitaba siempre estaban ahí. Gracias por aguantarme. Las amo mucho.

A Mis Amigas(o): Silvia, Marjory, Gloria y Hermes que con su amistad y cariño me han apoyado en todo momento, gracias por compartir este éxito conmigo.

A Mi Novio Victor: Por estar conmigo soportándome en mis momentos de stress y amargura, dándome apoyo, amor y comprensión. Gracias por ser parte de mi vida; eres lo mejor que me ha pasado.

A Mis Amigas y Compañeras de Tesis: Gracias por ser un grupo que lucho en todo momento por salir adelante y nunca darnos por vencidas, lo que contribuyo a alcanzar con éxito nuestro objetivo.

Y a todos aquellos que de alguna u otra manera siempre me han motivado a lograr mis objetivos.

Gracias. ¡Que Dios nos bendiga a todos!

Vanessa Coreas.

DEDICO ESTE TRIUNFO A:

Dios Todo Poderoso: Por haberme permitido llegar a este punto, por darme sabiduría y fortaleza para seguir adelante y lograr mis metas, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A Mis Padres: Efraín Ponce y Gloria de Ponce, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por creer en mi y por haberme apoyado en todo momento. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A Mis Hermanas: Yami, Martha y Xenia, porque siempre estuvieron apoyándome y por motivarme a seguir luchando en los momentos más difíciles de mi carrera, porque han sido un ejemplo para seguir adelante y lograr este triunfo.

A Mis Amig@s: Por haberme motivado siempre en los momentos difíciles, por haberme ayudado a estudiar y por compartir buenos y malos momentos durante el transcurso de todos mis estudios.

A Mi Novio: José Méndez, por haberme apoyado y motivado en los momentos difíciles y porque siempre ha estado para darme fuerzas para seguir adelante durante este proceso. TA.

A Mis Amigas y Compañeras de Tesis: Vanessa y Xenia, porque nos apoyamos mutuamente en el transcurso de nuestra formación profesional desde el inicio de nuestros estudios superiores y por haber logrado nuestro objetivo entre risas, bromas y enojos pero con mucha perseverancia.

Ana Ponce

AGRADEZCO ESTE TRIUNFO

Dios Todo Poderoso Por guiar cada uno de mis pasos dándome fortaleza y dedicación a lo largo de toda mi formación académica, por permitirme levantar luego de cada tropiezo y poder seguir adelante hasta alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres Moisés Ventura e Hilda de Ventura por estar siempre a mi lado, por ser mi ejemplo, guiándome con todo su amor y comprensión en los momentos más difíciles, por sus consejos, su cariño y por no dejarme de apoyar.

A mi hermana Karina Ventura Díaz, por ese amor y energía que la caracteriza, estando juntas en los momentos complicados.

A esa persona especial que esta a mi lado Arístides Martínez por estar conmigo poniendo una siempre sonrisa en mi rostro en los momentos más difíciles de este proceso dándome su amor, cariño y apoyo, <3.

A mis abuelos, tíos y primos por ser apoyarme, ayudarme y aconsejarme.

Mis compañeras de tesis y amigas Ana Ponce y Vanessa Coreas por hacer de cada de día una nueva aventura, por estar siempre juntas desde el inicio de este viaje largo llegando a terminar nuestra formación académica.

A todos esos amigos que se convirtieron en personas importantes haciéndose presentes a lo largo de mi recorrido, siendo un apoyo incondicional.

DIOS LOS BENDIGA

Xenia Ventura

ÍNDICE

CAPÍTULO I: ANTEPROYECTO

1.1 Introducción	22
1.2 Planteamiento del Problema	25
1.2.1 Situación Problemática	25
1.2.2 Enunciado del Problema	27
1.3 Justificación	29
1.4 Objetivos	31
1.4.1 General	31
1.4.2 Específicos	31
1.5 Delimitaciones	32
1.5.1 Alcances	32
1.5.2 Limitaciones	33
1.6 Metodología de la Investigación	34

CAPÍTULO II: GENERALIDADES

2.1 Descripción del Área de Estudio	39
2.1.1 Descripción Geográfica	39
2.1.2 Hidrometeorología del Área de Estudio	40
2.1.3 Temperatura	42
2.1.4 Precipitación	43
2.1.5 Humedad Relativa	45

2.1.6 Topografía	46
2.2 Marco Geológico	49
2.3 Marco Geomorfológico	52
2.4 Suelos	53
2.4.1 Hidrología Superficial	56
2.5 Marco Normativo	59
2.5.1 Ley de Protección Civil	59
2.5.2 Ley de Medio Ambiente	60
2.5.3 Unidades Ambientales	61
2.5.4 Prevención de Desastre Ambiental	61
2.5.5 Obligación de Elaborar Planes de Prevención y Contingencia Ambiental	61
2.6 Marco Histórico	65
2.6.1 Antecedentes de Inundaciones	65
2.6.2 Inundaciones en la Ciudad de San Miguel	69
 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	
3.1 El ciclo del agua	72
3.1.1 Los Océanos	76
3.1.2 Evaporación	78
3.1.3 Almacenamiento de Agua en la Atmósfera	80
3.1.4 Condensación	81
3.1.5 Precipitación	82
3.1.6 Capas de Hielo	84

3.1.7	Escorrentía Superficial	86
3.1.8	Corrientes de Agua	87
3.1.9	Almacenamiento de Agua Dulce	89
3.1.10	Infiltración	90
3.1.11	Descarga de Agua Subterránea	92
3.1.12	Manantial	95
3.1.13	Transpiración	96
3.1.14	Agua Subterránea Almacenada	98
3.1.15	Distribución Global del Agua	99
3.2	Inundaciones	102
3.2.1	Definición de Inundaciones	102
3.2.2	Origen de las Inundaciones	102
3.2.3	Conceptos de Gestión de Riesgos	104
3.2.4	Presiones Antropogénicas	106
3.2.5	Tipos de Inundaciones	108
3.2.6	Tipos de Inundaciones en El Salvador	111
3.2.7	Tipos de Inundaciones Urbanas	111
3.2.8	Causas de las Inundaciones	112
3.2.9	Efectos de las Inundaciones	114
3.2.10	Problemática de Inundaciones	115
3.3	Esquemas de Gestión para la Construcción de Obras de Protección	119
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO		
4.1	Análisis Hidráulico	125
4.1.1	Definición y Objetivos de la Hidrología	125

4.2 Parámetros Físicos de la Cuenca	126
4.2.1 Descripción de la Cuenca	126
4.2.2 Delimitación de la Cuenca	126
4.2.3 Determinación del Drenaje de la Cuenca	127
4.2.4 Área de la Cuenca	127
4.2.5 Longitud Perimetral de la Cuenca	129
4.2.6 Densidad de Drenaje o Longitud de Corriente	129
4.2.7 Longitud del Cauce Principal	130
4.2.8 Desnivel de la Cuenca	130
4.2.9 Pendiente Media de la Cuenca	131
4.3 Características de la Forma de la Cuenca	132
4.3.1 Factor de Forma	132
4.3.2 Índice de Gravellos o Coeficiente de Compacidad	135
4.4 Cálculo de Crecidas Máximas de Diseño	136
4.4.1 Tiempo de Concentración	136
4.4.3 Pérdidas por Retención	137
4.4.4 Transformación de la Lluvia de Diseño a Crecidas de Diseño	137
4.5 Aplicación del Modelo HEC-HMS	140
4.5.1 Mapa de la Cuenca	140
4.5.2 Fases del Cálculo que se Realiza en HEC-HMS	141
4.5.2.1 Loss Method	142
4.5.2.2 Transform Method	149
4.5.3 Hidrograma Unitario Triangular	168
4.6 Aplicación del Modelo HEC-RAS	171
4.6.1 Secciones del Río Evaluadas con el Programa	181

4.6.2 Modelo Unidimensional	218
4.7 Propuesta de Limpieza del Río Grande de San Miguel	219
4.7.1 Volumen de Material a Extraer	219
4.7.2 Zonas Vulnerables para Obras de Protección	221
4.7.3 Puntos Georeferenciales de Inundaciones	222
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones	225
5.2 Recomendaciones	228
Mapas	230
Planos	233
Fuentes de Consulta	241
ANEXOS	
Anexo 1: Fotografías del Río	245
Anexo 2: Perfiles de Secciones Transversales del Río	259
Anexo 3: Secciones Evaluadas en HEC-RAS	293
Anexo 4: Perfil Demostrativo	327
Anexo 5: Nivel Máximo de Caudal en Puente D.L. de Moscoso	328
Anexo 6: Cárcava Cercana a Carretera El Litoral	329

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.3.1	Temperatura Anual	43
Figura 2.1.3.2	Precipitación Anual	44
Figura 2.1.3.3	Humedad Relativa	46
Figura 2.1.6.1	Relieve de la Cuenca del Río Grande de San Miguel	48
Figura 2.2.1	Geología del Municipio de San Miguel	51
Figura 2.4.1	Tipos de Suelos del Municipio de San Miguel	55
Figura 2.4.1.1	Zonificación de Cuenca del Río Grande de San Miguel	58
Figura 3.1.1	El Ciclo del Agua	73
Figura 3.1.1.1	El Océano es un Depósito de Agua	76
Figura 3.1.2.1	La Evaporación y porque Sucede	78
Figura 3.1.3.1	La Atmósfera está llena de Agua	80
Figura 3.1.4.1	Cómo se da la Condensación	81
Figura 3.1.5.1	Cómo se Forman las Gotas de Lluvia	83
Figura 3.1.6.1	Capas de Hielo en el Mundo	84
Figura 3.1.8.1	La Corriente de los Cursos de Agua	88
Figura 3.1.10.1	El Agua Subterránea Comienza como Precipitación	90
Figura 3.1.10.2	Agua Subsuperficial	91
Figura 3.1.11.1	Movimientos de Agua	92
Figura 3.1.11.2	El Agua Subterránea Fluye bajo la Superficie	93
Figura 3.1.12.1	Qué es un Manantial	95
Figura 3.1.13.1	Transpiración y las hojas en las Plantas	96
Figura 3.1.14.1	El Agua Almacenada Forma parte del Ciclo del Agua	98
Figura 3.1.15.1	Distribución del Agua	100
Figura 3.3.1	Tipos de Bordas como Obras de Mitigación	122
Figura 4.2.2.1	Cuenca del Río Grande de San Miguel	128
Figura 4.3.1.1	Subcuenca Río Grande de San Miguel	134

Figura 4.5.1.1	Subcuenca Río Grande de San Miguel	141
Figura 4.5.2.1.1	Separación de la Lluvia Neta o Lluvia Efectiva	142
Figura 4.5.2.2.1	Transformar Precipitación Neta	149
Figura 4.6.1	Vista en Planta del Tramo en Evaluación	177
Figura 4.6.2	Introducción de Coordenadas de Secciones Transversales	178
Figura 4.6.3	Sección Transversal Creada en el Programa	178
Figura 4.6.4	Condiciones de Contorno	179
Figura 4.6.5	Caudales para Evaluación	179
Figura 4.6.6	Representación de Perfiles de Secciones Evaluadas	180
Figura 4.6.1.1	Sección Transversal 7,240 antes de la limpieza	181
Figura 4.6.1.2	Errores de la Sección Transversal 7,240	182
Figura 4.6.1.3	Sección Transversal 7,240 después de la limpieza	182
Figura 4.6.1.4	Errores de la Sección Transversal 7,240	183
Figura 4.6.1.5	Sección Transversal 7,200 antes de la limpieza	183
Figura 4.6.1.6	Errores de la Sección Transversal 7,200	184
Figura 4.6.1.7	Sección Transversal 7,200 después de la limpieza	184
Figura 4.6.1.8	Errores de la Sección Transversal 7,200	185
Figura 4.6.1.9	Sección Transversal 6,480 antes de la limpieza	185
Figura 4.6.1.10	Errores de la Sección Transversal 6,480	186
Figura 4.6.1.11	Sección Transversal 6,480 después de la limpieza	186
Figura 4.6.1.12	Errores de la Sección Transversal 6,480	187
Figura 4.6.1.13	Sección Transversal 5,320 antes de la limpieza	188
Figura 4.6.1.14	Errores de la Sección Transversal 5,320	188
Figura 4.6.1.15	Sección Transversal 5,320 después de la limpieza	189
Figura 4.6.1.16	Errores de la Sección Transversal 5,320	189
Figura 4.6.1.17	Sección Transversal 5,080 antes de la limpieza	190
Figura 4.6.1.18	Errores de la Sección Transversal 5,080	190
Figura 4.6.1.19	Sección Transversal 5,080 después de la limpieza	191
Figura 4.6.1.20	Errores de la Sección Transversal 5,080	191

Figura 4.6.1.21	Sección Transversal 4,960 antes de la limpieza	192
Figura 4.6.1.22	Errores de la Sección Transversal 4,960	192
Figura 4.6.1.23	Sección Transversal 4,960 después de la limpieza	193
Figura 4.6.1.24	Errores de la Sección Transversal 4,960	193
Figura 4.6.1.25	Sección Transversal 4,680 antes de la limpieza	194
Figura 4.6.1.26	Errores de la Sección Transversal 4,680	194
Figura 4.6.1.27	Sección Transversal 4,680 después de la limpieza	195
Figura 4.6.1.28	Errores de la Sección Transversal 4,680	195
Figura 4.6.1.29	Sección Transversal 4,640 antes de la limpieza	196
Figura 4.6.1.30	Errores de la Sección Transversal 4,640	196
Figura 4.6.1.31	Sección Transversal 4,640 después de la limpieza	197
Figura 4.6.1.32	Errores de la Sección Transversal 4,640	197
Figura 4.6.1.33	Sección Transversal 4,600 antes de la limpieza	198
Figura 4.6.1.34	Errores de la Sección Transversal 4,600	198
Figura 4.6.1.35	Sección Transversal 4,600 después de la limpieza	199
Figura 4.6.1.36	Errores de la Sección Transversal 4,600	199
Figura 4.6.1.37	Sección Transversal 4,560 antes de la limpieza	200
Figura 4.6.1.38	Errores de la Sección Transversal 4,560	200
Figura 4.6.1.39	Sección Transversal 4,560 después de la limpieza	201
Figura 4.6.1.40	Errores de la Sección Transversal 4,560	201
Figura 4.6.1.41	Sección Transversal 4,320 antes de la limpieza	202
Figura 4.6.1.42	Errores de la Sección Transversal 4,320	202
Figura 4.6.1.43	Sección Transversal 4,320 después de la limpieza	203
Figura 4.6.1.44	Errores de la Sección Transversal 4,320	203
Figura 4.6.1.45	Sección Transversal 3,880 antes de la limpieza	204
Figura 4.6.1.46	Errores de la Sección Transversal 3,880	204
Figura 4.6.1.47	Sección Transversal 3,880 después de la limpieza	205
Figura 4.6.1.48	Errores de la Sección Transversal 3,880	205
Figura 4.6.1.49	Sección Transversal 3,840 antes de la limpieza	206

Figura 4.6.1.50	Errores de la Sección Transversal 3,840	206
Figura 4.6.1.51	Sección Transversal 3,840 después de la limpieza	207
Figura 4.6.1.52	Errores de la Sección Transversal 3,840	207
Figura 4.6.1.53	Sección Transversal 3,440 antes de la limpieza	208
Figura 4.6.1.54	Errores de la Sección Transversal 3,440	208
Figura 4.6.1.55	Sección Transversal 3,440 después de la limpieza	209
Figura 4.6.1.56	Errores de la Sección Transversal 3,440	209
Figura 4.6.1.57	Sección Transversal 3,080 antes de la limpieza	210
Figura 4.6.1.58	Errores de la Sección Transversal 3,080	210
Figura 4.6.1.59	Sección Transversal 3,080 después de la limpieza	211
Figura 4.6.1.60	Errores de la Sección Transversal 3,080	211
Figura 4.6.1.61	Sección Transversal 2,360 antes de la limpieza	212
Figura 4.6.1.62	Errores de la Sección Transversal 2,360	212
Figura 4.6.1.63	Sección Transversal 2,360 después de la limpieza	213
Figura 4.6.1.64	Errores de la Sección Transversal 2,360	213
Figura 4.6.1.65	Sección Transversal 1,360 antes de la limpieza	214
Figura 4.6.1.66	Errores de la Sección Transversal 1,360	214
Figura 4.6.1.67	Sección Transversal 1,360 después de la limpieza	215
Figura 4.6.1.68	Errores de la Sección Transversal 1,360	215
Figura 4.6.1.69	Sección Transversal 200 antes de la limpieza	216
Figura 4.6.1.70	Errores de la Sección Transversal 200	216
Figura 4.6.1.71	Sección Transversal 200 después de la limpieza	217
Figura 4.6.1.72	Errores de la Sección Transversal 200	217
Figura 4.6.2.1	Modelo Hidráulico Unidimensional	218

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3.1	Poblaciones Afectadas por Desbordamiento	30
Tabla 2.1.3.1	Valores de Temperatura	42
Tabla 2.1.3.2	Valores de Precipitaciones	44
Tabla 2.1.3.3	Valores de Humedad Relativa	45
Tabla 3.1.15.1	Estimación de Distribución del Agua	101
Tabla 4.4.4.1	Parámetros para HEC-HMS	138
Tabla 4.4.4.2	Eventos Meteorológicos en los últimos años	139
Tabla 4.5.2.1.1	Tipos de Suelos y sus Características	144
Tabla 4.5.2.1.2	Curva Número	146
Tabla 4.5.2.2.1	Precipitaciones Depresión Tropical 12-E	151
Tabla 4.5.2.2.2	Intensidad para cada Periodo de Retorno	152
Tabla 4.5.2.2.3	Precipitaciones para T = 5 años	153
Tabla 4.5.2.2.4	Resumen de Caudal Máximo T = 5 años	154
Tabla 4.5.2.2.5	Series de Tiempo T = 5 años	155
Tabla 4.5.2.2.6	Precipitaciones T = 10 años	156
Tabla 4.5.2.2.7	Resumen de Caudal Máximo T = 10 años	157
Tabla 4.5.2.2.8	Series de Tiempo T = 10 años	158
Tabla 4.5.2.2.9	Precipitaciones T = 25 años	159
Tabla 4.5.2.2.10	Resumen de Caudal Máximo T = 25 años	160
Tabla 4.5.2.2.11	Series de Tiempo T = 25 años	161
Tabla 4.5.2.2.12	Precipitaciones T = 50 años	162
Tabla 4.5.2.2.13	Resumen de Caudal Máximo T = 50 años	163
Tabla 4.5.2.2.14	Series de Tiempo T = 50 años	164
Tabla 4.5.2.2.15	Precipitaciones T = 100 años	165
Tabla 4.5.2.2.16	Resumen de Caudal Máximo T = 100 años	166

Tabla 4.5.2.2.17	Series de Tiempo T = 100 años	167
Tabla 4.5.2.2.18	Hidrograma Unitario Triangular	170
Tabla 4.6.1	Coeficiente de Manning	176

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.5.2.2.1	Precipitaciones T = 5 años	153
Gráfico 4.5.2.2.2	Crecida Máxima de Diseño T = 5 años	154
Gráfico 4.5.2.2.3	Precipitaciones T = 10 años	156
Gráfico 4.5.2.2.4	Crecida Máxima de Diseño T = 10 años	157
Gráfico 4.5.2.2.5	Precipitaciones T = 25 años	159
Gráfico 4.5.2.2.6	Crecida Máxima de Diseño T = 25 años	160
Gráfico 4.5.2.2.7	Precipitaciones T = 50 años	162
Gráfico 4.5.2.2.8	Crecida Máxima de Diseño T = 50 años	163
Gráfico 4.5.2.2.9	Precipitaciones T = 100 años	165
Gráfico 4.5.2.2.10	Crecida Máxima de Diseño T = 100 años	166

CAPÍTULO I

ANTEPROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En la cuenca alta del Río Grande de San Miguel se produce erosión en las laderas llevando consigo el arrastre de sedimentos, depositándolos aguas abajo, en el sector a evaluar, evitando el paso libre del agua que circula en el río.

Los problemas generados en la ciudad de San Miguel se deben al manejo inadecuado del recurso hídrico. En las estaciones lluviosas, sobre todo, la cantidad de precipitación es abundante, cuya gran mayoría drena superficialmente hacia el Río Grande de San Miguel a lo largo de las distintas arterias. Con el aumento de la población y con el incremento de las urbanizaciones en la ciudad de San Miguel, se provoca la impermeabilización del suelo.

El Salvador, es un país con un espacio geográfico de menos de 21,000 Km²; y que enfrenta graves problemas de equilibrio en el manejo de sus recursos naturales, con la necesidad de desarrollo económico y social que le permitan mantener su sostenibilidad a largo plazo, la cual depende de la base que le brindan sus recursos naturales.

En el presente documento se elaborará un análisis hidráulico mediante datos de precipitación, cálculos de caudales, relieve de la zona y cálculo de avenidas para realizar modelaciones que permitan conocer la capacidad hídrica de la zona de estudio y así determinar la necesidad de realizar obras de limpieza y extracción de sedimentos en un tramo del Río Grande de San Miguel, para recuperar las condiciones del área hidráulica

y mejorar su capacidad de conducción minimizando el impacto producido por avenidas extraordinarias.

El tramo a evaluar comprende 2.351Km aguas arriba y 5.606Km aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, a raíz de que en eventos extraordinarios de lluvias como Huracán Mitch, Huracán Ida, Tormenta Tropical Agatha, han afectado las colonias Jardines del Río, Colonia Carrillo, Jardines del Volcán, que han causado problemas con el desbordamiento del Río, cada vez que llueve se presenta este problema en sus alrededores, poniendo así en peligro la vida de las personas que habitan cerca de él.

De acuerdo a estudios realizados¹ con el transcurso del tiempo, el cauce del río ha tenido modificaciones, debido a que el suelo que conforman algunos taludes son más susceptibles a la erosión y que en cada época invernal se dan variaciones en los periodos lluviosos de cada año, aumentando el caudal del río.

Los taludes se erosionan puesto que los diferentes eventos meteorológicos producen grandes crecidas aumentando la velocidad del caudal provocando meandros² que causan el retroceso en una de sus orillas y acumulaciones de sedimentos en la otra, esta naturaleza convierte las riberas de este río en sitios vulnerables; agregándole

¹ Estudio Hidro-Ambiental de las zonas de Recarga Hídrica de la Ciudad de San Miguel, Estudio Hidrogeológico de la Subcuenca del Río Grande de San Miguel

² Curva discreta por el curso de un río cuyo ondulamiento es pronunciado. Se forman con mayor facilidad en los ríos de las llanuras aluviales con pendientes muy escasas, dado que los sedimentos suelen depositarse en la parte convexa del meandro, mientras que en la cóncava, debido a la fuerza centrífuga, predomina la erosión y retroceso de la orilla.

además a este problema de geometría un adicional que es la poca área de sección que tiene para el transporte del agua.

La investigación realizará de la siguiente manera:

- **Anteproyecto**, en este capítulo se presenta el problema de estudio, se mencionan los objetivos, alcances, limitaciones, justificación de la investigación.
- **Generalidades**, se presenta la descripción del área de estudio y lo relacionado a los antecedentes, marco normativo sobre las inundaciones.
- **Marco Teórico**, comprende las bases teóricas que están relacionadas con la investigación tales como: Hidráulica, Hidrología, Mecánica de Suelos, Geología.
- **Marco Operativo**, contiene todos los estudios que se llevarán a cabo en la zona de interés para la realización del análisis con los datos obtenidos mediante las investigaciones de campo.
- **Conclusiones y Recomendaciones**, se mencionan las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a la realización del estudio.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La problemática de inundaciones en áreas urbanas y rurales ha estado presente en El Salvador desde siempre. Históricamente se tiene registros de un Huracán que en 1934, provocó 500 mm de precipitación en 3 días, provocando inundaciones y pérdidas en todo el país. Así mismo, en 1974 el Huracán Fifi produjo en el país grandes inundaciones, Huracán Gilbert en 1988, Huracán Andrew en 1992, así como el Huracán Mitch en 1998, en el 2005 fue el Huracán Stan el que se encargó de poner en evidencia lo vulnerable que es el país ante este tipo de fenómenos, Huracán Félix en el año 2007, Huracán Ida el cual dejó varias muertes y una baja presión en noviembre de 2009 registró lluvia de 522 mm en solo cuatro horas, la Tormenta Tropical Agatha en 2010 afectó el mes de mayo y acumuló 574 mm de lluvia que provocó serias inundaciones a nivel nacional y grandes daños materiales y en el año 2011 la Depresión Tropical 12-E dejó acumulados de 1200 mm de lluvia en 5 días.

En los últimos años, las inundaciones se han incrementado en el país debido a diversos factores: la naturaleza del río ha generado erosión que poco a poco se ha depositado en el fondo del cauce, haciendo subir su nivel y cambiado la estructura original de éste, otro factor también importante es la ubicación de asentamientos humanos sin control ni ordenamiento en áreas y planicies de inundación, pérdidas de suelo e incremento de erosión por la deforestación, mal manejo de las cuencas, pobre

planeamiento urbano y cambios en la distribución temporal y espacial de las lluvias.

El Salvador por su naturaleza geomorfológica y por su ubicación seguirá enfrentando fenómenos naturales durante la temporada invernal que con sus intensas lluvias en cortos periodos ha provocado el desbordamiento del Río Grande de San Miguel y que muchas veces ocasiona inundaciones en las comunidades: Residencial la Pradera, Col. La Presita, Colonia Jardines del Río, Colonia Carrillo, Lotificación Jardines de San Miguel, Lotificación Siloe, Rancho Los Tres Potrillos, Comunidad la Gallina, Comunidad El Mora.

El desbordamiento de un río se produce debido a aumentos importantes de caudal durante el periodo de invierno donde se generan lluvias torrenciales que sobrepasan la capacidad del cauce de los ríos.

El control de Inundaciones debe considerar los Recursos Hídricos de manera urgente e imprescindible para el desarrollo y la estabilización de la zona. Se debe tener en cuenta que no solo la intensidad de las precipitaciones contribuye a la vulnerabilidad sino también otros factores como la pendiente de la Cuenca principal (Río Grande de San Miguel), La Sedimentación, el avance de las Urbanizaciones y Factores Antrópicos³.

³ Factores causados por el hombre.

1.2.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

¿Al realizar una Evaluación Hidráulica en un tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m aguas arriba y 5,606m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, se podrán proponer obras de limpieza para el mejoramiento del Área Hidráulica?

El constante desarrollo urbano al que ha sido sometida la ciudad de San Miguel en las últimas décadas; ha provocado un deterioro de la calidad de recursos hídricos. Por tanto, el daño al medio ambiente urbano está llegando a su límite al disminuir cada vez más el área vegetativa de la región, lo que contribuye a alterar factores hidrológicos importantes dentro del desarrollo del ser humano.

La ciudad de San Miguel posee áreas propensas a inundaciones por el desbordamiento del Río Grande, que todos los años durante la época invernal afecta a los pobladores que tienen sus viviendas a las orillas del río y que en su mayoría son de escasos recursos, este daño se agudiza cuando se presentan tormentas tropicales o huracanadas.

La magnitud y frecuencia de las inundaciones son función de la intensidad y distribución de las precipitaciones, como también de las características del relieve y la morfología de la microcuenca.

La contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por desechos sólidos, colocados a la orilla de ríos y quebradas, como el lixiviado que se produce en el sitio de disposición actual (lixiviado que se produce en el Ingenio Chaparrastique) es muy grave, porque al llover es acarreado por gravedad, arrastrado y llevado hasta el Río Grande de San Miguel, aumentando la carga orgánica y los nutrientes sobre el río, generando la eutroficación⁴.

⁴ Proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos

1.3 JUSTIFICACIÓN

La investigación “**Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso**” se realizará debido a que el cauce del río se ve afectado con las precipitaciones que se dan en cada período lluvioso provocando inundaciones en los lugares aledaños al río ya que éste lleva consigo inmensidad de basura que los habitantes de la ciudad arrojan en los alrededores y además por las sedimentaciones que se han acumulado, las cuales vienen de la cuenca alta, depositándose y causando el cambio del curso del río.

En los últimos años las catástrofes naturales debido a los huracanes han incrementado en el mundo y El Salvador no está exento de ellas, los desbordamientos de ríos son causantes de pérdidas agrícolas e innumerables pérdidas materiales. Acciones correctivas son urgentes, pero enfrentan un déficit sustancial de conocimiento e información, para avanzar hacia la gestión del recurso hídrico, que es fundamental para la gestión del territorio.

El crecimiento poblacional especialmente en las zonas urbanas de San Miguel hace que se vayan formando asentamientos en las riberas del Río Grande provocando así que vaya perdiendo terreno, tomando en cuenta también que todos los desechos de la población van a parar a los riachuelos que desembocan en el cauce principal produciendo sedimentaciones.

Siendo el Río Grande de San Miguel uno de los más importantes de El Salvador se tiene que preparar para la época lluviosa, buscando la manera de reducir los daños que causan las crecidas.

De acuerdo a datos recientes de la Dirección General de Protección Civil (DGPC) los censos de población afectada por inundaciones en el Río Grande en la sección a evaluar son:

<i>COMUNIDADES AFECTADAS</i>	<i>HABITANTES</i>
Comunidad La Gallina	327 Habitantes
Col. Jardines del Río	2,319 Habitantes
Cantón El Jute	105 Familias ≈ 525 Habitantes
Comunidad El Mora	38 Familias ≈ 190 Habitantes
Col. Carrillo	60 Familias ≈ 300 Habitantes

Fuente. Dirección General de Protección Civil, San Miguel, San Miguel.

Tabla 1.3.1 Poblaciones Afectadas por los Desbordamientos del Río Grande de San Miguel en el tramo evaluado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

- ❖ Elaborar un análisis hidráulico mediante modelaciones para determinar la necesidad de realizar obras de limpieza en un tramo del Río Grande de San Miguel, aguas arriba y aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, para aumentar el área hidráulica controlando las inundaciones.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- ❖ Realizar cálculos hidrológicos en base a datos hidrometeorológicos, para realizar modelaciones para diferentes periodos de retorno.
- ❖ Elaborar una modelación hidráulica para evaluar la capacidad de conducción del agua del tramo evaluado.
- ❖ Caracterizar puntos vulnerables sobre el cauce del río en el tramo en estudio.

1.5 DELIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES

- ✓ El estudio propone una alternativa para minimizar los acontecimientos de inundaciones, desbordamientos, que se manifiestan cada periodo invernal en el Río Grande de San Miguel.
- ✓ Se realizará un levantamiento topográfico para obtener secciones transversales del río en el tramo en estudio, con Estación Total.
- ✓ Se evaluarán tramos con GPS para ubicar puntos geo referenciales en los cuales hay inundaciones.
- ✓ Se elaborará el análisis hidráulico con software de computadora HEC-HMS para evaluar las posibles crecientes en el río.
- ✓ Las secciones topográficas se harán a cada 40 m.
- ✓ El estudio se realizará aguas arriba y aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso.
- ✓ Se realizará Análisis sobre el Río con software de computadora HEC-RAS, para determinar los niveles de inundación.

1.5.2 LIMITACIONES

- ✓ Se realizará una caracterización de puntos vulnerables 2.351 Km aguas arriba y 5.606 Km aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso.
- ✓ Para el Análisis Hidráulico se realizarán modelaciones utilizando Software de Computadora.
- ✓ Existen estudios realizados en el Rio Grande de San Miguel los cuales se tomaran como apoyo para la delimitación de la cuenca.
- ✓ El análisis hidráulico se realizará en un tramo de 2,351 m aguas arriba y 5,606 m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso.
- ✓ El levantamiento topográfico se realizara en época seca.

1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación será de tipo técnico científico y nivel descriptivo; en la que se elaborará una propuesta de mitigación a los problemas ocasionados por las fuertes lluvias y al ordenamiento territorial⁵.

En el caso de esta investigación se realizará una propuesta de obras de limpieza sin afectar la estabilidad de los taludes, del cauce, del medio y poblaciones aledañas.

La investigación se desarrollara de la siguiente manera:

- ❖ **Planteamiento del Problema:** Se describe el problema a estudiar mediante antecedentes históricos sobre los eventos hidrometeorológicos que han provocado inundaciones en El Rio Grande de San Miguel.

Mediante:

- a) Visitas a bibliotecas, entidades públicas como: Alcaldía Municipal y su correspondiente Unidad Ambiental, Protección Civil, las cuales se encuentran directamente involucradas en el área que comprende este estudio; El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), el Centro Nacional de Registros (CNR).
- b) Entrevistas a personas que son afectadas cuando se desborda el río

⁵ Ley de Ordenamiento Territorial

- c) Adquisición e interpretación de material gráfico (mapas, planos, fotografías).

❖ **Levantamiento de Información:**

Contiene los siguientes aspectos:

- a) Delimitación del área en estudio en el Río Grande de San Miguel
- b) Levantamiento topográfico de tramo en estudio.
- c) Tipificación de sectores vulnerables a las inundaciones urbanas y determinación de las zonas de alto riesgo en las comunidades cercanas al tramo en estudio.

❖ **Análisis e Interpretación de la Información:**

Con toda la información bibliográfica, la investigación de campo realizada y con el apoyo de métodos estadísticos y matemáticos se procede a lo siguiente:

- a) Ordenamiento de la Información.
- b) Proceso de la Investigación.
- c) Manejo de datos obtenidos en campo.
- d) Análisis de la Investigación.

❖ **Análisis de Datos**

Posterior a la recopilación de los datos del problema en estudio se tomarán los datos del levantamiento topográfico para determinar las secciones transversales que forman el tramo en estudio del Río Grande así mismo se realizará el análisis y simulación hidráulica para determinar el nivel de crecida máximo en el sitio de estudio, el perfil hidráulico será mediante el programa HEC-RAS⁶.

Igualmente el cálculo de crecidas máximas de diseño para un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años que serán mediante los datos de precipitación, caracterización de la cuenca y estos siempre con la ayuda del programa HEC- RAS.

Además para el cálculo de caudales de crecidas de diseño se utilizará el programa HEC-HMS y para perfiles topográficos de las secciones transversales del río con el programa LAND DESKTOP.

❖ **Presentación de Resultados:** en esta fase se divulgan los resultados obtenidos mediante la investigación.

❖ **Descripción del Contenido**

Se realizará la recolección y tratamiento de los datos, utilizando instrumentos topográficos como lo es la estación total para hacer el levantamiento y recolectar datos que nos servirán para la realización de los perfiles de las secciones transversales del

⁶ River Analysis System, U.S. Army Corps of Engineering

cauce del río, además de esto se utilizarán software de computadora (HEC-RAS y HEC-HMS) para realizar un análisis hidráulico de los datos que se han tomado en campo.

Los datos de precipitación que se utilizarán para el análisis hidráulico serán tomados del SNET.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1.1 Descripción Geográfica.

La Subcuenca del Río Grande de San Miguel, se ubica en la parte oriental de El Salvador. El área de drenaje es de 2,250 km², abarcando cerca del 18% de la totalidad del país, y comprende parte de los municipios de Ciudad Barrios, Sessori, Chapeltique, Lolotique, Moncagua, Nueva Guadalupe, Chinameca, Quelepa, San Miguel, Comacarán, Uluazapa, Chirilagua, El Tránsito, San Rafael Oriente, y San Jorge en el Departamento de San Miguel; Cacaopera, Gualococti, Osicala, San Simón, Delicias de Concepción, Yoloaiquin, Chilanga, Lolotiquillo, Sociedad, Jocoro, San Francisco Gotera, Sensembra, Yamabal, San Carlos, El Divisadero y Guatajiagua en el Departamento de Morazán; Jucuapa, California, Santa Elena, San Dionisio, Usulután, Santa María, Ereguayquín, Concepción Batres y Jucuarán en el Departamento de Usulután; y La Unión, Intipucá, El Carmen, San Alejo, Yayantique y Yucuaiquin en el Departamento de La Unión

El Río Grande de San Miguel nace cerca del cantón Joya Grande, a una elevación de 600 msnm, con el nombre de Agua Zarca. El drenaje en términos generales se puede considerar como de tipo dendrítico; el río drena directamente a la Bahía de Jiquilisco, en el Océano Pacífico. La subcuenca tiene una longitud del cauce más largo de 137 km, con pendiente media de 12.5%, y elevación media de 279.6 msnm.

Geográficamente la región se ubica entre las coordenadas 13°13' y 13°48' de latitud norte y, 87°57' y 88°25' de longitud oeste.

La región se puede dividir en tres zonas climáticas: zona sabana tropical caliente, zona sabana tropical calurosa y zona de clima tropical de altura. Las temperaturas máximas llegan hasta los 37°C, y las mínimas alcanzan los 17°C. Los valores de elevación sobre el nivel medio del mar varían desde los cero metros en la planicie costera, hasta los 2,129 metros en el Volcán Chaparrastique de San Miguel.

La región tiene una extensa red de comunicación entre la que se encuentra la CA-1 o carretera Panamericana que la cruza por el centro, la CA-2, carretera del Litoral al sur, la CA-7 o ruta militar que enlaza la ciudad de San Miguel con Santa Rosa de Lima y San Francisco Gotera.

Existe una cobertura vegetal moderada en la mayoría de la cuenca, y la agricultura se practica principalmente en la parte baja de la cuenca mediante la siembra de cañales en su mayoría. Se considera que la producción de sedimentos en la cuenca es bastante alta debido a la poca cobertura vegetal y al tipo de suelo existente en el área.

2.1.2 Hidrometeorología del Área de Estudio

El Río Grande pertenece a la región de los trópicos semi-húmedos con variaciones térmicas más o menos iguales y con oscilaciones diurnas mucho más

importantes que las variaciones anuales. De acuerdo a la clasificación de Koper, Sapper y Laver⁷ quienes consideran que la mejor expresión de los efectos del clima es la vegetación nativa, la que está generalmente relacionada directamente con la elevación del terreno, la región se puede dividir en tres zonas climáticas:

Zona Sabana Tropical Caliente: 29-35° C (0-800 msnm)

Zona Sabana Tropical Calurosa: 19-29° C (800-1,200 msnm)

Zona de Clima Tropical de Altura: 8-19° C (1,200-2,700 msnm)

Las temperaturas máximas de la zona de estudio ocurren durante los meses de marzo, abril y mayo, llegando hasta los 37°C. Las temperaturas mínimas ocurren en los meses de diciembre, enero y febrero, alcanzando mínimos de hasta 17°C. Los meses más lluviosos comprenden desde el mes de mayo a octubre y los meses más secos de noviembre a abril. El efecto de la canícula⁸ se nota en los meses de julio y agosto, con duración hasta de 60 días. Las mayores crecidas de los ríos están asociadas con eventos que producen condiciones locales conocidas como "temporales" en los meses de junio y septiembre.

Esta situación sinóptica de los temporales es originada por la presencia de huracanes o tormentas tropicales en la región del Mar Caribe.

⁷ Quienes desarrollaron una clasificación climática.

⁸ Consiste en una reducción notable de las lluvias, respecto al resto de los meses de la época lluviosa.

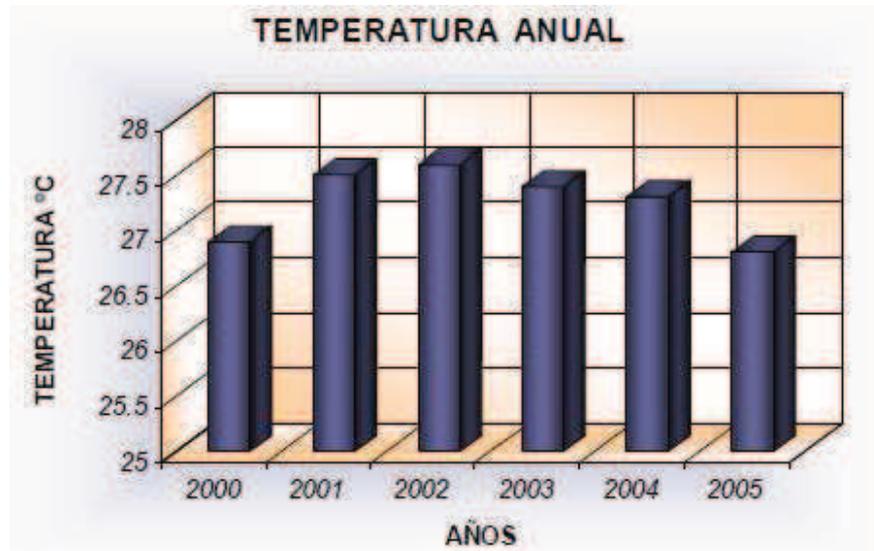
2.1.3 Temperatura.

La estación de El Papalón durante el período 2000-2005 registra para el Municipio de San Miguel una temperatura promedio anual máxima de 27.6°C para el año 2002 y una mínima de 26.8°C para el año 2005. Para dicho periodo se puede observar que el mes más caluroso es abril con una temperatura promedio de 29.7°C y el mes mas fresco es noviembre con un promedio de 26°C.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2000	25,3	26,8	28,1	29,3	28,1	26,9	26,9	26,8	26,2	26,1	26,2	26,4	26,9
2001	26,1	28	27,9	30,1	28,6	27,8	27,4	27,5	26,5	26,9	25,9	26,9	27,5
2002	27	28,9	29,2	30,2	29,2	27,5	27,2	27,3	26,6	26,7	26	25,9	27,6
2003	26,9	29,4	28,9	29,9	28,6	26,4	27,2	27,1	26,7	26,4	26,4	25,6	27,4
2004	26,1	27,5	29,8	29,2	28,4	27,4	26,7	27,7	26,6	26,5	25,9	26,3	27,3
2005	26	26,5	28,5	29,3	27,4	26,7	27,1	26,7	26,1	25	25,8	26,2	26,8

Fuente. Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET

Tabla 2.1.3.1: Valores de temperatura 2000-2005 del Municipio de San Miguel



Fuente. Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET

Figura 2.1.3.1: Temperatura Anual

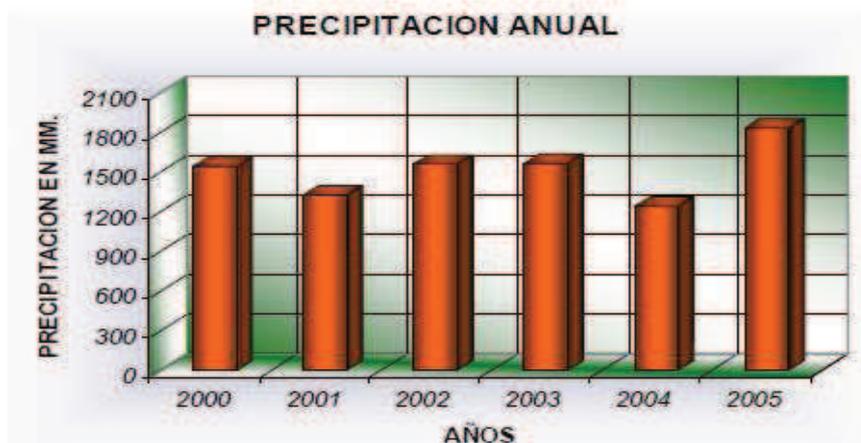
2.1.4 Precipitación.

La precipitación se manifiesta como gotas de lluvia que para los últimos cinco años los valores anuales oscilan entre los 1806.5 milímetros de lluvia para el año 2005 y de 1245 milímetros de lluvia para el año 2004, tal como se observa en la **tabla 2.1.4.1**. Durante el periodo 2000-2005, se puede observar que el mes más lluvioso fue el mes de mayo con un valor promedio de 291 milímetros de lluvia.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
2000	0	0	0	12	357	272	132	283	370	106	11	0	1543
2001	0	0	9	0	278	65	216	245	145	371	1	0	1330
2002	8	0	0	26	316	180	230	219	256	270	56	0	1561
2003	0	0	25	1	169	325	157	289	232	312	60	0	1570
2004	0	0	5	19	239	108	249	82	326	150	66	0	1244
2005	0	0	32.6	30	382.1	152	160.7	359.9	351	321.7	43.1	0.3	1833.4
Promedio	1.3	0	11.9	14.7	290.2	183.7	190.8	246.3	280	255.1	39.5	0.1	

Fuente. Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET

Tabla 2.1.4.1. Valores de precipitación 2000-2005 del Municipio de San Miguel



Fuente. Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET

Figura 2.1.4.1. Precipitación Anual

Cabe mencionar que la Ciudad de San Miguel al igual que en todo el país ha sido azotada por fenómenos naturales como huracanes, tormentas tropicales y depresiones tropicales; los más recientes son el Huracán Mitch que ocurrió en el año de 1998 y el

Huracán Stan que lo hizo en el año 2005. En la **figura 2.1.4.1** de precipitación anual se aprecia el incremento de lluvia que sucedió en el 2005; es el mayor de los últimos 6 años, debido al suceso de dicho huracán.

2.1.5 Humedad Relativa.

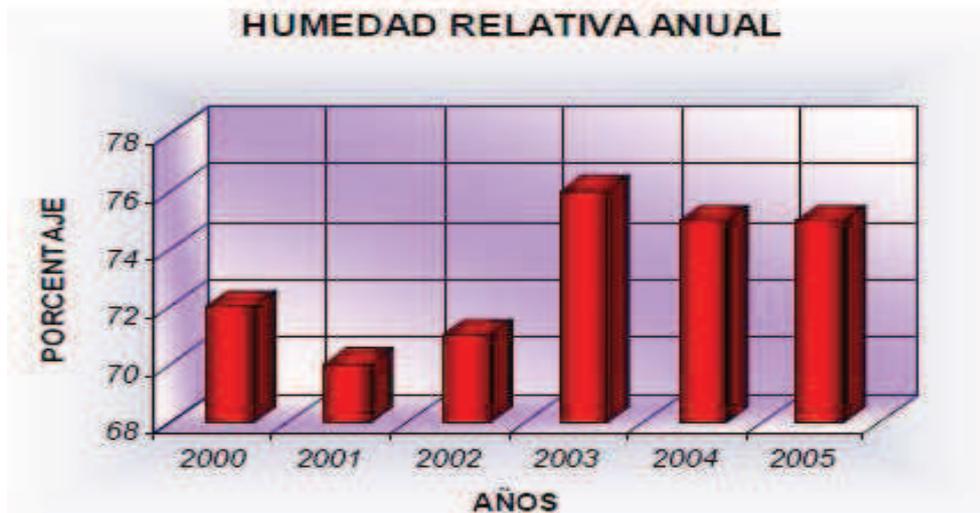
La Humedad Relativa está directamente relacionada con la precipitación e inversamente relacionada con la temperatura durante el día. Entre el año 2000–2005 se registró una humedad relativa promedio anual máxima de 76% para el año 2003 y una mínima de 70% para el 2001 de acuerdo a la **tabla 2.1.5.1**.

Para tal período, el promedio mensual máximo se da en los meses de septiembre y octubre con un 84% y un mínimo en el mes de febrero con un 60%.

Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
2000	65	60	66	64	75	80	77	79	84	79	77	63	72
2001	62	57	61	60	71	74	74	76	82	79	72	67	70
2002	63	57	56	57	66	80	79	77	83	82	76	74	71
2003	65	62	66	67	76	87	82	82	85	87	81	67	76
2004	68	67	58	65	77	81	83	79	85	86	78	67	75
2005	58	57	70	65	80	86	81	83	85	89	74	70	75
Promedio	64	60	63	63	74	81	79	79	84	84	76	68	

Fuente. Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET

Tabla 2.1.5.1. Valores de Humedad Relativa 2000- 2005 del Municipio de San Miguel



Fuente. Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET

Figura 2.1.5.1. Humedad Relativa Anual

2.1.6 Topografía

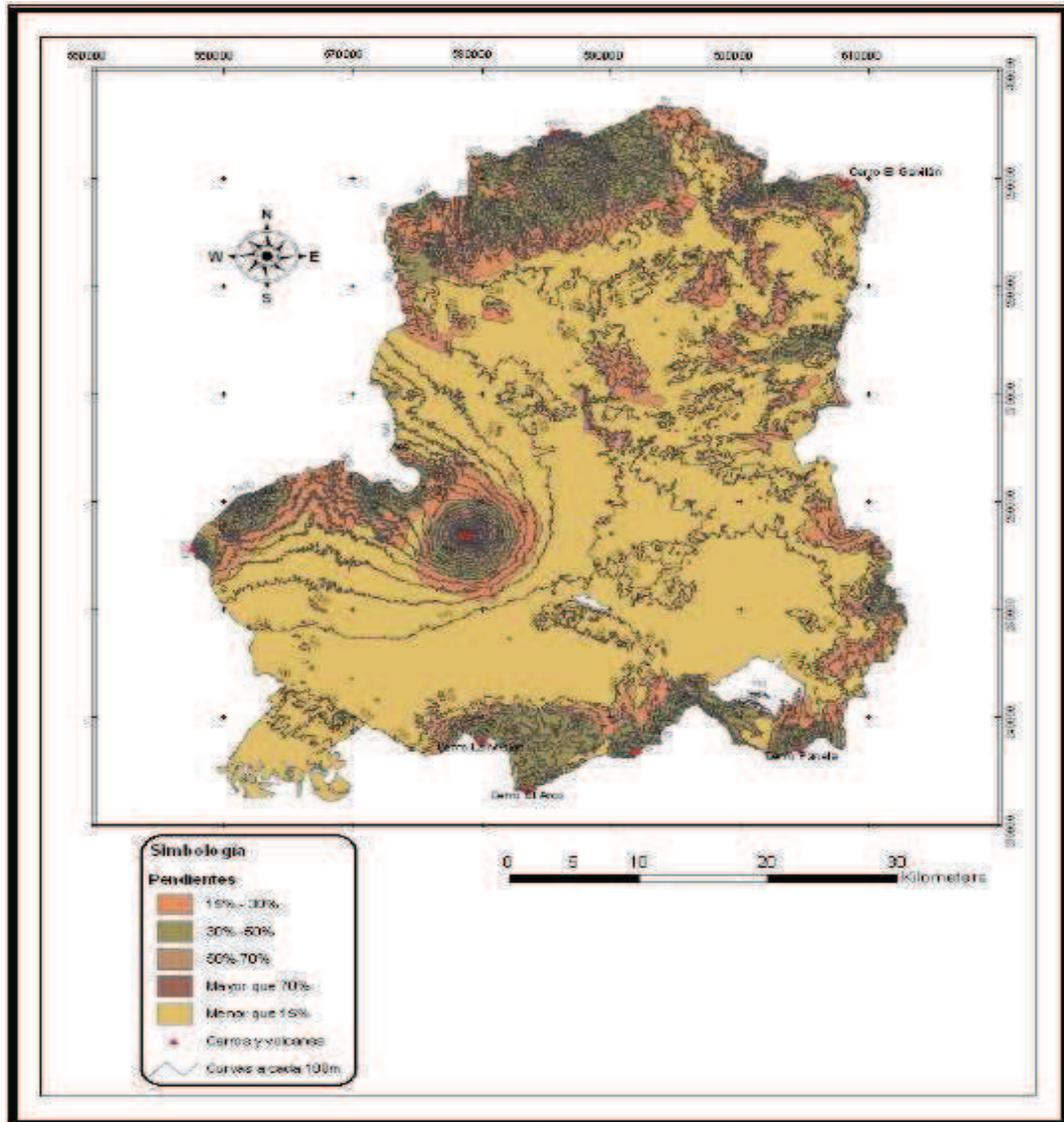
Los valores de elevación sobre el nivel medio del mar varían desde los cero metros en la planicie costera, hasta los 2129 metros en el Volcán Chaparrastique de San Miguel. La zona de estudio posee tres tipos de pendiente que dependen de la forma del relieve las cuales se especifican a continuación:

- **Pendiente Baja:** Corresponde a la de menor pendiente, la cual domina en un 70% el área de la cuenca, su pendiente es menor del 15%. Esta zona abarca todo el valle de la cuenca, desde el norte al sur y sólo se limita por los cerros el Cacahuatique, al norte, el volcán de San Miguel al poniente, y al sur por los cerros El Arco, Madrecacao,

La Misión, y las montañas del Jucuarán. Las cotas se encuentran entre la 0 - 300 msnm.

- **Pendiente Media:** Su pendiente se encuentra entre 15–30%, representa aproximadamente un 14% del área de la cuenca, y se encuentra en las faldas del volcán de San Miguel, en los cerros Cacahuatique y El Gavilán al norte, en los cerros El Arco, Madrecacao, La Misión y montañas de Jucuarán al sur. La diferencia de elevaciones es bastante variada en esta zona, oscilan entre 100–250 msnm en la parte sur, mientras en la parte norte cambia entre 400-1600 msnm. En el volcán de San Miguel cambia de los 300 a los 500 msnm.

- **Pendiente Alta:** su pendiente se encuentra entre el 30% hasta el 70%, representa aproximadamente otro 14% del área total de la cuenca, mientras el restante 2% corresponde a zonas con pendientes mayor al 70%. Estas zonas se encuentran en los límites de la cuenca y pertenecen al Volcán de San Miguel, Volcán de Usulután y cerro el Tigre al oeste, en el norte el cerro Cacahuatique, al noreste el cerro El Gavilán y Ventarrón, al sureste los cerros El Gavilán y cerro La Unión, y al sur el cerro La Misión, cerro Madrecacao y cerro El Arco. Las curvas de nivel oscilan entre 600-2100 msnm, en el Volcán de San Miguel; entre 100-700 msnm, en los límites al sur de la zona de estudio; entre 500-1500 msnm, en el cerro Cacahuatique.



Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales

Figura 2.1.6.1 Relieve de la Cuenca del Río Grande de San Miguel

2.2 MARCO GEOLÓGICO.

Desde el punto de vista geológico, el territorio salvadoreño está formado por Rocas Volcánicas, las cuales cubren más de un 90% del país; Rocas sedimentarias marinas; Rocas sedimentarias de origen volcánico, formando generalmente pequeños depósitos de diatomita y lignitos; Rocas de carácter intrusivo tales como granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas. Todas estas rocas hacen de El Salvador un país de edad geológica relativamente joven.

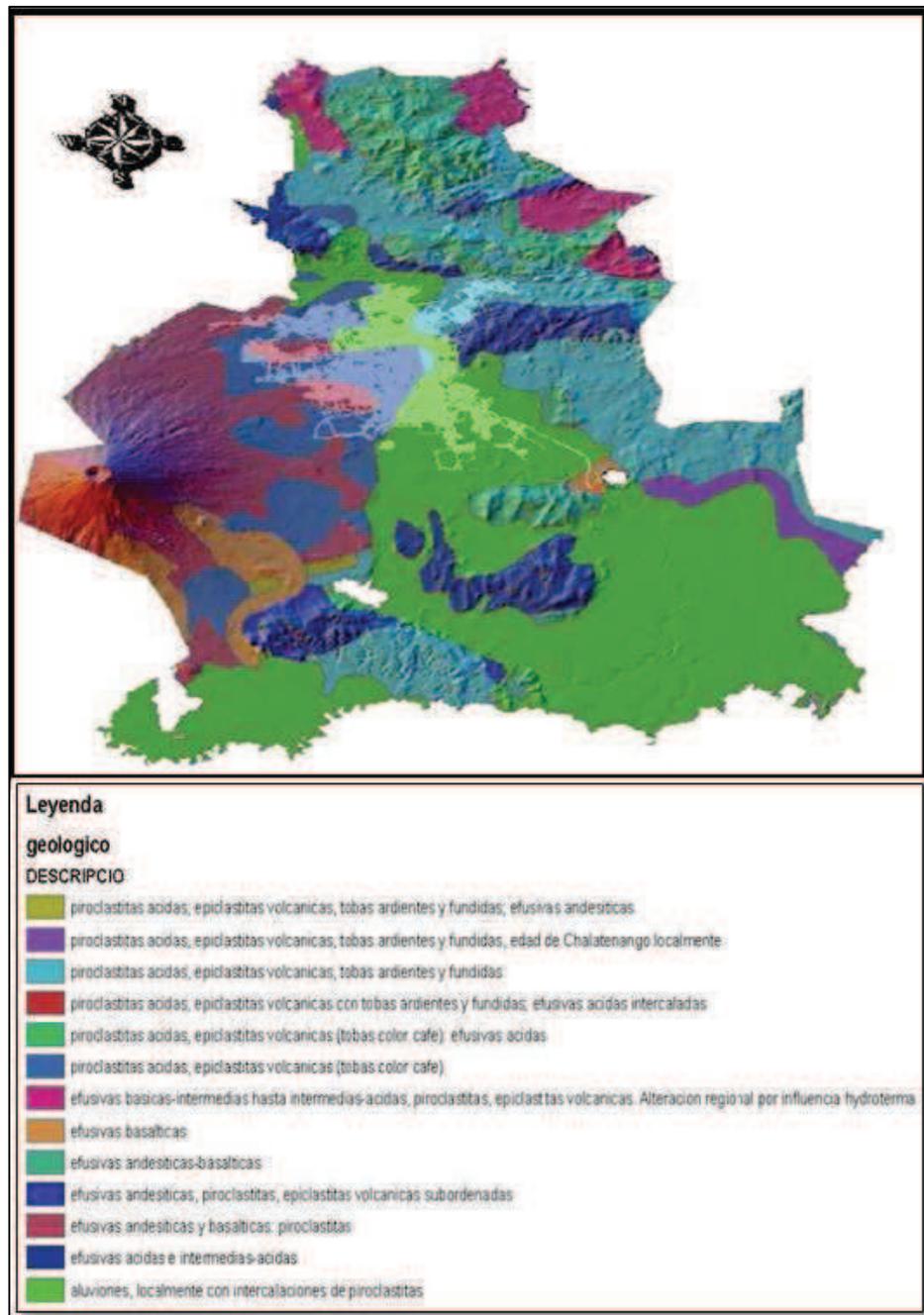
En el municipio de San Miguel se distinguen dos formaciones geológicas bien diferenciadas como se puede apreciar en el mapa de formaciones, las formaciones de: San Salvador y Cuscatlán.

La formación Cuscatlán la cual es la más antigua, de la edad pliocénica, formada por estratos de tobas de granulometría fina a gruesa, alternando con algunos flujos de lavas andesíticas y lavas basálticas las cuales afloran al norte, nororiente y oriente de la ciudad de San Miguel.

La formación San Salvador, la más reciente, cuya edad va del pleistoceno hasta el cuaternario reciente, está constituida por Piroclastos sueltos intercalados con flujos de lavas, los que se han originado como consecuencia de las erupciones del Volcán Chaparrastique. Todos estos materiales afloran al poniente, nort-poniente y sur-poniente de la Ciudad de San Miguel, desde el cono del Volcán de San Miguel.

La geología predominante en la zona de estudio como se puede notar en el mapa geológico la conforman rocas piroclásticas ácidas, epioclásticas volcánicas, tobas ardientes y fundidas, además de Aluviones con intercalaciones de piroclásticos en las riberas del Río Grande de San Miguel a lo largo de la Ciudad. Al poniente de la Ciudad, exactamente en las faldas del Volcán Chaparrastique predominan las efusivas andesíticas y basálticas, y piroclásticas.

Dentro de la descripción tectónica cabe mencionar que en el casco urbano de la Ciudad de San Miguel no se encuentra ninguna falla tectónica de importancia, ya que están en las afueras de la Ciudad, específicamente en zonas montañosas. Tales fallas son las siguientes: Al Norte se encuentran fallas con orientación NW y NE, ubicadas a la altura del cerro Obrajuelo, Cantón Agua Zarca y Mayucaquín; al Noroeste del volcán de San Miguel tenemos fallas de orientación NW y NE; al Oriente, en Las Delicias y Portillo Blanco se ubica una cantidad importante de fallas pequeñas con orientación predominante de NE-SW y WE; al Sur de la ciudad a la altura del cerro El Duende, cerro Piche, Cantora y El Delirio se encuentran fallas de orientación N-S y N-E.



Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)

Figura 2.2.1. Geología del Municipio de San Miguel

2.3 MARCO GEOMORFOLÓGICO.

El municipio de San Miguel, específicamente su zona urbana se encuentra ubicada dentro del valle fluvial o cuenca del Río Grande de San Miguel. De acuerdo con las características descritas anteriormente, se puede decir que el tipo de relieve en la zona es de tipo Volcánico.

Al suroeste de la Ciudad se encuentra el volcán de San Miguel, que está ubicado a 11Km de la misma. Este volcán está formado por las estribaciones de la Sierra Tecapa – Chinameca, sin embargo, su cono es uno de los más importantes de Centroamérica y mejor formados de El Salvador, ya que se levanta aislado de la sierra que lo forma. Su elevación es de 2130 m.s.n.m. Las zonas media y baja de la cuenca del Río Grande de San Miguel son planicies propensas a inundación. El casco urbano de San Miguel no es la excepción, anualmente grandes cantidades de agua proveniente de las zonas altas son depositadas en las parte bajas de la ciudad provocando inundación, al no encontrar una pendiente que favorezca su drenaje.

El drenaje que posee el área de estudio es de tipo dendrítico, aunque en las faldas del Volcán Chaparrastique es de tipo radial. Se puede deducir entonces que el principal agente geomórfico de la zona al igual que en todo el país es el agua; principalmente la que corre en y hacia los ríos, ya que ha contribuido en mayor intensidad a introducir cambios en el relieve terrestre de nuestro país. Este tipo de erosión llamada hídrica contrasta en sus efectos con la erosión eólica, que en El Salvador desempeña una

actividad menor limitada más que todo a aquellas zonas escasas o desprovistas de vegetación

2.4 SUELOS.

Los tipos de suelo predominante en el municipio de San Miguel de acuerdo al mapa pedológico lo representan:

→ ***Latosol Arcillo Rojizo***, (*llamado Alfisoles y Molisoles*).

Estos suelos cubren la mayor extensión dentro de la Ciudad de San Miguel; como su nombre lo indica se reconocen por su color rojo con algunas variaciones en su tonalidad y por su textura arcillosa. Cuando han estado algo protegidos de la erosión, poseen un horizonte superficial de color café rojizo oscuro, de poco espesor (20 cm), y poseen textura franco-arcillosa con estructura de bloque pequeños, descansando sobre subsuelos rojizos o café rojizos, de textura arcillosa, con estructura fuerte en bloques o prismática de tamaño grande.

→ ***Andisoles*** (*llamados Andepts*)

Ubicados al poniente de la ciudad en las faldas del volcán de San Miguel. Estos suelos se han desarrollado de materiales piroclásticos (cenizas volcánicas)

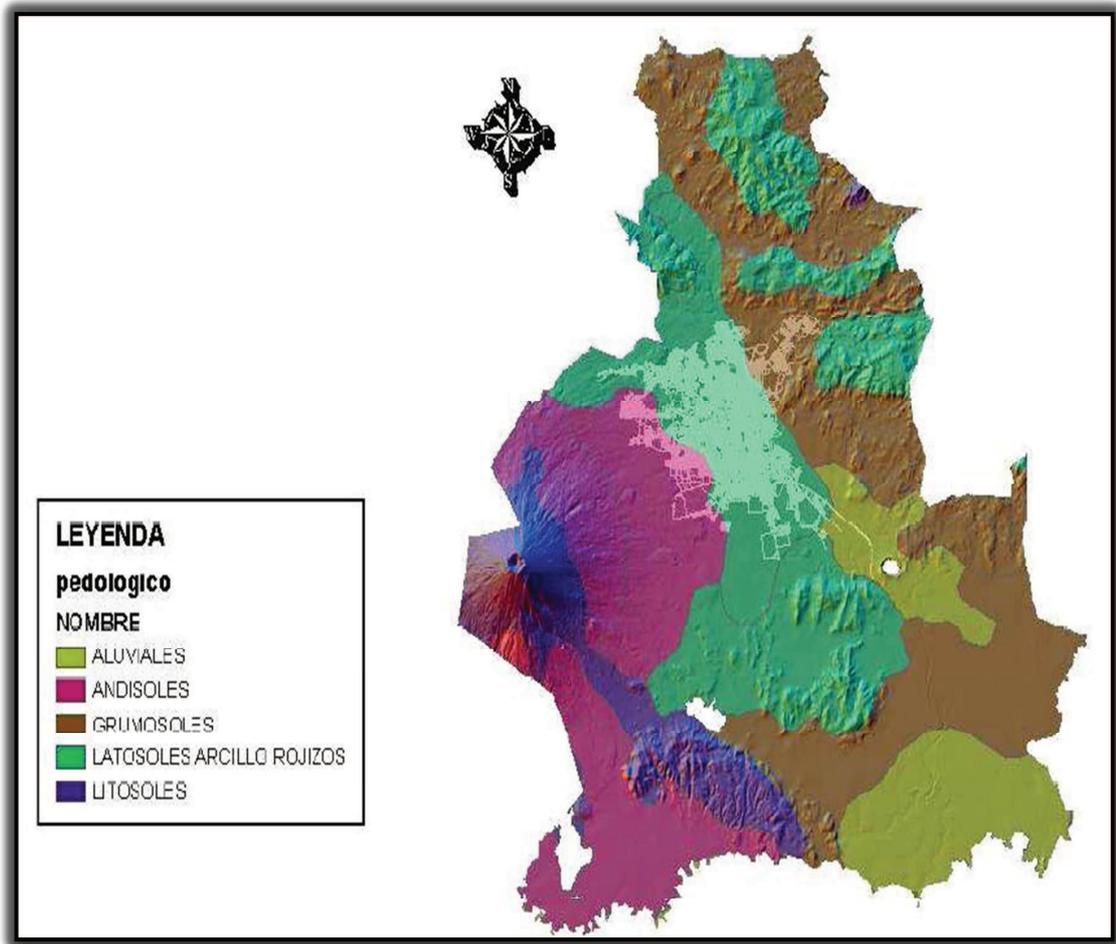
Se encuentran en la región del volcanismo reciente, principalmente en las faldas y tierras altas de los volcanes y macizos volcánicos. Además, éstos poseen un horizonte superficial con alto contenido de materia orgánica; en algunos casos pueden mostrar horizontes en el subsuelo con desarrollo incipiente, de color pardo rojizo y textura más fina. Tienen características muy particulares como alta capacidad de retención de humedad, baja densidad, sensación jabonosa o de talco al tacto.

→ **Suelos esqueléticos o Litosoles**

Que se localizan en la parte alta del volcán de San Miguel; estos en muchos casos son suelos que han estado sujetos a severa erosión. También comprende esta clase aquellas áreas en las cuales los suelos inician su formación, a partir de la desintegración o intemperización de la roca.

→ **Grumosoles**, (llamados también Vertisoles).

Son encontrados en menor cantidad al nororiente de la Ciudad. Estos son suelos arcillosos muy pesados, muy plásticos y muy pegajosos cuando están mojados y muy duros cuando están secos. Tienen gran poder de expansión cuando se humedecen y de gran contracción cuando se secan, condición que provoca la rajadura de los mismos. Son de color negro en la superficie y grises en el subsuelo. A pesar de su color oscuro son de moderado contenido de materia orgánica que se supondría alta, debido a su color, pero esto es debido a una interacción de arcilla humus o una formación orgánico mineral.



Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)

Figura 2.4.1. Tipos de Suelos del Municipio de San Miguel

2.4.1 Hidrología Superficial

El Río Grande de San Miguel nace cerca del cantón Joya Grande, a una elevación de 600msnm, con el nombre de Agua Zarca.

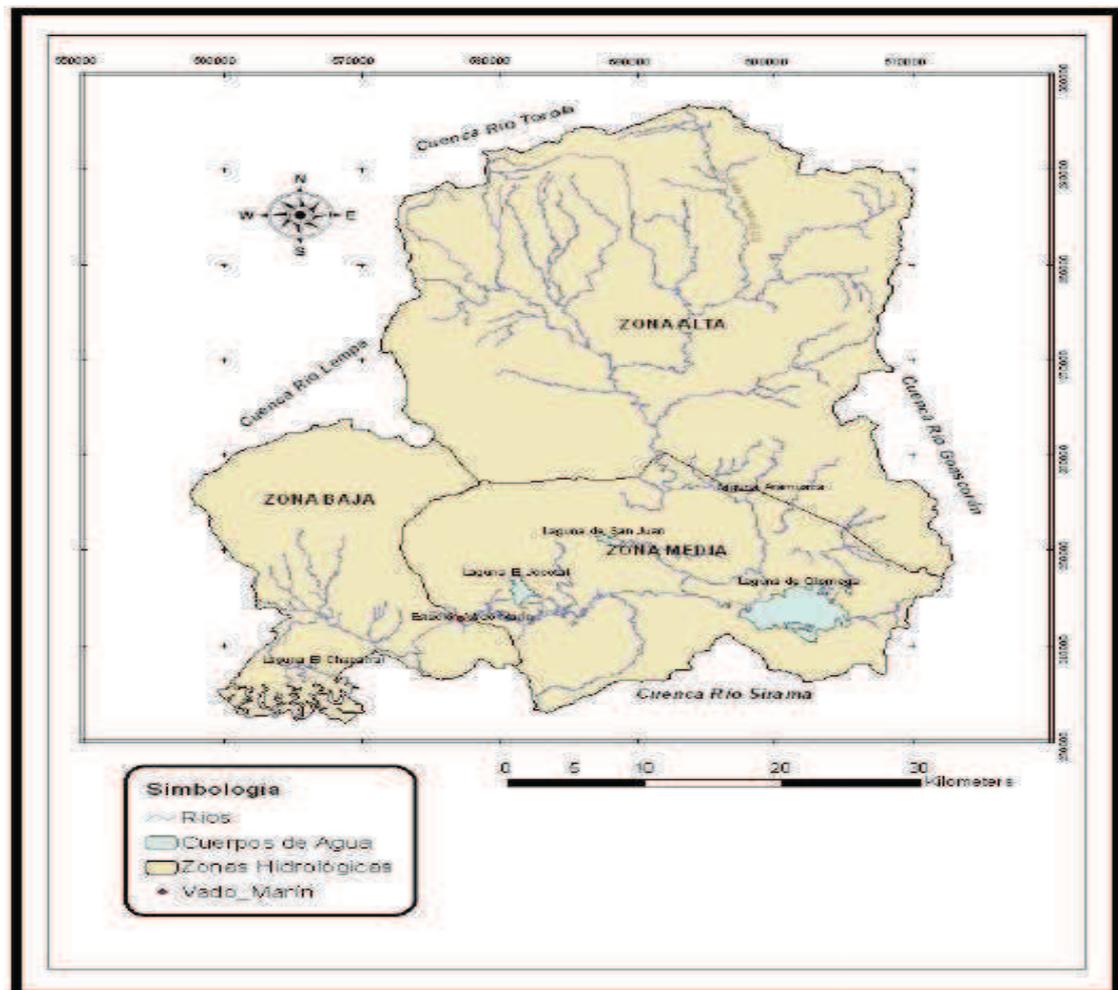
El drenaje, en términos generales, se puede considerar como de tipo dendrítico, aunque existen áreas con drenaje radial, especialmente en la zona del volcán de San Miguel y Usulután. El Río Grande de San Miguel drena directamente a la Bahía de Jiquilisco, en el Océano Pacífico (*adaptado del Documento Básico N° 3 del PLAMDARH, 1982: p.6*).

En la Subcuenca del Río Grande de San Miguel la longitud del cauce más largo es de 137 km, la pendiente media es del 12.5%, y la elevación media es de 279.6 msnm. En cuanto a su drenaje superficial se pueden establecer tres zonas (*adaptado del Documento Básico N° 3 del PLAMDARH, 1982: p.7-8*):

- **Zona alta:** está constituida por el área comprendida entre la región montañosa de Cacahuatique y la Carretera Panamericana cerca de la ciudad de San Miguel. El drenaje es de tipo dendrítico, con cauces profundos y definidos con secciones transversales en forma de V; está formada por materiales impermeables, lo que produce una alta escorrentía durante la estación lluviosa, y una disminución considerable de caudales en la estación seca. Dentro de esta zona se encuentra el cauce principal o Agua Zarca y el cauce más largo, el río Guayabal y San Francisco.

- **Zona media:** está comprendida entre la ciudad de San Miguel y la estación hidrométrica de control Vado Marín, en esta zona el drenaje es de tipo radial en la parte del volcán de San Miguel y un tanto caprichoso en algunas zonas del Río Grande en que los cauces son de corto recorrido y la mayoría de ellos se pierden en su camino hacia el cauce principal. En esta zona se tienen afloramientos de agua subterránea, específicamente en las lagunas de San Juan, El Jocotal y Aramuaca debido a la saturación de la cuenca.

- **Zona baja:** está comprendida entre la estación Vado Marín y la desembocadura del Río Grande en donde el drenaje tiende a mantenerse apegado a los materiales antiguos. Debido al acarreo de sedimentos y la poca pendiente de esta área, el río se desborda en los meses de la estación lluviosa. Los afluentes en esta zona tienen drenaje dendríticoradial, más que todo en el área que da a los volcanes de San Miguel – Usulután.



Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)

Figura 2.4.1.1 Zonificación de cuenca del río Grande de San Miguel

2.5 MARCO NORMATIVO

El Salvador es altamente vulnerable a los desastres ante los riesgos socio ambientales los cuales afloran con la ocurrencia de eventos naturales, particularmente terremotos, sequía e inundaciones.

La sensibilización sobre los desastres entre la sociedad civil ha llevado a esfuerzos de incidencia para aprobar leyes sobre desastres naturales, mejorar los esfuerzos zonales y los códigos de construcción

2.5.1 Ley de Protección Civil

El Decreto Legislativo No.777 del 31 de Agosto de 2005 publicado por el Diario Oficial N0.160, Tomo 368 del mismo mes y año que contiene la Ley de Protección Civil; es el instrumento legal utilizado para poner en marcha las operaciones del Sistema Nacional de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres. Del espíritu de esta Ley se distinguen elementos fundamentales, en cuanto a diferentes acciones que el Sistema debe llevar a cabo en las fases y etapas del ciclo de los desastres, a fin de alcanzar organización y coordinación en todos los niveles.

Derechos de las personas

Art 35. Todas las personas que habitan en el país tienen derecho a:

- a) Recibir información sobre la inminencia o eventual ocurrencia de un desastre.
(Las autoridades generales. Comisiones del sistema etc.)
- b) Pedir y recibir protección civil cuando sean afectados por desastre.
- c) Recibir atención medica en cualquier centro hospitalario público o privado del país (si ha sufrido quebranto de salud debido a un desastre)
- d) Solicitar la construcción de obras que se consideren necesarias para prevenir desastres que pueda afectar su vida, sus bienes o de su comunidad ante la dirección general.

2.5.2 Ley del Medio Ambiente:

La presente ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la constitución de la república, que se refiere a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también; normar la gestión ambiental, pública y privada y la protección ambiental como obligación básica del Estado, los municipios y los habitantes en general.

Los artículos más relevantes que relacionan el problema de la escorrentía superficial excedente con el medio ambiente son:

2.5.3 Unidades Ambientales.

Art. 7.- Las instituciones públicas que formen parte del SINAMA (Sistema Nacional de Gestión del Medio Ambiente), deberán contar con unidades ambientales, organizadas con personal propio y financiado con el presupuesto de las unidades primarias. Las Unidades Ambientales son estructuras especializadas, con funciones de supervisar, coordinar y dar seguimiento a las políticas, planes, programas, proyectos y acciones ambientales dentro de su institución y para velar por el cumplimiento de las normas ambientales por parte de la misma y asegurar la necesaria coordinación interinstitucional en la gestión ambiental, de acuerdo a las directrices emitidas por el Ministerio.

2.5.4 Prevención de Desastre Ambiental.

Art. 53.- El Estado y sus Instituciones tienen el deber de adoptar medidas para prevenir, evitar y controlar desastres ambientales.

2.5.5 Obligación de Elaborar Planes de Prevención y Contingencia Ambiental.

Art. 55. - El Ministerio, en coordinación con el Comité de Emergencia Nacional (COEN), elaborará el Plan Nacional de Prevención y Contingencia Ambiental, siendo este último el que lo ejecutará. El Plan pondrá énfasis en las áreas frágiles o de alto

riesgo, de acuerdo a un Mapa Nacional de Riesgo Ambiental que será elaborado por el Ministerio con el apoyo de las instituciones especializadas.

En el área de Centro América, se tiene el Plan Regional de Reducción de Desastres (PRRD). Es el mecanismo mediante el cual los gobiernos de la Región Centroamericana, a través de sus instituciones especializadas, plantean sus políticas, prioridades y acciones de prevención y mitigación de los desastres.

El PRRD surge como una iniciativa del Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), con el fin de establecer una estrategia centroamericana para reducir el impacto de los desastres en la sociedad y fue ratificado por la más alta instancia política de la Región - la Reunión de Presidentes – en el año 1993, mediante la resolución 26 del Protocolo de Guatemala.

El Plan consta de tres partes:

- a) Plan Básico: donde se identifican los lineamientos generales, estrategias y responsabilidades a nivel regional.
- b) Las Estrategias Sectoriales: Las Instituciones especializadas y secretarías del Sistema de Integración Centro Americana (SICA) establecen sus planes de acción.
- c) Los Planes Nacionales de Mitigación y Atención de Desastres.

En el Plan Regional de Reducción de Desastres se evalúa la situación problemática que se percibe en el área Centroamericana:

El incremento de áreas vulnerables en todo el mundo y en mayor grado, en países con bajo grado de desarrollo confirma la inherencia del factor humano y la creciente responsabilidad y necesidad de gobiernos y sociedades civiles de asumir mayores compromisos políticos, institucionales, técnicos y formativos en materia de mitigación y reducción de desastres.

Art. 1.- El Vice Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, será el encargado de formular y dirigir La Política Nacional de Vivienda y Desarrollo Urbano; así como de elaborar los Planes Nacionales y Regionales y las disposiciones de carácter general a que deben sujetarse las urbanizaciones, parcelaciones y construcciones en todo el territorio de La República

La elaboración, aprobación y ejecución de planes de Desarrollo Urbano y Rural de la localidad, corresponde al mismo Municipio, los que deberían enmarcarse dentro de los planes de Desarrollo Regional o Nacional de Vivienda y Desarrollo; en efecto de los planes de Desarrollo Local, tendrán aplicación las disposiciones de carácter general y los planes a que se refiere el inciso primero de este artículo.

Cuando los municipios no cuenten con sus propios planes de Desarrollo Local y Ordenanzas Municipales respectivas, todo particular, entidad oficial o autónoma, deberá solicitar la aprobación correspondiente al Vice Ministerio de Vivienda y Desarrollo

Urbano, antes que a cualquier otra oficina, para ejecutar todo tipo de proyecto a que se refiere este artículo.

Art. 50: Todo accidente natural dentro de una parcelación o colindante con otra deberá contar con una zona de protección con las excepciones reguladas en el Art.51 de este Reglamento.

2.6 MARCO HISTÓRICO

2.6.1 Antecedentes de Inundaciones.

Las inundaciones se presentan en todo el mundo y los estragos que provocan varían de acuerdo a la magnitud del evento y a las condiciones de vulnerabilidad de la población.

Según el SNET, entre 1900 y 2003, se registraron 3 mil 954 eventos naturales, y de estos, las inundaciones fueron las más recurrentes. Los desastres naturales son una constante en el país.

La inequidad social y el irrespeto a las regulaciones ambientales y urbanísticas hacen que El Salvador sea altamente vulnerable. La pérdida de vegetación y el crecimiento desordenado de asentamientos humanos en zonas de riesgo elevan la probabilidad de tener catástrofes. Por ejemplo, de repetirse una tormenta tropical como la de los años 30 (tormenta tropical de 1934), los deslizamientos ocasionarían numerosas pérdidas humanas.

Entre los acontecimientos más recientes que han provocado graves daños en las zonas marginales de la zona Oriental, basta mencionar las recientes Inundaciones del invierno de: el Huracán Mitch, el Huracán Adrián, el Huracán Stan, el Huracán Agatha, Depresión Tropical 12-E.

Dada la frecuencia y gravedad con que se presentan las inundaciones en el país,

se han realizado estudios que identifican las zonas que en forma recurrentes se ven afectadas, en el Río Grande de San Miguel y Usulután, estos departamentos se han identificados varias zonas críticas que se ven afectadas por inundaciones recurrentes, estas son, la llanura de Olomega, San Dionisio y Puerto Parada ubicadas estas últimas en la zona de esteros donde desemboca el río. En estas zonas también se encuentran relieves planos, un material constituido por aluviones y altas descargas hídricas que provienen principalmente del Volcán Chaparrastique en forma superficial y subterránea.

El Río Grande de San Miguel, el segundo Río más largo en la República de El Salvador, se encuentra ubicado en el oriente del país y tiene un área de captación de 2,247 km² aproximadamente (según el estudio de control de crecidas en el Río Grande de San Miguel hecho por La Agencia de Cooperación Internacional del Japón “JICA” y por el Ministerio de Agricultura y Ganadería “MAG”).

La cuenca del Río Grande posee, en su centro, a la ciudad de San Miguel, que se considera como el núcleo de la Región Oriental. Los accidentes Geográficos, han tenido influido en el crecimiento de la Ciudad de San Miguel. Ya que ésta ocupa una posición centralizada con respecto a otros núcleos poblados de la región Oriental. Además tiene una posición centrada también en términos de Cuencas Hidrográficas y Valles⁹.

Los desastres provocados por el Huracán Mitch (Octubre 1998), ha sido de los mayores sufridos en los últimos años en El Salvador. En el ámbito social, los

⁹ Cuenca del Río Grande De San Miguel y Valle de Sirama

departamentos con mayores pérdidas han sido Usulután y San Miguel (pertenecientes a la cuenca del Río Grande) y La Paz.

Las inundaciones han sido diferentes tipos: Inundaciones de respuesta rápida, generadas por lluvias intensas y de corta duración, cuyo impacto se observó en cuencas pequeñas y urbanas. En estas cuencas el tiempo de infiltración de la lluvia en el suelo se ve reducido y se incrementa la escorrentía. Este tipo de inundaciones no dan tiempo de tomar medidas de prevención inmediatas debido a la rapidez de las crecidas de los ríos. Sin embargo el SNET emitió comunicados al conocer la probabilidad de que este tipo de inundaciones sucedan.

El otro tipo de Inundaciones son las provocadas por el incremento gradual de los niveles de los ríos. En esta situación, el tiempo de incremento de los ríos es más lento y permite tomar alguna medida preventiva para reducir la probabilidad de pérdidas y daños ante posibles inundaciones. Este tipo de inundaciones son características principalmente en la cuenca del Río Lempa y el Río Grande de San Miguel.

Las inundaciones en la cuenca del Río Grande se generan principalmente por la ocurrencia de temporales ocasionados por eventos meteorológicos como Huracanes originados en el Caribe. La lluvia es sostenida por 3 a 5 días y que en El Salvador generalmente ocurren en los meses de junio, septiembre y octubre. Algunos afluentes pueden catalogarse como ríos de respuesta rápida, especialmente en las cuencas que drenan desde el complejo volcánico de San Miguel. Las inundaciones en estas cuencas

son ocasionadas por precipitaciones altamente convectivas –intensas y localizadas- de 3 a 6 horas de duración, con ocurrencia principalmente en los meses de mayo y junio.

En años recientes, el daño y pérdidas por inundaciones en la cuenca del río Grande de San Miguel se ha incrementado debido a diversos factores: incremento de urbanizaciones y cambio de uso de suelo, ubicación de asentamientos humanos sin control ni ordenamiento en áreas de inundación, pérdidas de suelo e incremento de erosión por los cambios de uso de suelo y deforestación, deficiente o inexistente manejo de la cuenca, deficiencias en el planeamiento urbano y de asentamientos, cambios en la distribución temporal y espacial de las lluvias.

2.6.2 LAS INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN MIGUEL

En la búsqueda de estudios históricos sobre inundaciones en la ciudad de San Miguel cabe mencionar que no existe una información referente al caso, solo se encuentran estudios referidos a los efectos que provocan las crecidas del Río Grande y ampliaciones del sistema de drenaje pluvial en general. A continuación se presentan algunos estudios que se han elaborado:

- ✓ El Plan Maestro de Desarrollo Urbano de la ciudad de San Miguel (PLAMADUR), realizado en el año 1,996 por el consorcio PADCO – ESCO; donde cabe resaltar los tomos referentes a: *“Diagnóstico Sectorial del Plan de Ordenamiento Territorial y el Diagnóstico Sectorial de Plan de Ordenamiento Ambiental”*.
- ✓ *“Control Integral de Crecidas en el Río Grande de San Miguel”*, fue realizado en el año de 1,997 por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).
- ✓ *“Inundaciones en Centro América y Amenazas de Inundaciones en El Salvador”*, estudio realizado por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), se proporciona un mapa de El Salvador donde se identifican las áreas que habitualmente sufren inundaciones.

- ✓ La tesis *“Identificación y Evaluación de Escorrentía Superficiales que Generan Sectores de Inundación de Alto Riesgo en la Zona Urbana de la Ciudad de San Miguel”*, esta fue realizada en el año 2004; en este estudio se identifican los sectores de la ciudad donde se producen inundaciones debido a las precipitaciones en época de invierno, además se proporciona una evaluación de los distintos sitios críticos de inundación.

CAPÍTULO III

MARCO

TEÓRICO

3.1 EL CICLO DEL AGUA

A la naturaleza le tomó miles de años conformar el lecho de ese río. A lo largo de los ríos existen zonas donde hay erosión y zonas donde hay sedimentación, dependiendo de las condiciones del terreno, los sedimentos que trasladan sus afluentes, así como las aguas lluvias. Este traslado y posterior depósito de material, que incluso puede llegar a formar islas sedimentarias, marca el cauce final de la corriente. Este proceso dio forma al curso de este río.

Pero todo este sistema se modificó con el crecimiento poblacional que, con sus acciones, ha generado erosión que poco a poco se ha depositado en el fondo, haciendo subir su nivel y cambiado la estructura original del río.

¿Qué es el ciclo del agua?



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.1 El ciclo del Agua

¿Qué es el ciclo del agua? El ciclo del agua describe la presencia y el movimiento del agua en la Tierra y sobre ella. El agua de la Tierra está siempre en movimiento y constantemente cambiando de estado, desde líquido, a vapor, a hielo, y viceversa. El ciclo del agua ha estado ocurriendo por billones de años, y la vida sobre la Tierra depende de él; la Tierra sería un sitio inhóspito si el ciclo del agua no tuviese lugar.

Un breve resumen del ciclo del agua

El ciclo del agua no se inicia en un lugar específico, pero para esta explicación asumimos que comienza en los océanos. El sol, que dirige el ciclo del agua, calienta el agua de los océanos, la cual se evapora hacia el aire como vapor de agua.

Corrientes ascendentes de aire llevan el vapor a las capas superiores de la atmósfera, donde la menor temperatura causa que el vapor de agua se condense y forme las nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes sobre el globo, las partículas de nube colisionan, crecen y caen en forma de precipitación. Parte de esta precipitación cae en forma de nieve, y se acumula en capas de hielo y en los glaciares, los cuales pueden almacenar agua congelada por millones de años.

En los climas más cálidos, la nieve acumulada se funde y derrite cuando llega la primavera. La nieve derretida corre sobre la superficie del terreno como agua de deshielo y a veces provoca inundaciones.

La mayor parte de la precipitación cae en los océanos o sobre la tierra, donde, debido a la gravedad, corre sobre la superficie como escorrentía superficial. Una parte de esta escorrentía alcanza los ríos en las depresiones del terreno; en la corriente de los ríos el agua se transporta de vuelta a los océanos.

El agua de escorrentía y el agua subterránea que brota hacia la superficie, se acumula y almacena en los lagos de agua dulce. No toda el agua de lluvia fluye hacia los

ríos, una gran parte es absorbida por el suelo como infiltración. Parte de esta agua permanece en las capas superiores del suelo, y vuelve a los cuerpos de agua y a los océanos como descarga de agua subterránea. Otra parte del agua subterránea encuentra aperturas en la superficie terrestre y emerge como manantiales de agua dulce.

El agua subterránea que se encuentra a poca profundidad, es tomada por las raíces de las plantas y transpirada a través de la superficie de las hojas, regresando a la atmósfera. Otra parte del agua infiltrada alcanza las capas más profundas de suelo y recarga los acuíferos¹⁰, los cuales almacenan grandes cantidades de agua dulce por largos períodos de tiempo.

A lo largo del tiempo, esta agua continua moviéndose, parte de ella retornará a los océanos, donde el ciclo del agua se termina...y comienza nuevamente.

¹⁰ Un acuífero es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas.

3.1.1 Los Océanos



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.1.1 El océano es un depósito del agua

La cantidad de agua que es "almacenada" en los océanos por largos períodos de tiempo, es mucho mayor a la que actualmente se encuentra en movimiento en el ciclo del agua. Se estima que, de los 1.386.000.000 kilómetros cúbicos (332.500.000 millas cúbicas) que hay de agua en la Tierra, alrededor de 1.338.000.000 kilómetros cúbicos (321.000.000 millas cúbicas) son almacenados en los océanos. Esto es, alrededor de un 96.5%. También se estima, que los océanos proveen de un 90% del agua que se evapora hacia la atmósfera.

Durante los períodos de clima más frío, se forman grandes capas de hielo y

glaciares, en la medida que una mayor cantidad de agua se acumula en forma de hielo, menor será el agua disponible en las otras componentes del ciclo. Lo contrario sucede durante los períodos más cálidos. Durante las últimas glaciaciones, los glaciares cubrieron casi un tercio de la superficie terrestre, y los océanos eran aproximadamente 400 pies (120 metros) más bajos de lo que son hoy día. Alrededor de 3 millones de años atrás, cuando la Tierra era más cálida, los océanos podrían haber estado 165 pies (50 metros) por encima del nivel medio actual.

Océanos en movimiento

Existen corrientes en los océanos que mueven grandes masas de agua alrededor de la Tierra. Estos movimientos tienen una gran influencia en el ciclo del agua y el clima. La Corriente del Golfo, es una conocida corriente cálida del Océano Atlántico, que mueve agua desde el Golfo de México a través del Océano Atlántico, hacia Gran Bretaña. A una velocidad de 97 kilómetros (60 millas) por día, la Corriente del Golfo mueve 100 veces más agua que todos los ríos sobre la Tierra. Proveniente de climas más cálidos, la Corriente del Golfo mueve agua cálida hacia el Atlántico Norte, lo cual afecta el clima de algunas áreas.

3.1.2 Evaporación: El agua cambia de estado líquido a gaseoso, o vapor



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.2.1 La evaporación y porque sucede

La evaporación es el principal proceso mediante el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso. La evaporación es el proceso por la cual el agua líquida de los océanos ingresa a la atmósfera, en forma de vapor, regresando al ciclo del agua. Diversos estudios han demostrado que los océanos, mares, lagos y ríos proveen alrededor del 90% de humedad a la atmósfera vía evaporación; el restante 10% proviene de la transpiración de las plantas.

El calor (energía) es necesario para que ocurra la evaporación. La energía es

utilizada para romper los enlaces que mantienen unidas a las moléculas de agua, es por esto, que el agua se evapora más fácilmente en el punto de ebullición (100 °C, 212 °F), pero se evapora más lentamente en el punto de congelamiento. Cuando la humedad relativa del aire es del 100 por ciento, que es el punto de saturación, la evaporación no puede continuar ocurriendo. El proceso de evaporación toma calor del ambiente, motivo por el cual, el agua que se evapora de la piel durante la transpiración te refresca.

La evaporación conduce el ciclo del agua

La evaporación desde los océanos, es el principal proceso por el cual el agua ingresa a la atmósfera. La gran superficie de los océanos (alrededor del 70 por ciento de la superficie terrestre, esta cubierta por océanos) propicia la ocurrencia de la evaporación a gran escala. A escala global, la misma cantidad de agua que es evaporada, vuelve a la Tierra como precipitación. Esto sin embargo varía geográficamente. Sobre los océanos, la evaporación es más común que la precipitación; mientras que, sobre la tierra la precipitación supera a la evaporación.

La mayor parte del agua que se evapora de los océanos, cae de vuelta sobre los mismos como precipitación. Solamente un 10 por ciento del agua evaporada desde los océanos, es transportada hacia tierra firme y cae como precipitación. Una vez evaporada, una molécula de agua permanece alrededor de diez días en el aire.

3.1.3 Almacenamiento de agua en la atmósfera: Es el agua almacenada en la atmósfera como vapor, en forma de humedad y nubes



Fuente: Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.3.1 La atmósfera está llena de agua

Si bien la atmósfera no es un importante almacenador de agua, es una vía rápida que el agua utiliza para moverse por el globo terráqueo. Siempre hay agua en la atmósfera. Las nubes son la forma más visible del agua en la atmósfera, pero incluso el aire limpio contiene agua...partículas de agua que son muy pequeñas como para ser visibles.

El volumen de agua en la atmósfera en cualquier momento es alrededor de 12,900 kilómetros cúbicos (3,100 millas cúbicas). Si toda el agua de la atmósfera cayera

como lluvia al mismo tiempo, cubriría la superficie terrestre con una capa de agua de 2.5 cm de espesor, alrededor de 1 pulgada.

3.1.4 Condensación: Es el proceso por el cual el agua cambia de estado gaseoso a líquido.



Fuente: Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.4.1 Como se da la Condensación

La condensación es el proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida. La condensación es importante para el ciclo del agua ya que forma las nubes.

Estas nubes pueden producir precipitación, la cual es la principal forma que el agua regresa a la Tierra, la condensación es lo opuesto a la evaporación.

La condensación es responsable también de la niebla, de que se empañen tus lentes cuando pasas de un cuarto que está frío a uno más cálido, de la humedad del día, de las gotas que escurren por el lado de afuera de tu vaso y de las gotas que se forman del lado de adentro de las ventanas cuando el día esta frío.

Condensación en el aire

Incluso en aquellos días en que el cielo esta completamente despejado de nubes, el agua sigue presente en forma de vapor de agua y pequeñas gotas demasiado pequeñas como para ser vistas. Las moléculas de agua se combinan con diminutas partículas de polvo, sales y humo para formar gotas de nube, que crecen y forman las nubes. Cuando las gotas de nube se juntan entre si crecen en tamaño, formándose las nubes y, la precipitación puede suceder.

3.1.5 Precipitación: Es caída del agua, en forma líquida o sólida desde las nubes

La precipitación, es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo. Es el principal proceso por el cual el agua retorna a la Tierra. La mayor parte de la precipitación cae como lluvia.



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.5.1 ¿Cómo se forman las gotas de lluvia?

Las nubes que flotan sobre nuestras cabezas, contienen vapor de agua y gotas de nube, que son demasiado pequeñas como para caer en forma de precipitación, aunque lo suficientemente grandes como para formar nubes visibles. El agua esta continuamente evaporándose y condensándose en el cielo. Si observas de cerca una nube, verás algunas partes desaparecer (evaporarse) y otras partes crecer (condensarse).

La mayor parte del agua condensada en las nubes, no cae como precipitación debido a las ráfagas de aire ascendente que soportan a las nubes. Para que ocurra la precipitación primero pequeñas gotitas deben condensarse. Las gotas de agua colisionan y producen gotas de mayor tamaño y lo suficientemente pesadas como para caer de la

nube en forma de precipitación. Se requieren muchas gotas de nube para producir una gota de lluvia.

3.1.6 Capas de Hielo: Agua almacenada en los hielos y la nieve: El agua dulce es almacenada en forma congelada, generalmente en los glaciares, campos de hielo y campos de nieve.



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.6.1 Capas de hielo en el mundo

El agua que es almacenada por largos períodos de tiempo en el hielo, la nieve o los glaciares, también forma parte del ciclo del agua.

La mayor parte de la masa de hielo de la Tierra, alrededor del 90 por ciento, se encuentra en la Antártida, mientras que el 10 por ciento restante se encuentra en Groenlandia. La capa de hielo de Groenlandia es una interesante parte del ciclo del agua. La capa ha aumentado su tamaño a lo largo del tiempo, alrededor de 2.5 millones de kilómetros cúbicos (600,000 millas cúbicas), debido que cae más nieve de la que se derrite. La capa de hielo presenta un grosor promedio de 1,500 metros (14,000 pies), pero puede tener hasta 4,300 metros de grosor (14,000 pies). El hielo es tan pesado, que la tierra que esta por debajo ha sido presionada hasta adquirir una forma curva.

Algunos hechos sobre los glaciares y las capas de hielo

- Los glaciares cubren un 10-11 por ciento de toda la superficie de la Tierra.
- Si en el día de hoy, todos los glaciares se derritieran, el nivel del mar subiría alrededor de 70 metros (230 pies). Fuente: Centro Nacional de Datos de Nieve y Hielo
- Durante la última edad de hielo el nivel del mar se encontraba alrededor de 122 metros (400 pies) más abajo del nivel a que está hoy día, y los glaciares cubrían casi un tercio de la superficie terrestre.
- Durante el ultimo período cálido, 125,000 años atrás, los mares estaban alrededor de 5.5 metros (18 pies) más arriba del nivel a que están hoy día. Alrededor de

tres millones de años atrás, los mares podrían haber estado 50.3 (165 pies) metros más arriba.

3.1.7 Escorrentía superficial: Escorrentía de lluvia (aquella escorrentía producida por el agua de lluvia) que corre sobre la superficie del suelo, hacia la corriente de agua más cercana.

La escorrentía superficial, es la escorrentía de lluvia que corre sobre el terreno.

La mayor parte de las personas piensas simplemente que, la lluvia cae sobre la tierra, fluye sobre ella (escorrentía de lluvia), y corre hacia los ríos, los cuales se descargan a los océanos. Esto es algo simplificado, ya que los ríos también ganan y pierden agua a través del suelo. Sin embargo, la mayor parte del agua de los ríos proviene directamente de la escorrentía que fluye por la superficie, denominada escorrentía superficial.

Generalmente, parte de la lluvia que cae es absorbida por el suelo, pero cuando la lluvia cae sobre suelo saturado o impermeable comienza a correr sobre el suelo, siguiendo la pendiente del mismo. Durante las lluvias fuertes, verás pequeños cordones de agua corriendo cuesta abajo. El agua corre por canales a medida que se dirige a los grandes ríos.

3.1.8 Corriente de agua: El movimiento de agua en su canal natural, como un río

Importancia de los ríos.

Los ríos no son importantes únicamente para las personas, también lo son para el resto de los seres vivos. No son únicamente un lindo lugar para que las personas (y sus perros) jueguen, las personas también los utilizan para abastecerse de agua potable y agua de riego, para producir electricidad, para eliminar residuos (en el mejor de los casos, residuos tratados), para transportar mercadería, y para obtener comida. Los ríos son los principales ambientes donde se desarrollan plantas y animales. Los ríos ayudan a mantener los acuíferos llenos de agua, ya que descargan agua hacia los mismos a través de sus lechos. Y, los océanos se mantienen con agua, ya que los ríos y la escorrentía continuamente están descargando agua en ellos.

Las cuencas y los ríos

Cuando se piensa en un río es importante pensar en su cuenca. ¿Qué es una cuenca? La cuenca, es el área donde toda el agua que cae dentro de esta y drena, se dirigirá hacia un mismo punto. Las cuencas pueden ser tan chicas como la huella de una pisada en el barro, o tan grandes como para incluir a toda la porción de tierra que drena hacia el río Mississippi en el punto que desemboca en el Golfo de Méjico. Cuencas pequeñas, se encuentran dentro de cuencas más grandes.

Las cuencas son importantes ya que el cuerpo de agua y la calidad del mismo se

ven afectados por lo que sucede en la cuenca, ya sea por causas naturales o provocado por el hombre.



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.8.1 La corriente de los cursos de agua está siempre cambiando

La corriente esta siempre cambiando, día tras día, incluso minuto a minuto. La escorrentía en la cuenca producida por la lluvia, es el principal factor que afecta a la corriente. La lluvia provoca la crecida de los ríos; un río puede crecer aunque la lluvia se haya producido en un punto mucho más arriba de la cuenca, toda al agua que cae en una cuenca, eventualmente, drena hacia un mismo punto. El tamaño de un río es altamente dependiente del tamaño de su cuenca. Los grandes ríos presentan cuencas grandes y los pequeños, cuencas pequeñas. De la misma forma, ríos de distintos tamaños, reaccionan de manera distintas frente a las tormentas y las lluvias.

El nivel de los grandes ríos aumenta y disminuye de una forma más lenta que el

de los de menor tamaño. En una cuenca pequeña, la crecida y la vuelta al nivel normal del agua, se produce posiblemente en cuestión de minutos u horas. A los grandes ríos les llevará días este proceso, por lo que las inundaciones pueden durar varios días.

3.1.9 Almacenamiento de agua dulce: Agua dulce que se encuentra en la superficie de la Tierra.

Una parte del ciclo del agua que obviamente es esencial para la vida en la Tierra, es el agua dulce superficial. El agua superficial incluye los arroyos, estanques, lagos, reservorios (lagos creados por el hombre), y humedales de agua dulce.

La cantidad de agua en los ríos y lagos esta permanentemente cambiando, debido a las entradas y salidas del agua al sistema. El agua que entra proviene de las precipitaciones, de la escorrentía superficial, del agua subterránea que se filtra hacia la superficie, y de los ríos tributarios. La pérdida de agua de los lagos y ríos se debe a la evaporación y a la descarga hacia aguas subterráneas. Los seres humanos también usan el agua superficial para satisfacer sus necesidades. La cantidad y localización del agua superficial varía en el tiempo y el espacio, ya sea por causas naturales o debidas a la acción del hombre.

3.1.10 Infiltración: El movimiento descendente del agua desde la superficie de la Tierra hacia el suelo o las rocas porosas



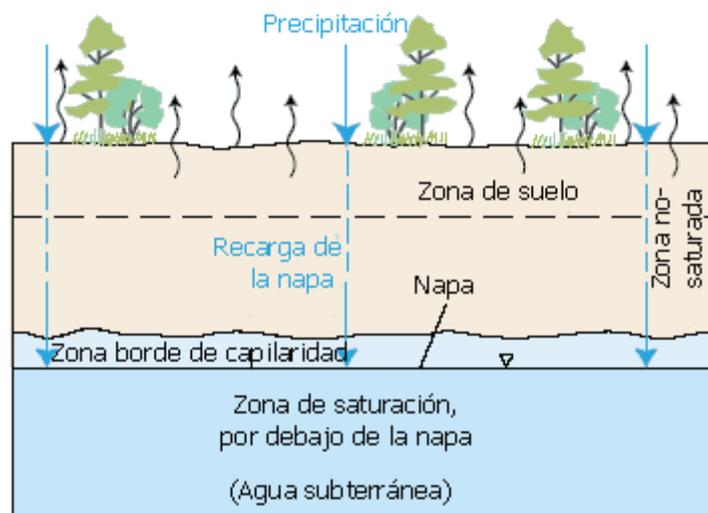
Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.10.1 El agua subterránea comienza como precipitación

En cualquier parte del mundo, una porción del agua que cae como precipitación y nieve se infiltra hacia el suelo subsuperficial y hacia las rocas. La cantidad infiltrada depende de un gran número de factores.

Parte del agua que se infiltra, permanece en las capas más superficiales del suelo y puede volver a entrar a un curso de agua debido a que se filtra hacia el mismo. Otra

parte del agua puede infiltrarse a mayor profundidad, recargando así los acuíferos subterráneos. Si los acuíferos son lo suficientemente porosos y poco profundos como para permitir que el agua se mueva libremente a través de ellos, la gente puede realizar perforaciones en el suelo y utilizar el agua para satisfacer sus necesidades. El agua puede viajar largas distancias, o permanecer por largos períodos como agua subterránea antes de retornar a la superficie, o filtrarse hacia otros cuerpos de agua, como arroyos u océanos.



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.10.2 Agua subsuperficial

A medida que el agua se infiltra en el suelo subsuperficial, generalmente forma una zona no-saturada y otra saturada. En la zona de no-saturación, hay algo de agua presente en las aperturas del material subsuperficial, pero el suelo no se encuentra saturado. La parte superior de la zona no-saturada es la zona del suelo. La zona del suelo presenta espacios creados por las raíces de las plantas que permite que la precipitación se infiltre dentro del suelo. El agua del suelo es utilizada por las plantas. Por debajo de la zona no-saturada, se encuentra una zona saturada, donde el agua ocupa por completo los espacios que se encuentran entre las partículas del suelo y las rocas. Las personas pueden realizar perforaciones para extraer el agua que se encuentra en esta zona.

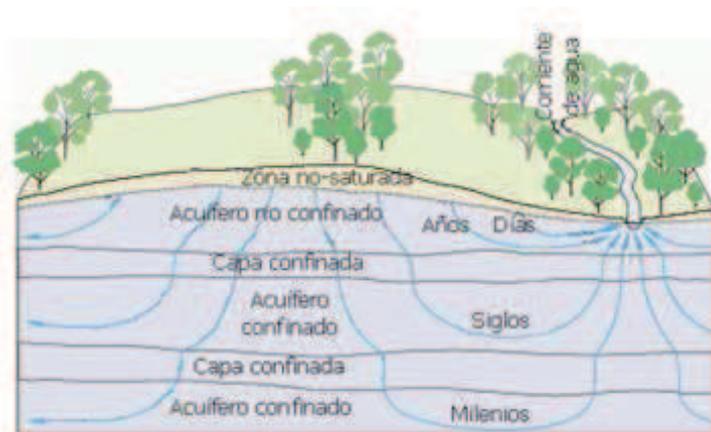
3.1.11 Descarga de agua subterránea: El movimiento del agua hacia afuera del suelo



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.11.1 Movimientos de agua

Todos los días, tú ves el agua que te rodea en lagos, ríos, hielo, lluvia y nieve. Pero también hay una gran cantidad de agua que no vemos, el agua que existe y se mueve dentro del suelo. El agua subterránea es, en muchos casos, el principal contribuyente de los cursos de agua. Las personas han utilizado el agua subterránea por cientos de años y lo continúan haciendo hasta el día de hoy, principalmente para beber y para riego. La vida en la Tierra depende del agua subterránea como también depende del agua superficial.



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.11.2 El agua subterránea fluye bajo la superficie

Una porción de la precipitación que cae sobre la tierra, se infiltra en el suelo y pasa a formar parte del agua subterránea. Una vez en el suelo, parte de esta agua se mueve cerca de la superficie de la tierra y emerge rápidamente siendo descargada en los lechos de las corrientes de agua, pero debido a la gravedad, una gran parte de ésta continúa moviéndose hacia zonas más profundas.

Como muestra este diagrama, la dirección y velocidad del movimiento del agua subterránea están determinadas por varias características del acuífero y de las capas confinadas del suelo (donde el agua tiene dificultad en penetrar). El movimiento del agua por debajo de la superficie depende de la permeabilidad (que tan fácil o difícil es el movimiento del agua) y de la porosidad (la cantidad de espacio abierto en el material) de la roca subsuperficial. Si la roca permite que el agua se mueva de una forma relativamente libre dentro de ella, el agua puede moverse distancias significativas en un corto período de tiempo. Pero el agua también puede moverse hacia acuíferos más profundos, desde donde demorará años en volver a ser parte del ambiente.

3.1.12 Manantial: Lugar donde el agua subterránea es descargada hacia la superficie.



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.12.1 ¿Qué es un manantial?

Un manantial resulta cuando un acuífero se llena hasta el punto en que el agua se desborda a la superficie de la tierra. Los manantiales varían en tamaño, desde pequeños manantiales que únicamente fluyen después de grandes lluvias, a grandes piscinas donde fluyen millones de litros de agua diariamente.

Los manantiales pueden formarse en cualquier tipo de roca, pero se encuentran principalmente en las calizas y dolomitas. Este tipo de roca se disuelve fácilmente con la

lluvia y se fractura. El agua resultante es ácida. A medida que la roca se disuelve y fractura, se forman espacios que permiten que el agua fluya. Si el flujo es horizontal, éste puede alcanzar la superficie de la tierra, resultando en un manantial.

3.1.13 Transpiración: Proceso mediante el cual el vapor de agua se escapa de las plantas y entra a la atmósfera



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.13.1 Transpiración y las hojas de las plantas

La transpiración es el proceso por el cual el agua es llevada desde las raíces hasta pequeños poros que se encuentran en la cara inferior de las hojas, donde se transforma en vapor de agua y se libera a la atmósfera. La transpiración, es esencialmente la evaporación del agua desde las hojas de las plantas. Se estima que alrededor de un 10% de la humedad de la atmósfera proviene de la transpiración de las plantas.

La transpiración de las plantas es un proceso que no se ve, debido a que el agua se evapora de la superficie de la hoja. Durante la estación de crecimiento, una hoja transpirará una cantidad de agua mucho mayor a su propio peso.

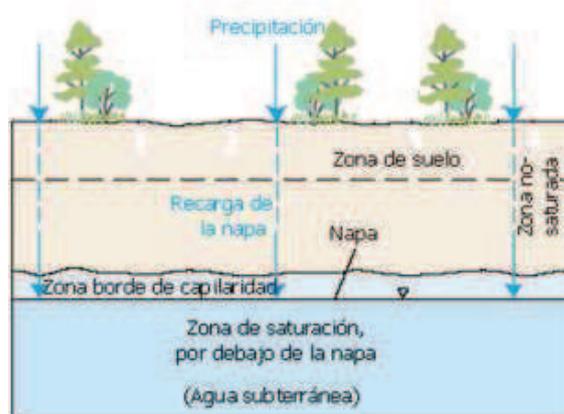
Factores atmosféricos que afectan la transpiración

La cantidad de agua que transpiran las plantas varía según la región geográfica y a través del tiempo. Hay varios factores que determinan las tasas de transpiración:

- **Temperatura:** La tasa de transpiración aumenta a medida que aumenta la temperatura, especialmente durante la estación de crecimiento, cuando el aire está más cálido.
- **Humedad relativa:** A medida que aumenta la humedad del aire que rodea a la planta, la tasa de transpiración disminuye. Es más fácil para el agua evaporarse hacia el aire seco que hacia el aire saturado.
- **El viento y el movimiento del aire:** El aumento en el movimiento del aire que rodea a la planta, provocará una mayor transpiración
- **Tipos de plantas:** Las distintas plantas, presentan distintas tasas de

transpiración. Algunas de las plantas que crecen en las zonas áridas, como los cactus, conservan la tan preciada agua transpirando menos.

3.1.14 Agua subterránea almacenada: El agua debajo de la tierra, ha estado ahí por millones de años



Fuente: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey).

Figura 3.1.14.1 El agua almacenada forma parte del ciclo del agua

Grandes cantidades de agua son almacenadas en el suelo. El agua se sigue moviendo, aunque de manera muy lenta, y sigue siendo parte del ciclo del agua. La mayor parte del agua del suelo proviene del agua de lluvia que se infiltra a través de la

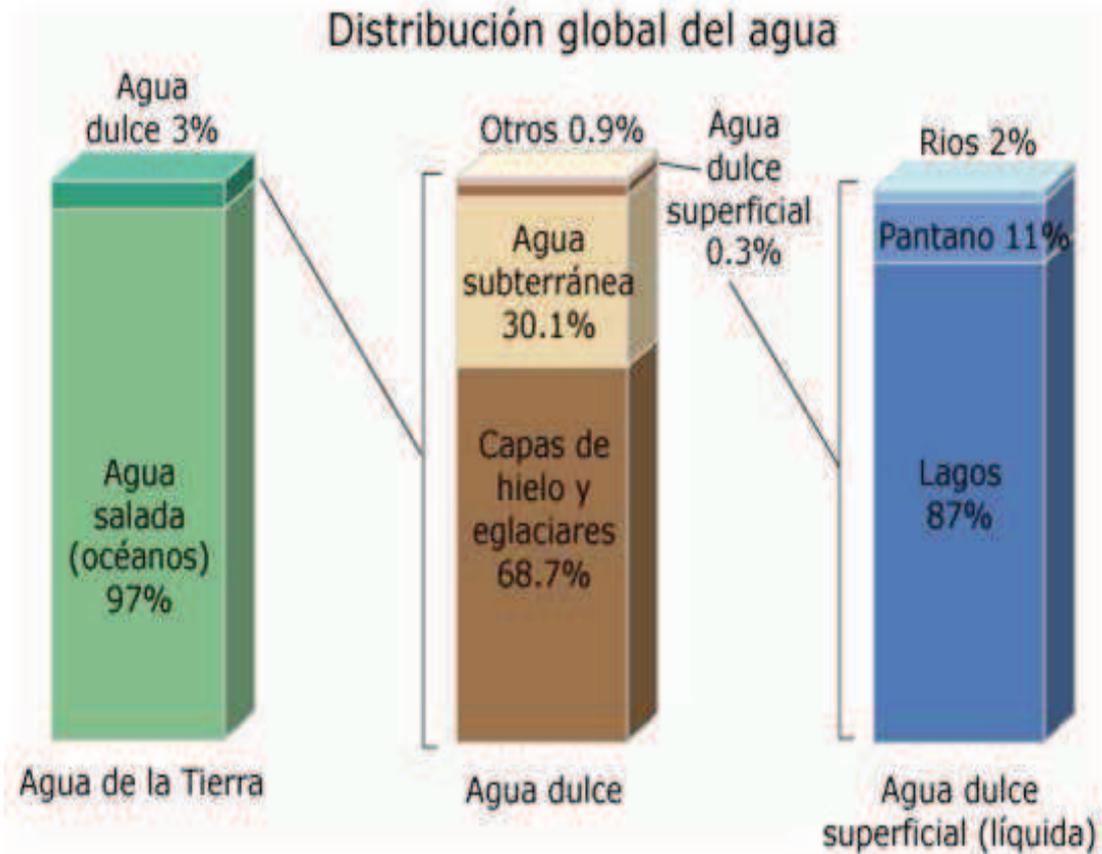
superficie del suelo. La capa superior del suelo, es la zona no-saturada, donde las cantidades de agua varían con el tiempo, pero no alcanzan a saturar el suelo. Por debajo de esta capa, se encuentra la zona de saturación, donde todos los poros, grietas y espacios entre las partículas de roca se encuentran llenos de agua.

El término agua subterránea es utilizado para describir esta zona. Otro término para el agua subterránea es "acuífero". Los acuíferos, son los grandes almacenes de agua en la Tierra y muchas personas alrededor de todo el mundo dependen del agua subterránea en su diario vivir.

3.1.15 Distribución global del agua

Para una descripción detallada de donde se encuentra el agua de la Tierra, mira el gráfico de barras de abajo y la tabla de datos. Observa que, del total de agua de la Tierra, 1,386 millones de kilómetros cúbicos (332.5 millones de millas cúbicas), alrededor de un 96 por ciento, es agua salada. Del agua dulce total, un 68 por ciento está confinada en los glaciares y la nieve. Un 30 por ciento del agua dulce está en el suelo.

Las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, solamente corresponden a unos 93,100 kilómetros cúbicos (22,300 millas cúbicas), lo que representa un 1/150 del uno por ciento del total del agua. A pesar de esto, los ríos y lagos son la principal fuente de agua que la población usa a diario.



Fuente: Fuente: Gleick, P. H., 1996: Los recursos hídricos. En la Enciclopedia de, Clima y tiempo ed. por S. H. Schneider, Oxford University Press, Nueva York, vol. 2, pp.817-823.

Figura 3.1.15.1 Distribución del Agua

Una estimación de la distribución del agua global:

Fuente de agua	Volumen de agua, en metros cúbicos	Volumen de agua, en millas cúbicas	Porcentaje de agua dulce	Porcentaje total de agua
Océanos, Mares y Bahías	1,338,000,000	321,000,000	--	96.5
Capas de hielo, Glaciares y Nieves Perpetuas	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
Agua subterránea	23,400,000	5,614,000	--	1.7
Dulce	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
Salada	12,870,000	3,088,000	--	0.94
Humedad del suelo	16,500	3,959	0.05	0.001
Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)	300,000	71,970	0.86	0.022
Lagos	176,400	42,320	--	0.013
Dulce	91,000	21,830	0.26	0.007
Salada	85,400	20,490	--	0.006
Atmósfera	12,900	3,095	0.04	0.001
Agua de pantano	11,470	2,752	0.03	0.0008
Ríos	2,120	509	0.006	0.0002
Agua biológica	1,120	269	0.003	0.0001
Total	1,386,000,000	332,500,000	-	100

Fuente: Gleick, P. H., 1996: Los recursos hídricos. En la Enciclopedia de, Clima y tiempo ed. por S. H. Schneider, Oxford University Press, Nueva York, vol. 2, pp.817-823.

Tabla 3.1.15.1 Estimación de la Distribución del Agua

3.2 INUNDACIONES

3.2.1 Definición de Inundaciones

Las inundaciones son eventos naturales que se producen en las corrientes de agua como resultado de lluvias intensas o continuas que al sobrepasar la capacidad de absorción del terreno y de los cauces, desbordan e inundan extensiones. También puede ser causada por subida de mareas por encima del nivel habitual.

3.2.2 Origen de las Inundaciones

Las inundaciones pueden originarse por varios factores, entre ellos destacan las precipitaciones prolongadas e intensas, la rápida fusión de la nieve de las vertientes o el deshielo durante la primavera. Otras inundaciones son causadas por precipitaciones cortas pero muy fuertes en terrenos considerablemente planos, por el reflujó de la marea, cuando las mareas altas coinciden con tormentas en las costas, por defectos o rebalse de presas y por las mareas originadas en grandes lagos por acción del viento.

En el caso de las lluvias frecuentes (estacionales, es decir, que tiene períodos establecidos) o incesantes (de alta intensidad, es decir, que se precipitan en gran cantidad y en muy poco tiempo) se llega a sobrepasar la capacidad de retención del suelo y del cauce de los ríos, lo que genera desbordamientos e inundaciones q forman las denominadas llanuras de inundación. Éstas, por lo general, surgen en aquellos terrenos cercanos a los cuerpos de agua.

Las inundaciones también se pueden originar por diversos fenómenos atmosféricos (temporales, frentes fríos y huracanes) que provocan tormentas o lluvias de corta duración, pero muy intensas y continuas.

Las presas, ya sean naturales o artificiales, pueden presentar fallas o fugas y dar origen a inundaciones o avalanchas. Cabe mencionar que las presas naturales pueden fallar por una mala conformación o por un sismo de gran intensidad.

También existen otros fenómenos naturales que pueden originar inundaciones, como es el caso de las marejadas y las avalanchas. Las marejadas son fenómenos físicos que se presentan en los mares y se deben a la acción de los huracanes y tormentas, así como a las grandes mareas. Las marejadas producen inundaciones al introducirse en las costas tierra adentro. Una avalancha es un fenómeno que se presenta en ríos o quebradas por efecto inicial de un deslizamiento. Una recarga de agua sobre laderas inestables hace que adquieran gran peso y se deslicen partes de la ladera hacia el cauce del cuerpo de agua generando la formación de presas e inundando el área.

3.2.3 Conceptos de Gestión de Riesgos

Según O.D. Cardona¹¹ la frecuencia y diversidad de amenazas naturales, la magnitud de los daños y pérdidas materiales y humanas asociadas con éstas en los últimos años, ha generado una reflexión y un debate sobre los factores ajenos a los eventos físicos en sí, que podrían ayudar en explicar los niveles de destrucción e impacto sufrido en la economía y sociedad.

Una explicación en torno a esta reflexión es la llamada vulnerabilidad social o humana ante lo cual se hace necesaria la gestión en la reducción del riesgo.

- **Amenaza:** se entiende como el peligro latente que representa la posible manifestación dentro de un periodo de tiempo y en un territorio particular de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antropogénico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente.
- **Vulnerabilidad:** es el factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado, de ser susceptible a sufrir un daño, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente. Corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser

¹¹ Basado en O.D. Cardona con modificaciones realizadas por A.M. LAVELL, colaboración del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un fenómeno peligroso, de origen natural o causado por el hombre, se manifieste.

- **Riesgo:** es la probabilidad que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un periodo de tiempo definido. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.
- **Desastre:** situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento de la comunidad, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender los afectados y restablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida.

Según lo anterior puede conservarse que los eventos hidrometeorológicos que tienen un periodo de recurrencia anual, que no son de altas magnitudes y que puedan ser considerados como promedios o incluso bajo el promedio considerados como amenaza cuando se relaciona con una vulnerabilidad y los cambios hechos por el hombre, ya que la precipitación en sí misma no es una amenaza, han sido capaces de generar desastres para un población urbana considerada muy vulnerable.

Por lo anterior, se ve que lo que se debe hacer es respetar la naturaleza, sus manifestaciones y sus ciclos. Es de importancia conocer el Ciclo Hidrológico, el cual es la representación simplificada del paso del agua en la tierra.

3.2.4 Presiones Antropogénicas

Los factores de lluvia no son afectados directamente por los procesos de urbanización, pero si influyen mucho en la generación de una inundación en cuencas pequeñas. Una lluvia más intensa (mm de lluvia por unidad de tiempo) concentra una mayor cantidad de agua en el suelo, y si la tasa de infiltración en el suelo o la velocidad de escurrimiento a los drenajes, es menor que la intensidad de lluvia, se comienza a generar más cantidad de agua en los drenajes, desbordándolos y produciendo inundaciones.

Los cambios a nivel global están afectando los patrones de comportamiento de las lluvias en distribución temporal y espacial, incrementándose la frecuencia e intensidad de los extremos y produciéndose tormentas altamente convectivas. El cambio del clima y en los patrones de precipitación, se evidencian en: se extreman los extremos y se hacen más frecuentes, es decir, los desastres generados por lluvias se hacen más frecuentes y las precipitaciones más intensas. Generalmente los chubascos alcanzan mayor intensidad durante la primera mitad de junio. En septiembre y octubre predomina otro fenómeno climático: los denominados temporales, caracterizados por lluvias

persistentes, de 3 a 6 días de duración.

En lo que respecta a los factores de la cuenca que pueden alterar el ciclo hidrológico y alterar los patrones de escorrentía generando mayor amenaza de inundación, básicamente es el uso del suelo, el factor clave. Cuando se reduce o limita la capacidad del suelo a través de la cobertura vegetal para poder detener el impacto del agua permitirle que ésta permanezca mayor tiempo en el mismo, las tasas de infiltración son mucho más lentas que las intensidades de las lluvias, generando mayor escurrimiento superficial y por lo tanto mayor cantidad de agua que pueda desbordar la capacidad de los drenajes.

3.2.5 Tipos de Inundaciones

1. Inundaciones muy rápidas producidas por lluvias de intensidad muy fuerte (superior a 180 mm/h) pero muy cortas (menos de 1 hora).

La cantidad de lluvia totalizada no supera los 80mm. Usualmente producen inundaciones locales en las ciudades y pueblos (inundaciones de plazas, garajes, sótanos, etc., debido a problemas de drenaje) o en pequeñas cuencas con mucha pendiente, produciéndose las llamadas “flash-floods” o inundaciones súbitas.

2. Las inundaciones producidas por lluvia de intensidad fuerte o moderada (superior a 60 mm/h) y duración inferior a 72 horas.

Cuando estas lluvias afectan a ríos con mucha pendiente o con mucho transporte sólido, las inundaciones pueden ser catastróficas. Es posible distinguir entre dos categorías:

a) Inundaciones catastróficas producidas por lluvias de fuerte intensidad durante dos o tres horas, y una duración total del episodio inferior a 24 horas.

Pese a que la zona más afectada pueda no ser muy grande (cuencas comprendidas entre 100km² y 2000km²), las lluvias o el mal tiempo afectan áreas superiores a 2000km². En este caso el tiempo de respuesta es muy corto y pueden producirse muchos muertos. Pese a que la predicción meteorológica a corto término permite alertar del riesgo de lluvias fuertes, la incertidumbre sobre la cantidad, intensidad,

duración y la zona más afectada por las lluvias es todavía grande. Además de mejorar las predicciones y modelos de transformación lluvia-caudal, la mejor previsión es la gestión correcta del territorio.

La cartografía de la peligrosidad utilizando información histórica es también muy importante. Esta información puede ser instrumental (lluvia, caudal, altura del agua, etc.) u obtenida de los archivos y la descripción de los eventos que han ocurrido.

- b)** Las inundaciones catastróficas producidas por lluvias de intensidad fuerte y moderada durante dos o tres días. La zona afectada puede ser muy grande (más de 2000km²). En este caso el tiempo de respuesta puede ser muy corto para la parte alta de los ríos, pero el valor máximo de la crecida del río puede llegar un día después de que se hayan producido las máximas intensidades pluviométricas.

La gestión de estos episodios por parte de los organismos encargados de riesgos no es fácil, dada la gran extensión del evento, pero, habitualmente existe el tiempo suficiente para activar los planes de emergencia. En este caso el número de víctimas es inferior al caso anterior, y una gran parte de los muertos se produce por imprudencia. Por el contrario, los daños materiales son muy grandes. Como en el caso anterior, la predicción meteorológica a corto plazo puede alterar el riesgo de lluvias fuertes sobre áreas extensas, pero la incertidumbre sobre la cantidad, la intensidad, la duración y la futura evolución meteorológica es todavía grande.

Además de mejorar las previsiones hidrometeorológicas, la mejor previsión es también la gestión correcta del territorio, la educación de la población y la eficacia de la cadena de alerta. Finalmente, en estos casos es posible a veces laminar la crecida a través de los embalses.

- c) Las inundaciones extraordinarias producidas por lluvias de intensidad débil con valores fuertes pero muy cortos y locales y una duración superior a 3 días. Se dispone de un tiempo de respuesta suficiente para laminar la crecida utilizando los embalses, y para desplegar los sistemas de socorro necesarios por los organismos encargados en cada país. En general no hay muertos y los daños materiales son inferiores a los del caso b. Estas inundaciones no son frecuentes, siendo la estación más típica la de invierno.

3.2.6 Tipos de Inundaciones en El Salvador

El tipo de inundación que se genera en un territorio específico, depende del tamaño de la cuenca de recogimiento y su capacidad de respuesta, y del tipo de eventos hidrometeorológicos que lo genera. En El Salvador se distinguen los siguientes tipos:

- 1. Inundaciones en cuenca baja de los ríos medianos y grandes:** Ocasionada por temporales, eventos hidrometeorológicos como Huracanes.
- 2. Inundaciones en cuencas de respuesta rápida:** Ocasionadas por precipitaciones altamente convectivas, intensas y localizadas, de dos a tres horas de duración.
- 3. Inundaciones en cuencas urbanas:** También ocasionadas por precipitaciones altamente convectivas, la problemática es generada por deficiencias y limitaciones en el sistema de drenaje urbano, obras sin control en cauces de ríos y quebradas, basura en las quebradas y por supuesto incremento de escorrentía por la impermeabilización de la cuenca alta.

3.2.7 Tipos de Inundaciones Urbanas

Las inundaciones urbanas pueden ser ocasionadas por:

- a. Drenaje urbano:** la urbanización aumenta los caudales naturales debido a impermeabilización y la canalización del escurrimiento superficial. Aumenta la

frecuencia y la magnitud de las inundaciones. Ejemplo, colapso del drenaje del Arenal Montserrat que inunda las zonas aledañas.

- b. Inundación Ribereña:** inundaciones ocasionadas por la ocupación del cauce natural del río y de su planicie natural de inundación, esta zona es ocupada por la población durante periodos secos y durante las épocas lluviosas o los años húmedos, se ven inundados.
- c. Intervenciones en el Drenaje:** construcciones de obras en el cauce del río, tales como muros, diques, obras de paso que no han sido adecuadamente diseñadas. Ejemplo: inundaciones de la Colonia Costa Rica por la construcción de muros en el cauce del río ISNA.
- d. Flujos de lodo por desprendimiento en zonas más altas.** Ejemplo: Flujo de lodo que afectó viviendas en Caserío Istmapa y Colonia Los Ángeles.

3.2.8 Causas de Las Inundaciones

- ✓ Periodo extraordinario de lluvias es una de las causas principales de las inundaciones, pero además hay otros factores importantes.
- ✓ Exceso de precipitación, los temporales de lluvias son el origen principal de los flujos de corriente. Cuando el terreno no puede absorber o almacenar toda el agua que cae, ésta resbala por la superficie (escorrentía) y sube el nivel de los ríos.

✓ También las actividades antropogénicas agravan el problema ya que la ocurrencia de estos fenómenos naturales se manifiestan cada vez con mayor frecuencia.

✓ La tala de bosques y los cultivos que desnudan al suelo de su cobertura vegetal facilitan la erosión, con lo que llegan a los ríos grandes cantidades de materiales en suspensión que agravan los efectos de la inundación.

Las canalizaciones solucionan los problemas de inundación en algunos tramos de los ríos pero los agravan en otros a los que el agua llega mucho más rápidamente.

✓ La ocupación de los cauces por construcciones reduce la sección útil para evacuar el agua y reduce la capacidad de carga de la llanura de inundación del río.

La consecuencia es que las aguas suben a un nivel más alto y llegan a una mayor velocidad y volumen a los siguientes tramos del río, porque no ha podido ser embalsada por la llanura de inundación provocando mayores desbordamientos.

Por otra parte el riesgo de perder la vida y de daños personales es muy alto en las personas que viven en esos lugares.

✓ Las inundaciones súbitas e intempestivas o flash-floods se suelen presentar en lugares a pie de monte y su principal característica es que la fuerza de la corriente es tal que es capaz de arrastrar infraestructuras sólidas. Este tipo de inundaciones suelen actuar durante pocas horas y pueden cobrar víctimas en cantidades cuantiosas, además de severos daños estructurales.

Las inundaciones lentas, se presentan tanto en lugares planos, costeros como en las partes bajas de las cuencas.

3.2.9 Efectos de las Inundaciones

Dentro del enfoque multidimensional de los efectos potenciales que podrían generarse como consecuencia de una creciente extraordinaria de los ríos y quebradas están los siguientes:

- ✓ **Efectos Sociales:** migraciones, pérdidas de vidas humanas (dependiendo del volumen, velocidad y represamiento del flujo de corriente de la cuenca de los ríos y quebradas), ocupación de espacios inadecuados no controlados, proliferación de enfermedades infecto-contagiosas, incertidumbre, improvisación de espacios inadecuados para refugiados, entre otros.
- ✓ **Efectos Económicos:** colapso de infraestructuras (viviendas y puentes, etc.), pérdidas de bienes materiales, colapso del sistema de la red de drenaje y alcantarillado, afectación de los servicios básicos (agua potable, luz y teléfono, etc.), afectación y/o destrucción de espacios urbanísticos, alteración de las actividades turísticas, etc.
- ✓ **Efectos Ecológicos:** alteración del paisaje, aumento de procesos erosivos, afectación del suelo, migración de especies faunísticas y endémicas, contaminación de cuerpos de agua (pequeños ríos, lagunas y arroyos), afectación

de la cobertura vegetal, deslizamientos y/o deslaves, entre otros.

3.2.10 Problemática de Inundaciones

Inundaciones Ligadas al Proceso de Urbanización

Desde el punto de vista hídrico la urbanización significa la impermeabilización progresiva del suelo de la cuenca hidrográfica, con los siguientes efectos directos sobre el drenaje pluvial de la región:

- a. Aumento de caudales en relación al estado natural
- b. Aceleración de las ondas de crecidas (reducción de los tiempos de escurrimiento)
- c. Aumento del volumen escurrido.

En la medida de ampliar sistemáticamente se expande, se manifiesta este proceso, con necesidad de ampliar sistemáticamente la capacidad del sistema de drenaje. La literatura especializada cita algunos valores que permiten dimensionar la magnitud de este impacto. Para una cuenca de 260ha Leopold (1968) estimó que su urbanización total junto a la ejecución de conductos de drenaje puede aumentar el caudal pico hasta seis veces en relación a la situación natural. Tucci (1994) analizó la variación del coeficiente de escurrimiento entre áreas rurales y urbanas, concluyendo que para sectores con urbanización media esta variación puede llegar a valores del orden del 200%.

La problemática de controles y normativas en las nuevas construcciones, se

evidencia cuando una nueva litificación es proyectada, usualmente los municipios solamente exigen que el proyecto de drenaje pluvial asegure el drenaje eficiente del sector, sin considerar el impacto del aumento del caudal máximo hacia aguas abajo.

Una característica causante del descontrol observado en la mayoría de las ciudades es que quien impermeabiliza no sufre consecuencias; los efectos hidrológicos solo se verifican hacia aguas abajo.

En muchas ciudades se verifica un proceso de urbanización de las cuencas desde aguas abajo hacia aguas arriba. Como consecuencia, la combinación de impactos de los nuevos lotes produce aumento de la ocurrencia de crecidas e inundaciones hacia sectores de la población antes no afectados. Este proceso ocurre a través de la sobrecarga de la red de conductos subterráneos y/o cursos de mayor porte.

Habilitación de Lotes Inundables

En nuestra ciudad, es muy común este tipo de inundaciones, cuando por falta de restricciones y normativas, se han desarrollado asentamientos informales en las áreas de crecidas extraordinarias y algunas veces ordinaria del río. Durante el periodo de tiempo que el río no crece mucho, estas comunidades están a salvo, pero cuando se tiene una crecida de mayor magnitud, la pérdida y daños que sufren estas comunidades son casi totales, porque en algunos casos, estas comunidades informales han sido ya formalizadas y el tipo de vivienda construida es de mayor calidad.

Existen comunidades en las que sus calles sin el cauce principal del río, es imposible que esta comunidad no se inunde, no es factible resolver el problema si la comunidad se encuentra en el cauce principal del río.

Intervenciones Humanas en lo Ríos.

Adicionalmente a las anteriormente mencionadas, la falta de regulación, control y normativas, permite que se realicen obras en las quebradas naturales sin un diseño adecuado, sin considerar su natural comportamiento, o se realizan obras en sus cercanías sin considerar el impacto que pueden tener sus efectos aguas abajo, por ejemplo:

- a. Encausamiento de Quebradas Naturales, por tratar de tener más área para construir e las nuevas lotificaciones, o en carreteras, o en calles, no se considera el equilibrio hidráulico del río y se trata de forzar según los requerimientos de la construcción.
- b. Realización de obras en las quebradas: ya sea muros o gaviones para “protección contra inundaciones” de los terrenos aledaños sin un adecuado diseño, lo que desemboca en un estrechamiento de la quebrada causando inundaciones aguas abajo afectando otras áreas aledañas a la misma.
- c. Alteración de lo patrones de escurrimiento por rellenos y embovedamientos: la búsqueda de terrenos y más áreas para construir urbanizaciones o edificaciones en una ciudad ocupada, hace que se emboveden quebradas o que se rellenen sus cauces, sin considerar que estos son los drenajes naturales de la quebrada y que si

no drenan por allí, deberán drenar por otra parte, causando problemas en otras áreas.

- d. Mal diseño de las obras de paso: también, por razones económicas o técnicas, algunas veces las obras de paso son diseñadas como errores y limitaciones, y se construyen bóvedas y puentes de dimensiones menores a las requeridas, la estructura inadecuada.
- e. Basura en los cauces: el taponamiento de las obras de paso por basura, paradójicamente es una de las mayores causas de inundaciones, que puede ser controlada por las municipalidades y comunidades.
- f. Producción de sedimentos aguas arriba por urbanizaciones que no controlan desechos. Este es un gran problema durante los procesos constructivos de nuevas urbanizaciones, que puede también ser controlado por regulaciones de las instituciones competentes.

Problemática Multicausal

Como puede verse, la problemática de inundaciones en San Miguel, como en otras ciudades está ligada a una serie de procesos, los cuales tienen su origen precisamente en la falta de ordenamiento territorial y en la falta de planificación de la ciudad; hay algunos problemas que básicamente se deben a falta de normativa o de un adecuado diseño de las obras de paso y drenaje.

Una problemática compleja y multicausal, debe tener un enfoque de la solución, también amplio y considerando la problemática de las inundaciones, como parte de un Plan de Gestión Integrada del Drenaje Urbano.

3.3 ESQUEMAS DE GESTION PARA LA CONTRUCCION DE OBRAS DE PROTECCION

Las obras diseñadas para la prevención de inundaciones son por lo general de alto costo debido a sus dimensiones y debido a los estudios técnicos que requieren.

En América Central la gestión para la construcción de este tipo de medidas se lleva a cabo rutinariamente bajo contratos a pedido por la empresa privada, como a pedido de ministerios y dependencias del estado.

En cualquier caso, el diseño de medidas a implementarse se basa en la relación de costo-beneficio. En el caso del Estado, las obras de prevención se diseñan para la protección de comunidades, líneas vitales e infraestructuras estatales. En estos casos no se puede hablar de costo-beneficio en términos monetarios, dado que nadie puede definir el costo de las vidas humanas de comunidades de riesgo.

En el caso de las líneas vitales la relación costo-beneficio se puede calcular asociando el costo de protección de las líneas versus la creación de líneas alternas o versus el costo de establecer nuevamente líneas si son destruidas por la inundación. Es

importante notar que en este caso hay que asignar un valor también al servicio que se esta dejando de prestar mientras se construye o rehabilita la línea vital.

El procedimiento de gestión para la construcción de obras de prevención debe abarcar tres componentes:

- Estudio hidrológico y Estudio de Riesgo.
- Diseño Técnico de Obras de Protección
- Construcción de la Obra.

✓ ***Estudio Hidrológico y Estudio de Riesgo***

Los estudios hidrológicos tienen como finalidad de hacer una caracterización del tránsito de avenidas de distintas dimensiones, así como la caracterización de la correlación entre la dimensión de la avenida y su periodo de retorno.

Esta información sirve para tomar decisiones para solicitar un diseño y construcción de medidas que se ajusten al presupuesto, tomando en consideración periodos de retornos de 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años. Como es de esperarse, el costo de las obras depende de la dimensión de la crecida para la cual se está creando la obra.

Como parte adicional en los estudios hidrológicos se contempla estudios hidrogeológicos, necesarios para determinar y caracterizar el tipo de medida a

implementar.

La hidrogeología se torna importante en el caso de ríos que tienen la capacidad de arrastrar arena o rocas de dimensiones variables que yacen en la cuenca alta, en los lechos de los ríos. La relevancia del material arenoso o rocoso suspendido radica en el poder erosivo que puede tener efectos dañinos en las bordas a implementarse, o bien en el relleno paulatino de canales de dragado recién construidos.

Los estudios hidrológicos comprenden el análisis de la respuesta hidrológica de la cuenca, que se conforma de la precipitación pluvial y su descarga por los afluentes y ríos hasta su desembocadura en el mar o en los lagos.

Información recopilada durante varias décadas de precipitación, así como de niveles de ríos en varios sitios que abarcan la cuenca alta, media y baja, son necesarios para determinar los caudales típicos.

En contraste, la información relacionada con precipitaciones y niveles en casos de huracanes y tormentas de gran dimensión es de gran utilidad para determinar caudales mixtos, así como mapas de inundación.

Como resultado de los estudios hidrológicos se obtienen una caracterización de las crecidas, representando en caudales y niveles de altura del agua en puntos específicos.

Con estas herramientas será posible dimensionar medidas tales como bordas y

dragados, simular inundaciones por computadora y determinar en forma teórica escenarios con tiempos de retornos.



Fuente: Aportes para la gestión de obras para la prevención de inundaciones, Fortalecimiento de Estructuras Locales para La Mitigación de Desastres (FEMID), Guatemala 2001.

Figura 3.3.1 Tipos de Bordas como obras de mitigacion.

✓ *Diseño de Obras de Prevención*

Tomando como base los estudios hidrológicos y de riesgo se deberá a proceder a diseñar el tipo de medida a ser implementada para prevenir las inundaciones y desbordes. Los criterios que se usan para el diseño técnico son:

- Caudales y niveles para los cuales se dimensiona la obra, los que se relacionan con los periodos de retornos de dicho evento.
- Caracterización físico de caudales para determinar el poder erosivo que puede

tener una crecida sobre las medidas a implementarse, así como determinar el poder de asolvamiento que puedan tener las crecidas.

- Caracterización de los suelos en las riberas de los ríos donde se pretende establecer las bordas para determinar la estabilidad su estabilidad.

Normalmente se diseña una serie de medidas que en forma integral puede resolver el problema de inundaciones. Ejemplos de estas medidas son:

- Dragado en cauces
- Construcción de bordas de distintos tipos
- Construcción de presas para el control temporal de avenidas

El dragado es una medida que se implementa en aquellos casos en los cuales el asolvamiento ha disminuido la capacidad de descarga del cauce y se desea recuperar dicha capacidad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS

HIDROLÓGICO

E HIDRÁULICO

4.1 ANÁLISIS HIDRÁULICO

4.1.1 Definición y Objetivo de la Hidrología

Existen varias definiciones de hidrología, pero la más completa es quizá la siguiente:

“Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.”

Es necesario limitar la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se le llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada, que concluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua.

El estudio hidrológico es el mecanismo a través del cual se realiza, 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, mediante el cual se estiman los niveles de inundación para los caudales dados de acuerdo con los periodos de retorno previamente establecidos.

El análisis hidráulico se realizará mediante los programas HEC-HMS en el cual se calcularán los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno y HEC-RAS que

nos arrojará los datos de sobrelevación del nivel de agua del cauce provocada por el puente que atraviesa.

4.2 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA.

4.2.1 Descripción de la Cuenca

El área de estudio considerada para el Rio Grande fue tomada desde el punto de ubicación del Puente Don Luis de Moscoso con coordenadas de N13°27'37.12'' y W88°09'06.89'' con una longitud de 2,351 m aguas arriba y 5,606 m aguas abajo.

4.2.2 Delimitación de la cuenca.

La delimitación de la cuenca consiste en la identificación de los cauces que contribuyen al drenaje particular de la microcuenca en relación al punto de interés; y al trazo del adecuado parte-aguas en el cual se detalla todo su perímetro.

Para esta investigación la delimitación de la cuenca fue tomada de investigación ya realizadas en El Rio Grande de San Miguel.

4.2.3 Determinación del Drenaje de la cuenca.

El drenaje es la mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar las aguas provenientes de fuertes lluvias.

4.2.3.1 Área de la cuenca (A).

Es la medida de la superficie de la cuenca expresada en kilómetros cuadrados (Km²).

Los instrumentos que se utilizan para medir el área de una cuenca son:

Planímetro, Planímetro analógico, Digitalización.

Área Total de la Cuenca:

$$\text{Área de la Cuenca}=2,350 \text{ Km}^2$$

Área del Subcuenca en Evaluación:

$$\text{Área de la Subcuenca}=1006.58 \text{ Km}^2$$

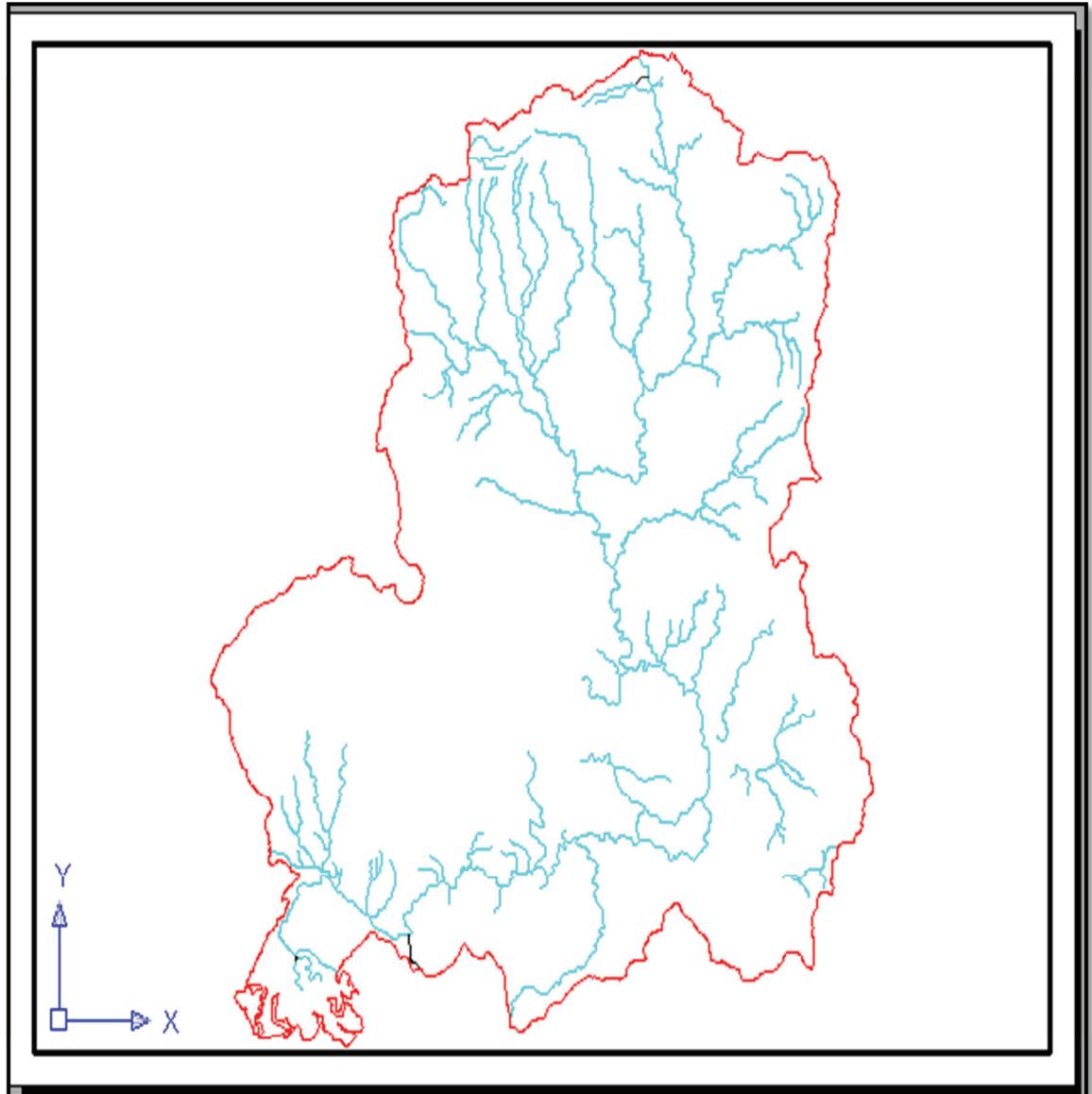


Figura 4.2.3.1 Cuenca del Río Grande de San Miguel, vista AutoCAD Civil 3D 2009.

4.2.3.2 Longitud Perimetral de la cuenca (Lp).

Es la medida de la longitud del contorno o de la línea parte-aguas de la cuenca, expresada en kilómetros (Km.). Los instrumentos mas utilizados para determinar el perímetro de una cuenca son:

- Curvímetro.
- Digitalización.

Longitud Perimetral Total de la Cuenca:

$$\text{Longitud Perimetral de la Cuenca}=322 \text{ Km}$$

Longitud Perimetral de la Subcuenca en Evaluación:

$$\text{Longitud Perimetral de la Subcuenca}=154.73 \text{ Km}$$

4.2.3.3 Densidad de Drenaje ó longitud de corriente (Dd).

Se define como la longitud perimetral de la cuenca por unidad de área.

Se calcula mediante la siguiente formula:

$$Dd = \frac{L_p}{A}$$

Donde:

L_p = Longitud de la subcuenca en evaluación

A = Área de la subcuenca en evaluación.

$$D_d = (154.73 \text{ km}) / (1006.58 \text{ km}^2) = 0.15 \text{ km/km}^2$$

4.2.3.4 Longitud del cauce principal (L_c).

Es la longitud del canal natural o artificial más largo dentro de la cuenca, expresado en kilómetros (Km.).

Longitud del Cauce Total de la Cuenca:

$$L_c = 137 \text{ km}$$

La longitud del cauce principal de la Subcuenca en evaluación tiene un valor de:

$$L_c = 66.65 \text{ km}$$

4.2.3.5 Desnivel de la cuenca (H).

La elevación media es la dirección promedio de la subcuenca con respecto al nivel de la mar, expresada en metros (m). Es de interés conocerla, ya que tiene relación

con la temperatura y la precipitación.

Los valores de las elevaciones son:

- Elevación Mayor: 2,129 m.s.n.m.
- Elevación Menor: 85 m.s.n.m.

Teniendo los datos necesarios se procede al cálculo del desnivel de la cuenca:

$$\text{Desnivel } (H) = \text{Elev. Mayor} - \text{Elev. Menor}$$

$$\text{Desnivel } (H) = 2,129 \text{ m. s. n. m.} - 85 \text{ m. s. n. m.} = 2,044 \text{ m. s. n. m.}$$

$$\text{Desnivel } (H) = 2,044 \text{ m. s. n. m.}$$

4.2.3.6 Pendiente media de la cuenca.

En el terreno de la cuenca se dan una variedad de pendientes, por lo tanto, es necesario obtener un promedio. Para el cálculo de ella existen varios métodos, de los cuales extraemos el que más se acopla a las condiciones de la cuenca; el cual se desarrolla a continuación:

La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividida entre su longitud medida en planta.

$$Pendiente\ media\ de\ la\ subcuenca = \frac{H}{Lp}$$

Sustituyendo

$$Pendiente\ media = \frac{2,044\ m.\ s.\ n.\ m}{66,650\ m} = 0.03067$$

$$Pendiente\ media = 3.07\ \%$$

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FORMA DE LA CUENCA.

4.3.1 Factor de Forma de Horton (Kf).

Es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca, y de su ancho 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 no es más que la relación entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la cuenca. El factor de forma se puede calcular mediante la siguiente ecuación

$$Kf = \frac{Bm}{Lc} = \frac{A/Lc}{Lc}$$

Donde:

Bm = Es el ancho promedio de la subcuenca en Km.

A = Área de la subcuenca en Km².

Lc = Longitud del cauce principal de la subcuenca en Km.

Kf = Factor de forma.

Sustituyendo

$$K_f = \frac{\left(1006.58 \text{ km}^2 / 66.65 \text{ km}\right)}{66.65 \text{ km}}$$

$$K_f = 0.226 \rightarrow \text{Alargada}$$

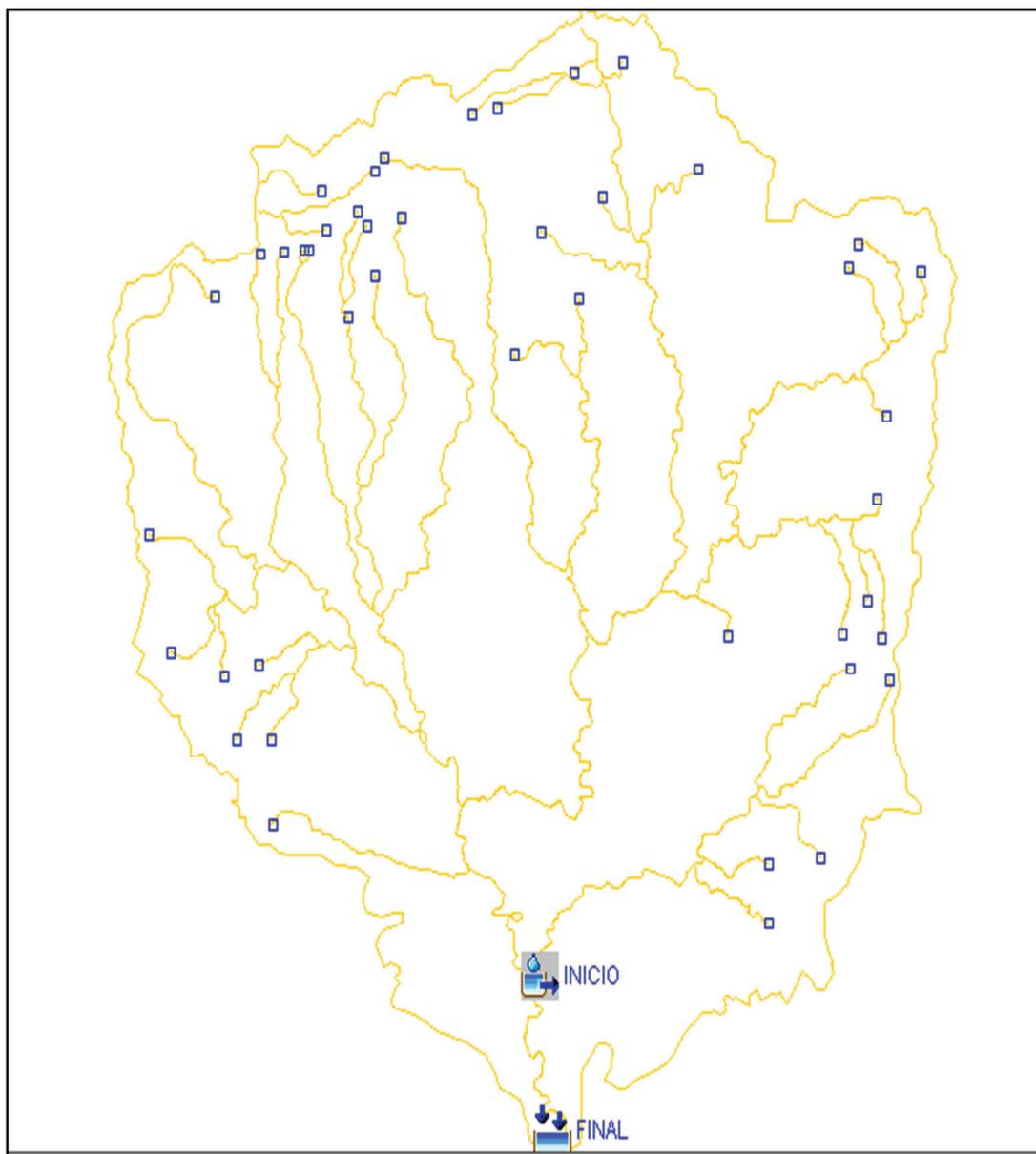


Figura 4.3.1.1 Subcuenca Río Grande de San Miguel, inicio y final de tramo en evaluación; imagen visualizada desde el programa HEC-HMS

4.3.2 Coeficiente de Compacidad (Kc).

El coeficiente de compacidad nos indica el grado de redondez o alargamiento de la cuenca. Es adimensional y sus valores son mayores o iguales a uno (1), y se relaciona únicamente con la forma de cuenca. Si el valor de Kc esta entre 0 y 1 ($0 \leq Kc < 1$) la cuenca tiende a ser redonda y por el contrario si Kc es mayor que 1 ($Kc > 1$) la cuenca tiende a ser alargada. Al relacionar dos o más cuenca cuyos factores de capacidad sean iguales o aproximadamente iguales, se puede pensar que ambas tienen características de forma igualmente irregulares.

Ecuación: $Kc = \frac{Lp}{\sqrt{A}} \times 0.28$ Donde: Lp = Perímetro de la subcuenca en Km

A= Área de la subcuenca en Km²

Sustituyendo

$$K_c = \frac{154.73 \text{ km}}{\sqrt{1,006.58 \text{ km}^2}} \times 0.28$$

$$K_c = 1.37 \rightarrow \text{Alargada}$$

4.4 CALCULO DE CRECIDAS MÁXIMAS DE DISEÑO

El estudio hidrológico tiene como objetivo determinar los caudales máximos de avenida de diseño en el Rio Grande de San Miguel del tramo en estudio.

Estos cálculos de caudales máximos de diseño se calculan a partir de los datos de precipitaciones recogidos y la caracterización de la Cuenca y por los métodos siguientes:

- HEC-HMS, versión 3.2.0
- Análisis frecuencial de crecidas máximas

4.4.1 Tiempo de Concentración (T_c)

Para este tipo de cuencas, el tiempo de concentración puede ser obtenido con la fórmula del PHCA¹² de la siguiente forma:

$$T_c = \left(\frac{0.87L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal de la subcuenca (km)

ΔH = Diferencia de niveles (m)

¹² Basado en el Proyecto Hidrometeorológicos Centroamericano

$$T_c = \left(\frac{0.87(66.65)^3}{2,044} \right)^{0.385}$$

$$T_c = (126.02)^{0.385} = 6.44 \text{ horas}$$

4.4.2 Pérdidas por retención

De acuerdo al uso de la tierra en la cuenca del Río Grande de San Miguel y según la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, el grupo de suelos identificados en el área se estimó que pertenecen al grupo B, los cuales tienen una tasa de infiltración que varía de 3.81 a 7.62 mm por hora. Para el presente trabajo y considerando la dimensión de la cuenca y las condiciones de infiltración de acuerdo a las estimaciones efectuadas en la visita de campo, se adoptó una pérdida inicial de 39.93 mm y una tasa de infiltración de 3.81 mm/hora.

4.4.3 Transformación de la Lluvia de Diseño a Crecida de Diseño

Se utilizó el modelo HEC-HMS para transformar la lluvia de diseño para el período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años a crecida de diseño, mediante el proceso de convolución¹³ de la lluvia de diseño con el Hidrograma Unitario Instantáneo de Clark.

¹³ Es una operación matemática en la cual tomamos dos señales y producimos una tercera De la misma manera que en multiplicación tomamos dos número y producimos un tercero.

Los parámetros que se deben introducir al Modelo HEC-HMS para generar la crecida se presentan en la **Tabla 4.4.4.1**

Parámetros	Descripción
A	Área de la Cuenca
FB	Flujo Base del Rio
LU	Abstracción Inicial y Perdidas por Infiltración
Tc	Tiempo de Concentración de la Cuenca
R	Almacenamiento de la Cuenca
PI	Precipitación en función de la Intensidad de la lluvia seleccionada

Tabla 4.4.4.1 Parámetros utilizados por el modelo HEC-HMS para el cálculo de Caudales

De acuerdo al informe realizado por el MARN sobre Evaluacion de Daños y Perdidas Ocasionados por la Depresion Tropical 12E en Octubre de 2011: “La depresión tropical 12E es el evento mas grande del que se tenga registro en el país¹⁴”

¹⁴ Cita Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Herman Rosa Chavez

Eventos Hidrometeorológicos Extremos que impactaron a El Salvador desde la década de los Sesenta ordenados según máximos acumulados

Evento	Origen	Mes	Año	Duración (días)	Promedio* Nacional (mm)	Máximo acumulado (mm)
DT12E y Sistema Depresionario	Pacífico	Octubre	2011	10	762	1513
Mitch	Atlántico	Octubre	1998	7	472	861
Stan	Atlántico	Octubre	2005	6	424	805
Paul	Pacífico	Septiembre	1982	4	276	676
Agatha	Pacífico	Mayo	2010	8	274	672
Matthew	Atlántico	Septiembre	2010	8	325	603
Andres	Pacífico	Julio	1997	5	289	530
Baja E96/IDA	Pacífico	Noviembre	2009	3	248	483
FIFI	Atlántico	Septiembre	1974	4	275	461
Adrian	Pacífico	Mayo	2005	3	195	418
Gert	Atlántico	Septiembre	1993	4	198	390
Alex	Atlántico	Junio	2010	5	180	375
Cesar	Atlántico	Julio	1998	5	199	365
Francelia	Atlántico	Septiembre	1969	4	210	364
Joan	Atlántico	Octubre	1988	5	178	331
Isidore	Atlántico	Septiembre	2002	5	160	285

Fuente: Informe Depresión Tropical 12E, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 31 de Octubre 2011.

Tabla 4.4.4.2 Eventos Meteorológicos en los últimos años

Se tomara como lluvia de diseño La Depresión Tropical 12E contando con un registro de precipitación máximo acumulado 1513 mm para todo su evento y superando al Huracán Mitch de 861 mm con un aumento del 75% y el promedio acumulado de lluvia en todo el territorio (762mm) fue también un 61% mas alto que el Mitch (472 mm).

4.5 APLICACIÓN DEL MODELO *HEC-HMS*

HEC-HMS ha sido diseñado para simular el proceso de precipitación escurriente de cuencas con drenaje dendrítico. El modelo ha sido concebido para ser aplicado a un gran rango de situaciones geográficas y resolver diversos problemas. Esto incluye desde disponibilidad de agua y problemas de inundaciones para grandes cuencas hasta el drenaje urbano de pequeñas áreas. Los hidrogramas producidos pueden ser utilizados directamente o conjuntamente con otros programas para el estudio de problemas relacionados con disponibilidad de agua, drenaje urbano, predicción de inundaciones, impacto de urbanización futura, diseño de aliviaderos para represas, reducción de daños por inundaciones, legislación sobre planicies de inundación y operación de sistemas.

El programa contiene una plataforma de trabajo integral que comprende una base de datos, facilidades para entrada de datos, herramientas computacionales y de presentación de resultados. La interfase gráfica permite el acceso a los diferentes componentes del modelo para su utilización y cambio de parámetros.

4.5.1 Mapa de la Cuenca

Se introdujo el mapa de la cuenca esta no posee ningún efecto real sobre la simulación a realizar, pero se convierte en una ayuda grafica muy importante de representación de la cuenca; posteriormente se pasa a agregar la subcuenca que es la

zona de estudio.

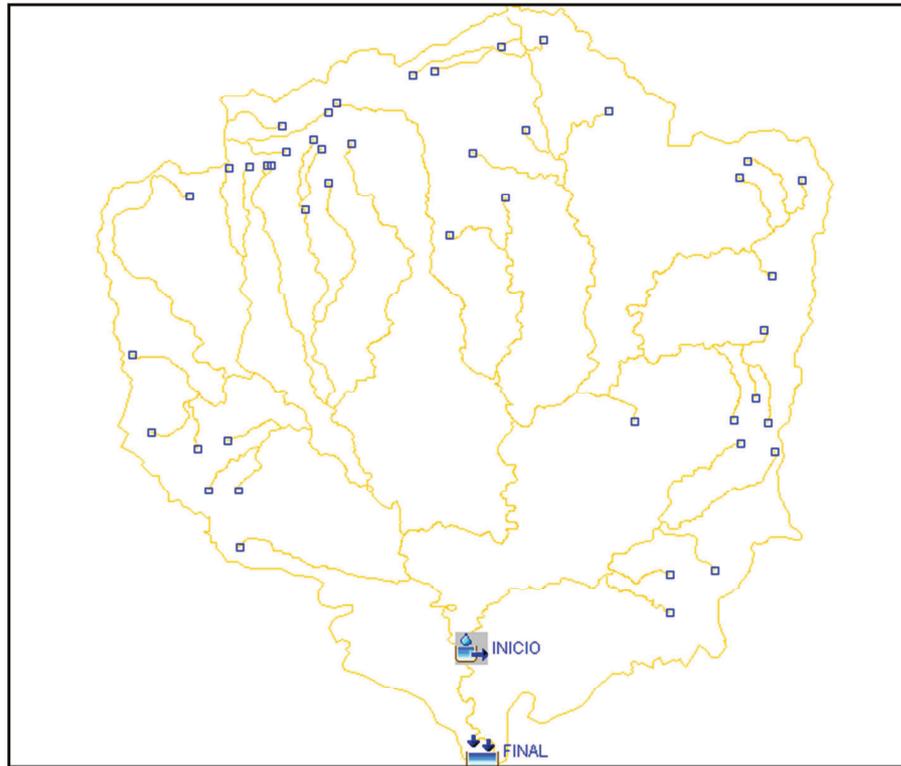


Figura 4.5.1.1 Subcuenca Río Grande de San Miguel, Tramo Evaluado

4.5.2 Fases del calculo que se realiza en HEC- HMS

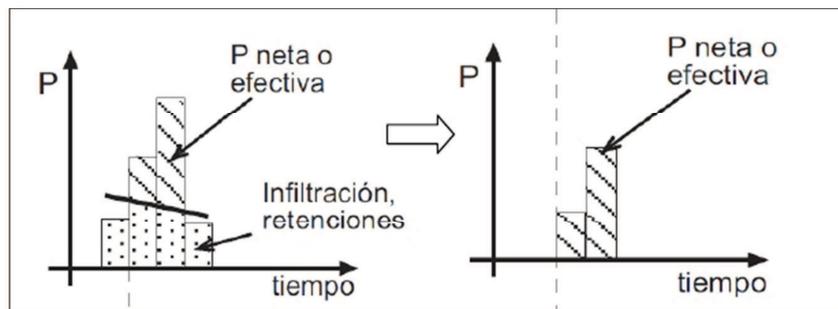
Los datos para realizar la modelación del Rio Grande de San Miguel será introduciendo el área de la cuenca a evaluar:

$$\text{Area} = 1,006.58 \text{ km}^2$$

4.5.2.1 Loss Method

El método usado para el cálculo de pérdidas de precipitación total es el SCS^{15}

Curve Number



Fuente: Aplicación del Hec-Hms para estimación de caudales de la Cuenca Monte Tarija, República de Bolivia.

Figura 4.5.2.1.1 Separación de la lluvia neta o efectiva (Loss Method)

Calcula que parte de la precipitación caída va a generar escorrentías directa, el cual es el resultado de descontar de la precipitación, el agua interceptada por la vegetación, infiltrada en el suelo, almacenada en la superficie del mismo, evaporada desde diferentes superficies o transpirada a través de las plantas.

¹⁵ SOIL CONSERVATION SERVICE desarrollado en 1972 como un método para calcular las abstracción de la precipitación de una tormenta

En la pestaña de *Loss Method* introducimos los siguientes parámetros:

✓ **CN, Curve Number**

El factor CN o curva número depende del tipo de suelo, de la naturaleza y cobertura del suelo y las condiciones previas de humedad.

Para la definición de los tipos de suelos, el SCS distingue entre infiltración, proceso por el cual el agua penetra al suelo, y transmisión (transmisibilidad), que corresponde al movimiento gravitacional del agua en el suelo, el cual es controlado por las características de las distintas capas de suelo.

Se distinguen 4 grupos de suelos:

GRUPO	CARACTERISTICAS
A (bajo potencial de escorrentía)	Suelos que tienen una alta tasa de infiltración aun estando completamente húmedos
B	Suelos que tienen tasas moderadas de infiltración cuando están totalmente húmedos. Consisten principalmente en suelos de moderada capacidad de drenaje y textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa.
C	Suelos que tiene una baja tasa de infiltración cuando están húmedos.
D (alto potencial de escorrentía)	Suelos que tienen tasas muy bajas de infiltración.

Fuente: Servicio Nacional de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS)

Tabla 4.5.2.1.1 Tipos de Suelos y sus Características

Junto con esta clasificación de 4 tipos de suelos, el SCS distingue las condiciones iniciales de humedad del suelo. La cantidad de precipitación en un periodo de 5 a 30 días previos a la tormenta particular en estudio, define las condiciones iniciales del suelo. En general, mientras mayor es la precipitación previa, también mayor es la escorrentía que

resulta de la tormenta de diseño porque el suelo está saturado. Dadas las dificultades prácticas de precisar las condiciones iniciales, el método del SCS distingue tres casos:

- **AMC-I:** los suelos están secos. No es una condición recomendable de suponer para el cálculo de hidrogramas de crecidas.

- **AMC-II:** se presenta una situación promedio (ni seco, ni saturado). Recomendable para el cálculo de crecidas anuales. Este es el utilizado como condición de base en el desarrollo del presente estudio.

- **AMC-III:** corresponde al caso de alta precipitación antecedente, de modo que el suelo está saturado.

La Tabla 4.5.2.1.2, presenta una matriz que consta de 4 columnas: uso del suelo; tratamiento del suelo; condición hidrológica para la infiltración y tipo de suelo (A, B, C o D). En ella se supone que la condición antecedente a la tormenta es AMC-II y ha sido tomada directamente del SCS¹⁶.

¹⁶ Soil Conservation Service

USO DEL SUELO O COBERTURA	PRACTICA AGRICOLA	CONDICION HIDROLOGICA PARA INFILTRACION	GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO			
			A	B	C	D
Siembras Grano Pequeño	SR	Baja	65	76	84	88
	SR	Alta	63	75	83	87
	C	Baja	63	74	82	85
	C	Alta	61	73	81	84
	C&T	Baja	61	72	79	82
	C&T	Alta	59	70	78	81
Legumbres o praderas de rotación	SR	Baja	66	77	85	89
	SR	Alta	58	72	81	85
	C	Baja	64	75	83	85
	C	Alta	55	69	78	83
	C&T	Baja	63	73	80	83
	C&T	Alta	51	67	76	80
Pastizales		Baja	68	79	86	89
		Media	49	69	79	84
		Alta	39	61	74	80
Praderas o vegas (permanentes)	C	Baja	47	67	81	88
	C	Media	25	59	75	83
	C	Alta	6	35	70	79
			30	58	71	78
Bosques		Baja	45	66	77	83
		Media	36	60	73	79
		Alta	25	55	70	77
Granjas			59	74	82	86
Camino (ripio o superficie dura)			72	82	87	89
			74	84	90	92

Fuente: Servicio Nacional de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS)

Tabla 4.5.2.1.2 Curva Número (CN) para Distintos Suelos y Condiciones Hidrológicas

SR = Hileras rectas

T = Terrazas

C = Por curvas de nivel

C&T = Combinación de C y T

De esta manera se determina un grupo de suelo hidrológico *D*, un suelo de suelo o cobertura *praderas o vega permanente* y con una condición de infiltración **Baja** concluyendo un **CN de 88**

✓ **Perdida Inicial**

Del análisis de resultados de experimentos en cuencas pequeñas el SCS, desarrollo una relación empírica para determinar las pérdidas iniciales:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

$$S = \frac{1000}{88} - 10 = 7.86 * 2.54 * 10 = \mathbf{34.64}$$

$$Ia = 0.2 * S = \mathbf{6.93 \text{ mm}}$$

✓ **Porcentaje de Infiltración**

La cuenca del Rio Grande de San Miguel cuenta con un porcentaje de infiltración de 23% en toda su área.

El análisis de la infiltración en el ciclo hidrológico es de importancia básica en la

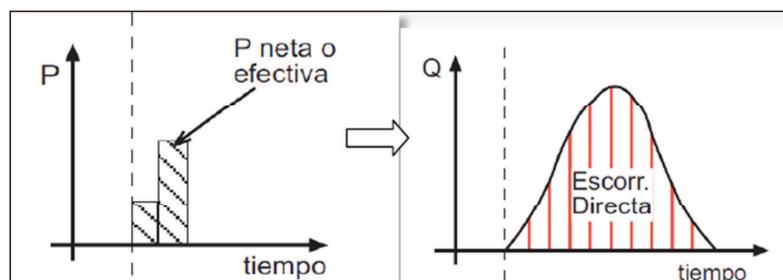
relación entre la precipitación y el escurrimiento, por lo que a continuación se introducen los conceptos que la definen, los factores que la afectan, los métodos que se usan para medirla y el cálculo de dicha componente en grandes cuencas.

Definición. La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

Capacidad de infiltración. Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo.

Factores que afectan la capacidad de infiltración. Influyen en el proceso de infiltración: entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable, y características del fluido.

4.5.2.2 Transform Method



Fuente: Aplicación del Hec-Hms para estimación de caudales de la Cuenca Monte Tarija, República de Bolivia.

Figura 4.5.2.2.1 Transformar precipitación neta a escorrentía directa (Transform Method)

La parte más importante del modelo de simulación del Hec-Hms, lo constituyen los modelos para calcular la escorrentía directa producida por la precipitación neta, para esto Hec-Hms usamos el modelo:

✓ Clark Unit Hydrograph (hidrograma unitario sintético de Clark)

Clark desarrolló el método en 1943 y en su planteamiento original era para cuencas instrumentadas y en los 80's la U.S. Army Corps of Engineers lo llevaron a método sintético para generar H.U.

Se trata de un método de Hidrograma Unitario Sintético utilizado cuando no se dispone de información o con información escasa. El hidrograma unitario no se estima

basándose en los hidrogramas observados y disponibles para una cuenca determinada; en su lugar, se construye una curva de tiempo de viaje contra el área. La traslación del flujo se realiza mediante un embalse lineal que tiene en cuenta la atenuación del flujo a lo largo del avance por la cuenca.

El tiempo de concentración se define como el tiempo de viaje máximo en la cuenca y es utilizado para la traslación del flujo por el cauce.

El coeficiente de almacenamiento corresponde a un embalse lineal. Muchos estudios han encontrado que el coeficiente de almacenamiento dividido por la suma de los tiempos de concentración es una constante sobre regiones homogéneas.

✓ **Parámetros necesarios**

- *Tiempo de concentración en horas, T_c*

$$T_c = 6.44 \text{ Horas}$$

- *Coeficiente de almacenamiento en horas, R*

De acuerdo a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica junto con el Servicio Nacional de Meteorología de Estados Unidos el coeficiente de almacenamiento se puede adoptar como:

$$K = 0.5 \text{ a } 0.8T_c$$

Tomando un promedio $K = 4.19 \text{ Horas}$

✓ ***Datos de Precipitación***

Para la realización de nuestro hidrogramas utilizamos los datos de Precipitación de la Depresión Tropical 12E transcurrida del 11 de Octubre al 19 de Octubre de 2011.

<i>Fecha</i>	<i>Precipitaciones Instantaneas (mm)</i>
11 de octubre	5.04
12 de octubre	33.46
13 de octubre	46.49
14 de octubre	38.87
15 de octubre	106.94
16 de octubre	67.04
17 de octubre	23.69
18 de octubre	23.88
19 de octubre	42.59

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, Campo Depresionarios sobre Centro América, Octubre de 2011.

Tabla 4.5.2.2.1 Datos de Precipitación Depresión Tropical 12E

Ingresamos los Valores de la tormenta de Diseño seleccionada para los Diferentes Periodos de Retorno

Para calcular las precipitación de cada periodo de retorno se realizo mediante la Distribucion de Gumbel.

- **Distribución de Gumbel**

Este método estima valores máximos de una variable asumiendo que estos valores son independientes entre sí. Este método es adecuado cuando se utilizan como datos las descargas máximas instantáneas, mensuales y anuales en un punto de control de una vertiente o río.

Periodo de retorno	11 de octubre	12 de octubre	13 de octubre	14 de octubre	15 de octubre	16 de octubre	17 de octubre	18 de octubre	19 de octubre
5 años	4.7	30.5	48.3	45.1	94.8	97.9	40.7	34.8	45.4
10 años	5.2	36.9	53	49.3	101.3	104.8	45	38	46.9
25 años	6.8	43.2	58.9	55.5	108.1	112.5	51.6	46.2	52.5
50 años	7.5	48.2	64.1	60	114	117.8	56.4	52.1	59.7
100 años	8.2	56	67.5	64.7	121	124.1	60.9	57.5	62.2

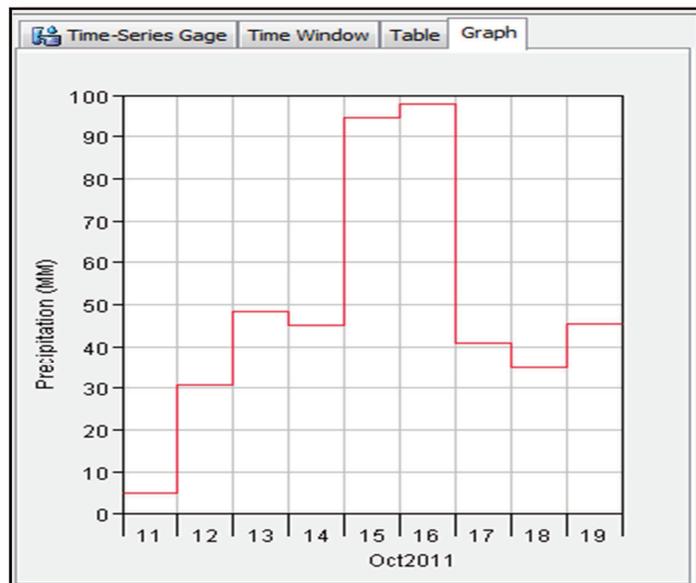
Tabla 4.5.2.2.2 Intensidades para cada Período de Retorno

RESULTADOS DE SIMULACION

➤ *Periodo de Retorno T=5 Años*

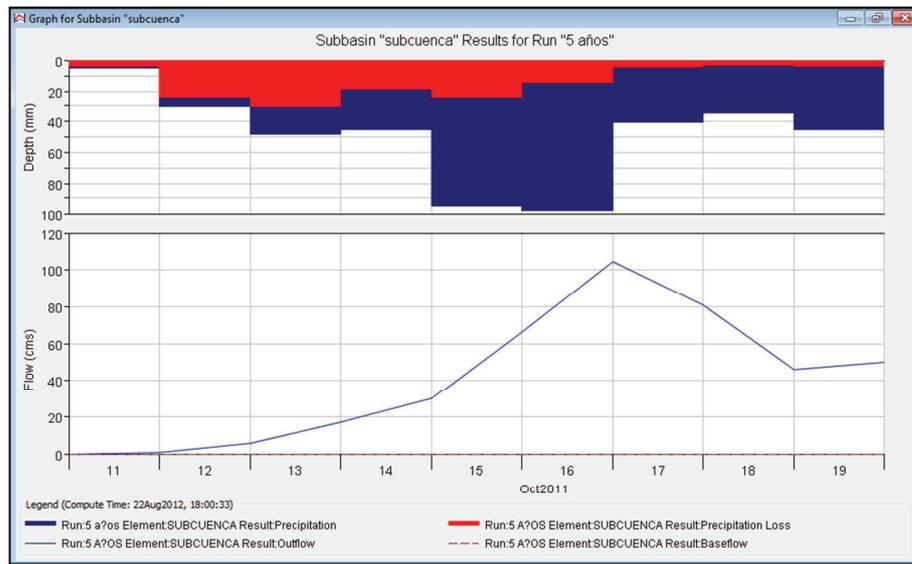
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
11Oct2011, 00:00	
12Oct2011, 00:00	4.7
13Oct2011, 00:00	30.5
14Oct2011, 00:00	48.3
15Oct2011, 00:00	45.1
16Oct2011, 00:00	94.8
17Oct2011, 00:00	97.9
18Oct2011, 00:00	40.7
19Oct2011, 00:00	34.8
20Oct2011, 00:00	45.4

Tabla 4.5.2.2.3 Precipitaciones para un Período de Retorno de 5 Años



Gráfica 4.5.2.2.1 Precipitaciones para un Período de Retorno de 5 años

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.



Gráfica 4.5.2.2.2 Crecida Máxima de Diseño para un Período de Retorno de 5 Años

Summary Results for Subbasin "subcuenca"			
Project: CAUDAL MAXIMO			
Simulation Run: 5 años Subbasin: subcuenca			
Start of Run: 11Oct2011, 00:00	Basin Model: rio grande		
End of Run: 20Oct2011, 00:00	Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 22Aug2012, 18:00:33	Control Specifications: Control 1		
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge : 104.5 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 17Oct2011, 00:00		
Total Precipitation : 442.20 (MM)	Total Direct Runoff : 277.67 (MM)		
Total Loss : 125.21 (MM)	Total Baseflow : 0.00 (MM)		
Total Excess : 316.99 (MM)	Discharge : 277.67 (MM)		

Tabla 4.5.2.2.4 Resumen de Cálculo de Caudal Máximo para un Período de Retorno de 5 años

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

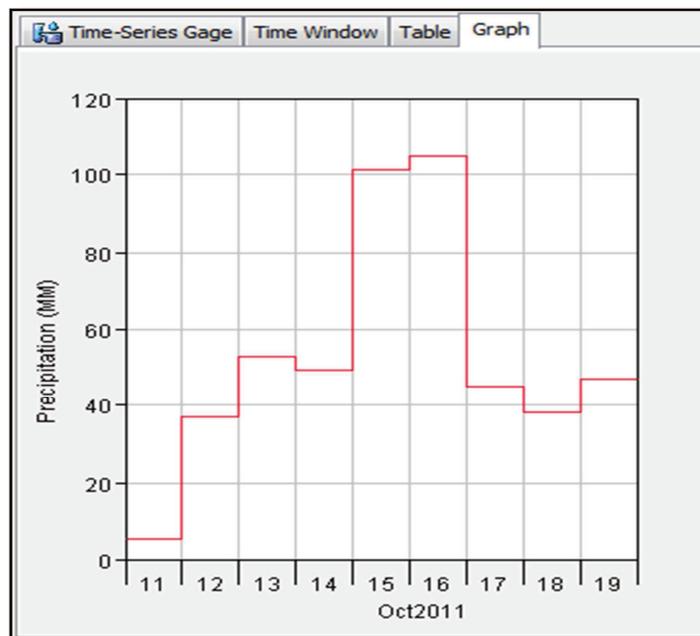
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
11Oct2011	00:00				0.0	0.0	0.0
12Oct2011	00:00	4.70	3.62	1.08	0.7	0.0	0.7
13Oct2011	00:00	30.50	23.48	7.02	5.5	0.0	5.5
14Oct2011	00:00	48.30	30.55	17.75	16.7	0.0	16.7
15Oct2011	00:00	45.10	18.54	26.56	29.9	0.0	29.9
16Oct2011	00:00	94.80	23.82	70.98	65.9	0.0	65.9
17Oct2011	00:00	97.90	14.25	83.65	104.5	0.0	104.5
18Oct2011	00:00	40.70	4.28	36.42	81.1	0.0	81.1
19Oct2011	00:00	34.80	3.14	31.66	46.0	0.0	46.0
20Oct2011	00:00	45.40	3.53	41.87	49.7	0.0	49.7

Tabla 4.5.2.2.5 Resultado de Series de Tiempo para la Simulación para un Período de Retorno de 5 Años

➤ *Periodo de Retorno T=10 Años*

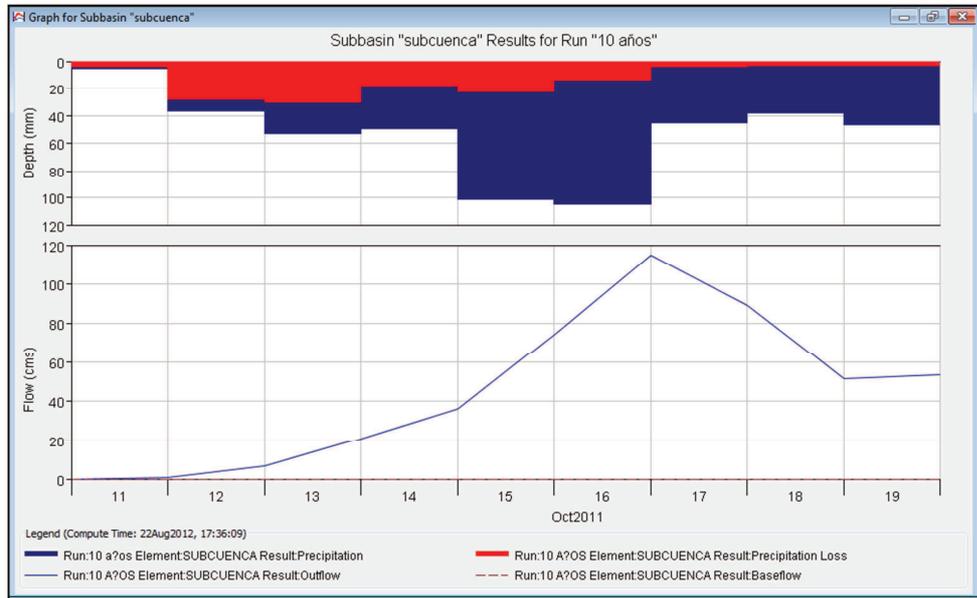
Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
11Oct2011, 00:00	
12Oct2011, 00:00	5.2
13Oct2011, 00:00	36.9
14Oct2011, 00:00	53.0
15Oct2011, 00:00	49.3
16Oct2011, 00:00	101.3
17Oct2011, 00:00	104.8
18Oct2011, 00:00	45.0
19Oct2011, 00:00	38.0
20Oct2011, 00:00	46.9

Tabla 4.5.2.2.6 Precipitaciones para un Período de Retorno de 10 Años



Gráfica 4.5.2.2.3 Precipitaciones para un Período de Retorno de 10 Años

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.



Gráfica 4.5.2.2.4 Crecida Máxima de Diseño para un Período de Retorno de 10 Años

Summary Results for Subbasin "subcuenca"			
Project: CAUDAL MAXIMO			
Simulation Run: 10 años Subbasin: subcuenca			
Start of Run:	11Oct2011, 00:00	Basin Model:	rio grande
End of Run:	20Oct2011, 00:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	22Aug2012, 17:36:09	Control Specifications:	Control 1
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	114.9 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	17Oct2011, 00:00
Total Precipitation :	480.40 (MM)	Total Direct Runoff :	311.10 (MM)
Total Loss :	127.78 (MM)	Total Baseflow :	0.00 (MM)
Total Excess :	352.62 (MM)	Discharge :	311.10 (MM)

Tabla 4.5.2.2.7 Resumen de Cálculo de Caudal Máximo para un Período de Retorno de 10 Años

Time-Series Results for Subbasin "subcuenca"

Project: CAUDAL MAXIMO
Simulation Run: 10 años Subbasin: subcuenca

Start of Run: 11Oct2011, 00:00 Basin Model: rio grande
End of Run: 20Oct2011, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22Aug2012, 17:36:09 Control Specifications: Control 1

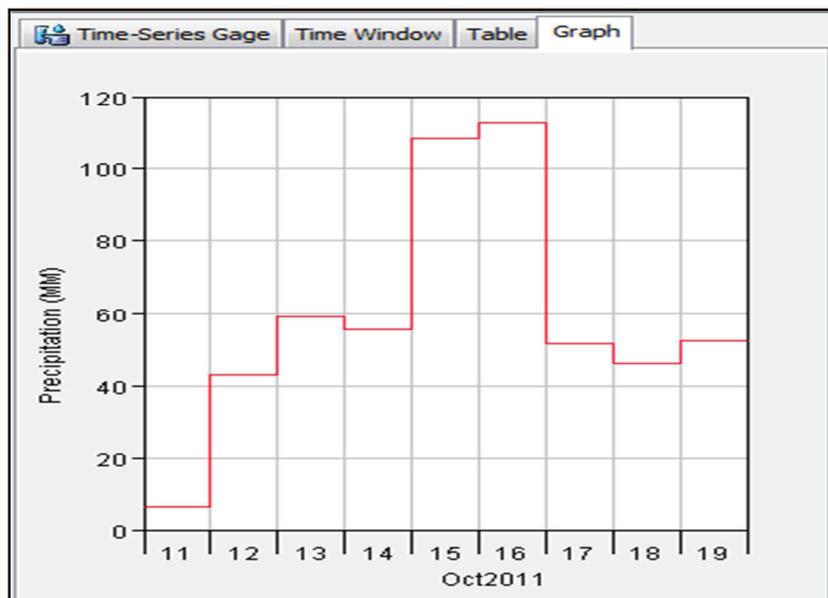
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direc... (M3/S)	Base... (M3/S)	Total... (M3/S)
11Oct2011	00:00				0.0	0.0	0.0
12Oct2011	00:00	5.20	4.00	1.20	0.8	0.0	0.8
13Oct2011	00:00	36.90	28.39	8.51	6.6	0.0	6.6
14Oct2011	00:00	53.00	30.71	22.29	20.8	0.0	20.8
15Oct2011	00:00	49.30	18.17	31.13	36.1	0.0	36.1
16Oct2011	00:00	101.30	22.62	78.68	74.2	0.0	74.2
17Oct2011	00:00	104.80	13.50	91.30	114.9	0.0	114.9
18Oct2011	00:00	45.00	4.17	40.83	89.3	0.0	89.3
19Oct2011	00:00	38.00	3.01	34.99	51.2	0.0	51.2
20Oct2011	00:00	46.90	3.20	43.70	53.2	0.0	53.2

Tabla 4.5.2.2.8 Resultado de Series de Tiempo para la Simulación para un Periodo de Retorno de 10 Años

➤ *Periodo de Retorno T=25 Años*

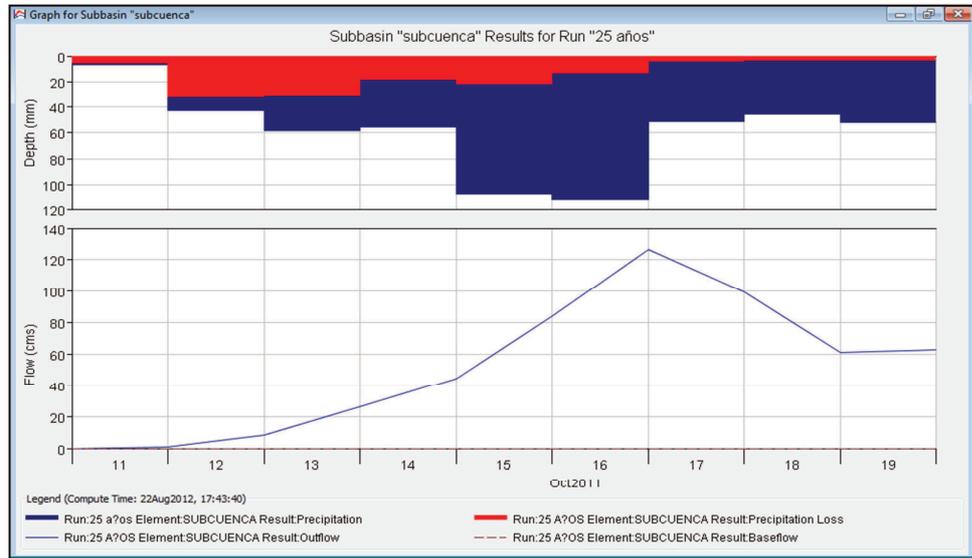
Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
11Oct2011, 00:00	
12Oct2011, 00:00	6.8
13Oct2011, 00:00	43.2
14Oct2011, 00:00	58.9
15Oct2011, 00:00	55.5
16Oct2011, 00:00	108.1
17Oct2011, 00:00	112.5
18Oct2011, 00:00	51.6
19Oct2011, 00:00	46.2
20Oct2011, 00:00	52.5

Tabla 4.5.2.2.9 Precipitaciones para un Periodo de Retorno de 25 Años



Gráfica 4.5.2.2.5 Precipitaciones para un Periodo de Retorno de 25 Años

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.



Gráfica 4.5.2.2.6 Crecida Máxima de Diseño para un Período de Retorno de 25 Años

Summary Results for Subbasin "subcuenca"	
Project: CAUDAL MAXIMO	
Simulation Run: 25 años Subbasin: subcuenca	
Start of Run: 11Oct2011, 00:00	Basin Model: rio grande
End of Run: 20Oct2011, 00:00	Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22Aug2012, 17:43:40	Control Specifications: Control 1
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge : 126.3 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 17Oct2011, 00:00
Total Precipitation : 535.30 (MM)	Total Direct Runoff : 356.47 (MM)
Total Loss : 130.95 (MM)	Total Baseflow : 0.00 (MM)
Total Excess : 404.35 (MM)	Discharge : 356.47 (MM)

Tabla 4.5.2.2.10 Resumen de Cálculo de Caudal Máximo para un Período de Retorno de 25 Años

Time-Series Results for Subbasin "subcuenca"

Project: CAUDAL MAXIMO
Simulation Run: 25 años Subbasin: subcuenca
Start of Run: 11Oct2011, 00:00 Basin Model: rio grande
End of Run: 20Oct2011, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22Aug2012, 17:43:40 Control Specifications: Control 1

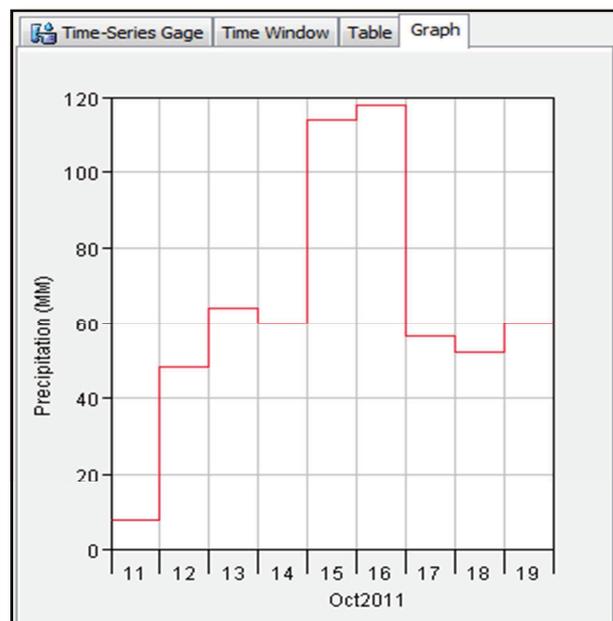
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
11Oct2011	00:00				0.0	0.0	0.0
12Oct2011	00:00	6.80	5.24	1.56	1.1	0.0	1.1
13Oct2011	00:00	43.20	32.85	10.35	8.1	0.0	8.1
14Oct2011	00:00	58.90	30.85	28.05	26.0	0.0	26.0
15Oct2011	00:00	55.50	18.02	37.48	44.3	0.0	44.3
16Oct2011	00:00	108.10	21.06	87.04	84.1	0.0	84.1
17Oct2011	00:00	112.50	12.65	99.85	126.3	0.0	126.3
18Oct2011	00:00	51.60	4.14	47.46	99.5	0.0	99.5
19Oct2011	00:00	46.20	3.12	43.08	61.2	0.0	61.2
20Oct2011	00:00	52.50	3.03	49.47	62.5	0.0	62.5

Tabla 4.5.2.2.11 Resultados de Series de Tiempo para la Simulación para un Período de Retorno de 25 Años

➤ *Periodo de Retorno T=50 Años*

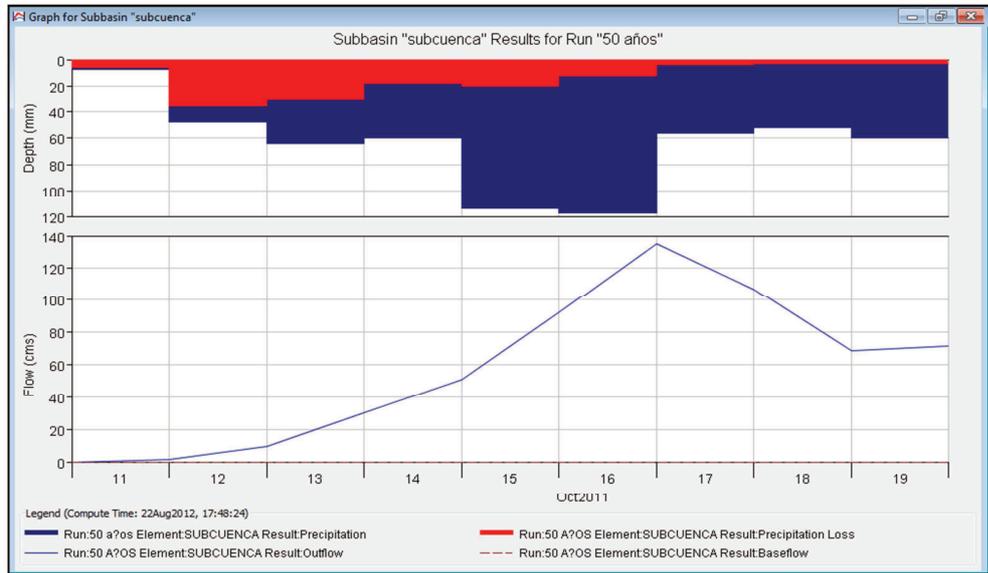
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
11Oct2011, 00:00	
12Oct2011, 00:00	7.5
13Oct2011, 00:00	48.2
14Oct2011, 00:00	64.1
15Oct2011, 00:00	60.0
16Oct2011, 00:00	114.0
17Oct2011, 00:00	117.8
18Oct2011, 00:00	56.4
19Oct2011, 00:00	52.1
20Oct2011, 00:00	59.7

Tabla 4.5.2.2.12 Precipitaciones para un Periodo de Retorno de 50 Años



Gráfica 4.5.2.2.7 Precipitaciones para un Periodo de Retorno de 50 Años

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.



Gráfica 4.5.2.2.8 Crecida Máxima de Diseño para un Período de Retorno de 50 Años

Summary Results for Subbasin "subcuenca"	
Project: CAUDAL MAXIMO	
Simulation Run: 50 años Subbasin: subcuenca	
Start of Run: 11Oct2011, 00:00	Basin Model: rio grande
End of Run: 20Oct2011, 00:00	Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22Aug2012, 17:48:24	Control Specifications: Control 1
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge : 135.0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 17Oct2011, 00:00
Total Precipitation : 579.80 (MM)	Total Direct Runoff : 391.90 (MM)
Total Loss : 133.17 (MM)	Total Baseflow : 0.00 (MM)
Total Excess : 446.63 (MM)	Discharge : 391.90 (MM)

Tabla 4.5.2.2.13 Resumen de Cálculo de Caudal Máximo para un Período de Retorno de 50 Años

Project: CAUDAL MAXIMO
Simulation Run: 50 años Subbasin: subcuenca
Start of Run: 11Oct2011, 00:00 Basin Model: rio grande
End of Run: 20Oct2011, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22Aug2012, 17:48:24 Control Specifications: Control 1

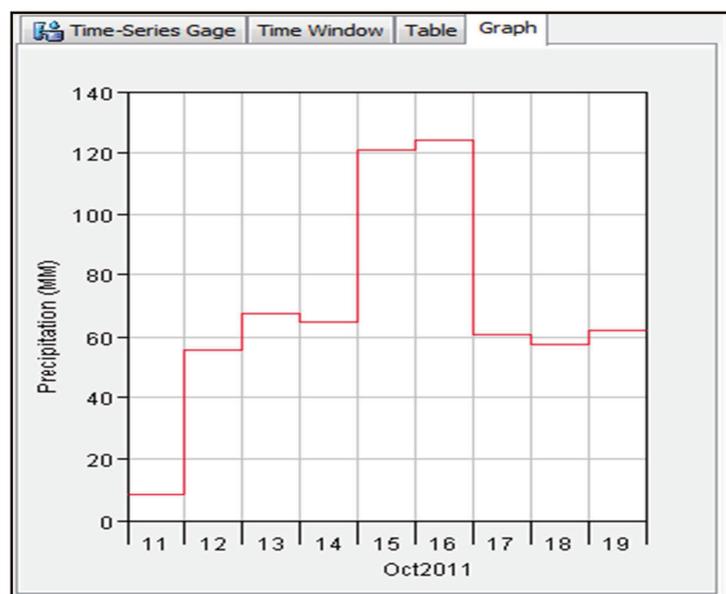
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
11Oct2011	00:00				0.0	0.0	0.0
12Oct2011	00:00	7.50	5.78	1.72	1.2	0.0	1.2
13Oct2011	00:00	48.20	36.12	12.08	9.3	0.0	9.3
14Oct2011	00:00	64.10	31.19	32.91	30.4	0.0	30.4
15Oct2011	00:00	60.00	17.75	42.25	50.8	0.0	50.8
16Oct2011	00:00	114.00	20.08	93.92	92.0	0.0	92.0
17Oct2011	00:00	117.80	11.98	105.82	135.0	0.0	135.0
18Oct2011	00:00	56.40	4.08	52.32	106.9	0.0	106.9
19Oct2011	00:00	52.10	3.15	48.95	68.4	0.0	68.4
20Oct2011	00:00	59.70	3.04	56.66	71.4	0.0	71.4

Tabla 4.5.2.2.14 Resultado de Series de Tiempo para la Simulación para un Período de Retorno de 50 Años

➤ *Periodo de Retorno T=100 Años*

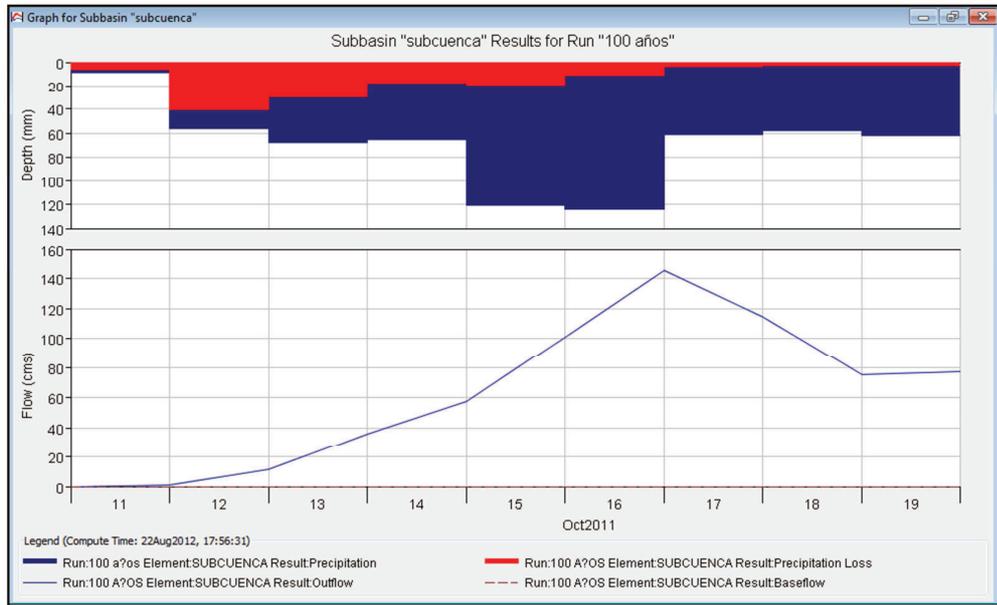
Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
11Oct2011, 00:00	
12Oct2011, 00:00	8.2
13Oct2011, 00:00	56
14Oct2011, 00:00	67.5
15Oct2011, 00:00	64.7
16Oct2011, 00:00	121
17Oct2011, 00:00	124.1
18Oct2011, 00:00	60.9
19Oct2011, 00:00	57.5
20Oct2011, 00:00	62.2

Tabla 4.5.2.2.15 Precipitaciones para un Período de Retorno de 100 Años



Gráfica 4.5.2.2.9 Precipitaciones para un Período de Retorno de 100 Años

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.



Gráfica 4.5.2.2.10 Crecida Máxima de Diseño para un Período de Retorno de 100 Años

Summary Results for Subbasin "subcuenca"	
Project: CAUDAL MAXIMO	
Simulation Run: 100 años Subbasin: subcuenca	
Start of Run: 11Oct2011, 00:00	Basin Model: rio grande
End of Run: 20Oct2011, 00:00	Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22Aug2012, 17:56:31	Control Specifications: Control 1
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge : 145.0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 17Oct2011, 00:00
Total Precipitation : 622.10 (MM)	Total Direct Runoff : 428.93 (MM)
Total Loss : 135.04 (MM)	Total Baseflow : 0.00 (MM)
Total Excess : 487.06 (MM)	Discharge : 428.93 (MM)

Tabla 4.5.2.2.16 Resumen de Cálculo de Caudal Máximo para un Período de Retorno de 100 Años

Time-Series Results for Subbasin "subcuenca"

Project: CAUDAL MAXIMO
Simulation Run: 100 años Subbasin: subcuenca
Start of Run: 11Oct2011, 00:00 Basin Model: rio grande
End of Run: 20Oct2011, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 22Aug2012, 17:56:31 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
11Oct2011	00:00				0.0	0.0	0.0
12Oct2011	00:00	8.20	6.31	1.89	1.3	0.0	1.3
13Oct2011	00:00	56.00	40.86	15.14	11.5	0.0	11.5
14Oct2011	00:00	67.50	30.06	37.44	35.5	0.0	35.5
15Oct2011	00:00	64.70	17.37	47.33	57.3	0.0	57.3
16Oct2011	00:00	121.00	19.20	101.80	100.8	0.0	100.8
17Oct2011	00:00	124.10	11.34	112.76	145.0	0.0	145.0
18Oct2011	00:00	60.90	3.96	56.94	114.7	0.0	114.7
19Oct2011	00:00	57.50	3.10	54.40	75.2	0.0	75.2
20Oct2011	00:00	62.20	2.82	59.38	76.9	0.0	76.9

Tabla 4.5.2.2.17 Resultado de Series de Tiempo para la Simulación para un Período de Retorno de 100 Años

4.5.3 Hidrograma Unitario Triangular

El más sencillo de los hidrogramas unitarios es el **Hidrograma Unitario Triangular**, desarrollado por el **Soil Conservation Service** del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Se aplica a cuencas pequeñas y homogéneas y produce resultados aceptables en el cálculo de caudales de creciente generados por escorrentía. La lluvia unitaria que se aplica al hidrograma es 1 mm de lluvia de exceso.

Las componentes del hidrograma unitario triangular se deducen de las características morfométricas de la cuenca.

El hidrograma unitario (HU) de una cuenca, se define como el hidrograma de escurrimiento debido a una precipitación con altura en exceso unitaria (un mm, un cm, una pulg, etc.), repartida uniformemente sobre la cuenca, con una intensidad constante durante un período específico de tiempo (duración en exceso de).

El hidrograma unitario, es un hidrograma típico de la cuenca. Como las características fisiográficas de la cuenca (área, forma, pendiente, etc.) son relativamente constantes, cabe esperar una considerable similitud en la forma de los hidrogramas, correspondientes a precipitaciones de características similares (duración, intensidad, distribución, cantidad de escurrimiento, etc.).

Con los datos obtenidos de la cuenca se crea el siguiente hidrograma unitario:

Lamina de Lluvia: $L=IxD$

Lluvia Efectiva: $Lluv. Efec=DxIxCoeficiente Escorrentia \times 0.90$

Volumen de Escorrentía: $V=Area\ de\ la\ Cuenca \times (Lluvia\ efectiva/1000)$

Tiempo Pico: $tp=(D/2)+ (0.60 \times tc)$

Tiempo Base: $tb=2.67tp$

Caudal Pico: $Qp=2V/tb$

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Periodo de Retorno T	Duración de lluvia D (día)	Intensidad de lluvia I (mm/día)	Area de la cuenca A(m ²)	Coefficiente de Escorrentia	Lamina de lluvia L (mm)	Lluvia efectiva (mm)	Volumen de escorrentia directa V(m ³)	Tiempo pico tp (día)	Tiempo base tb (día)	Caudal pico Qp(m ³ /s)
5 años	1	4.70	116770000.00	0.52	4.70	2.20	256847.29	0.86	2.31	2.58
5 años	2	30.50	116770000.00	0.52	61.00	28.55	3333549.96	1.36	3.64	21.19
5 años	3	48.30	116770000.00	0.52	144.90	67.81	7918547.36	1.86	4.98	36.83
5 años	4	45.10	116770000.00	0.52	180.40	84.43	9858564.14	2.36	6.31	36.15
5 años	5	94.80	116770000.00	0.52	474.00	221.83	25903322.64	2.86	7.65	78.41
5 años	6	97.90	116770000.00	0.52	587.40	274.90	32100446.66	3.36	8.98	82.72
5 años	7	40.70	116770000.00	0.52	284.90	133.33	15569317.76	3.86	10.32	34.93
5 años	8	34.80	116770000.00	0.52	278.40	130.29	15214103.42	4.36	11.65	30.22
5 años	9	45.40	116770000.00	0.52	408.60	191.22	22329319.90	4.86	12.99	39.80
10 años	1	5.20	116770000.00	0.52	5.20	2.43	284171.47	0.86	2.31	2.85
10 años	2	36.90	116770000.00	0.52	73.80	34.54	4033048.97	1.36	3.64	25.63
10 años	3	53.00	116770000.00	0.52	159.00	74.41	8689089.24	1.86	4.98	40.41
10 años	4	49.30	116770000.00	0.52	197.20	92.29	10776656.59	2.36	6.31	39.52
10 años	5	101.30	116770000.00	0.52	506.50	237.04	27679394.34	2.86	7.65	83.78
10 años	6	104.80	116770000.00	0.52	628.80	294.28	34362888.77	3.36	8.98	88.55
10 años	7	45.00	116770000.00	0.52	315.00	147.42	17214233.40	3.86	10.32	38.62
10 años	8	38.00	116770000.00	0.52	304.00	142.27	16613101.44	4.36	11.65	33.00
10 años	9	46.90	116770000.00	0.52	422.10	197.54	23067072.76	4.86	12.99	41.11
25 años	1	6.80	116770000.00	0.52	6.80	3.18	371608.85	0.86	2.31	3.73
25 años	2	43.20	116770000.00	0.52	86.40	40.44	4721618.30	1.36	3.64	30.01
25 años	3	58.90	116770000.00	0.52	176.70	82.70	9656365.21	1.86	4.98	44.91
25 años	4	55.50	116770000.00	0.52	222.00	103.90	12131935.92	2.36	6.31	44.49
25 años	5	108.10	116770000.00	0.52	540.50	252.95	29537438.58	2.86	7.65	89.41
25 años	6	112.50	116770000.00	0.52	675.00	315.90	36887643.00	3.36	8.98	95.06
25 años	7	51.60	116770000.00	0.52	361.20	169.04	19738987.63	3.86	10.32	44.29
25 años	8	46.20	116770000.00	0.52	369.60	172.97	20198033.86	4.36	11.65	40.12
25 años	9	52.50	116770000.00	0.52	472.50	221.13	25821350.10	4.86	12.99	46.02
50 años	1	7.50	116770000.00	0.52	7.50	3.51	409862.70	0.86	2.31	4.11
50 años	2	48.20	116770000.00	0.52	96.40	45.12	5268101.90	1.36	3.64	33.48
50 años	3	64.10	116770000.00	0.52	192.30	90.00	10508879.63	1.86	4.98	48.87
50 años	4	60.00	116770000.00	0.52	240.00	112.32	13115606.40	2.36	6.31	48.10
50 años	5	114.00	116770000.00	0.52	570.00	266.76	31149565.20	2.86	7.65	94.29
50 años	6	117.80	116770000.00	0.52	706.80	330.78	38625460.85	3.36	8.98	99.54
50 años	7	56.40	116770000.00	0.52	394.80	184.77	21575172.53	3.86	10.32	48.41
50 años	8	52.10	116770000.00	0.52	416.80	195.06	22777436.45	4.36	11.65	45.25
50 años	9	59.70	116770000.00	0.52	537.30	251.46	29362563.83	4.86	12.99	52.33
100 años	1	8.20	116770000.00	0.52	8.20	3.84	448116.55	0.86	2.31	4.50
100 años	2	56.00	116770000.00	0.52	112.00	52.42	6120616.32	1.36	3.64	38.90
100 años	3	67.50	116770000.00	0.52	202.50	94.77	11066292.90	1.86	4.98	51.47
100 años	4	64.70	116770000.00	0.52	258.80	121.12	14142995.57	2.36	6.31	51.86
100 años	5	121.00	116770000.00	0.52	605.00	283.14	33062257.80	2.86	7.65	100.08
100 años	6	124.10	116770000.00	0.52	744.60	348.47	40691168.86	3.36	8.98	104.86
100 años	7	60.90	116770000.00	0.52	426.30	199.51	23296595.87	3.86	10.32	52.27
100 años	8	57.50	116770000.00	0.52	460.00	215.28	25138245.60	4.36	11.65	49.94
100 años	9	62.20	116770000.00	0.52	559.80	261.99	30592151.93	4.86	12.99	54.53

Tabla 4.5.2.2.18 Hidrograma Unitario Triangular

4.6 APLICACIÓN DEL MODELO *HEC-RAS*

En la actualidad existe un claro reconocimiento de la necesidad de desarrollar más ampliamente las capacidades técnicas en la determinación de las áreas más propensas a sufrir algún tipo de fenómeno hidrológico (inundaciones, sequías, etc.), desarrollando sistemas de predicción y advertencia, mediante la recopilación y análisis de la información hidrometeorológica existente.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos posee varios programas de computación para la administración de recursos de agua. Estos programas están siendo aplicados ampliamente a nivel internacional. Quizás el más conocido es el programa HEC-2, actualmente remplazado por el HEC-RAS, el cual es utilizado para calcular los perfiles hidráulicos en canales.

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.

La geometría del cauce se introduce al modelo mediante secciones transversales, las cuales han sido estimadas, adicional a la información de las secciones es necesario asignarle un nombre a cada estación, el cual por comodidad y facilidad ha sido asociado a la distancia de la sección hasta el punto localizado más hacia aguas abajo. De esta forma se tiene una idea de la longitud del cauce estudiado y de la distancia entre las

estaciones, cuando se desean realizar comparaciones entre ellas.

El criterio para la distancia entre secciones se buscó de tal forma que no excediera a tres o cuatro 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.

Los datos principales requeridos por el modelo HEC-RAS son básicamente los siguientes:

- Esquema general del río.
- Datos geométricos de las secciones transversales levantadas en el río en el sitio del puente.
- Información del coeficiente de rugosidad de Manning para estimar las pérdidas por fricción.
- Datos de la crecida máxima probable en la zona, así como el régimen de flujo analizado del perfil hidráulico.

En esta *Simulación Hidráulica* realizada en un tramo del cauce del Río Grande de San Miguel, partiendo del caudal de diseño la cual se comprobará si la sección hidráulica donde está ubicado el Puente Don Luis de Moscoso es capaz de soportar este caudal sin sufrir daño alguno o si es necesario mejorar las condiciones actuales de la sección hidráulica del puente, además nos indica una forma de análisis de interrelación entre topografía y el cauce del río, los volúmenes de agua, sedimentos transportados, velocidades de flujo.

Los resultados del estudio, están orientados a fortalecer los criterios técnicos en la factibilidad de realizar obras de limpieza del río con el objetivo de proteger la estructura del puente sobre el Río Grande de San Miguel y evitar posibles inundaciones en los asentamientos humanos cercanos a éste.

La metodología de análisis y procesamiento de datos para el programa, tiene como base el levantamiento topográfico del canal, seccionamiento del canal y levantamiento de información del puente, puntos de control, caudal de máxima crecida para un período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Para la modelación hidráulica, el programa requirió un cambio en el orden numérico de las secciones del cauce, sin embargo se conserva la orientación o dirección del flujo, desde aguas arriba del puente hacia aguas abajo del puente Don Luis de Moscoso.

Con el objetivo de establecer la factibilidad hidrogeológica sobre la limpieza en

un tramo del cauce de 7,957 metros de longitud, se realizaron dos simulaciones hidráulicas, tomando como criterio principal el caudal de diseño antes de la limpieza y posterior a la limpieza:

- La primera simulación hidráulica está basada en las condiciones morfológicas actuales, tomando como parámetro de medición los caudales de diseño obtenidos del estudio hidrológico de 104.5 m³/s, 114.9 m³/s, 126.3 m³/s, 135 m³/s y 145 m³/s para los diferentes periodos de retorno respectivos, con esta creciente de caudal la sección hidráulica queda cubierta además con una pendiente media de la cuenca $S=0.03067$, hasta alcanzar el nivel de la losa del puente.

Verificándose in situ, que este caudal no solamente transporta y deposita sedimentos sino también rastrojos de árboles, ramas, basura a lo largo del cauce, evidenciándose en la estructura del puente árboles atrapados en la junta de la losa del puente y sus pilas.

- La segunda simulación está basada en el mejoramiento de la sección hidráulica a lo largo de tramo realizada la limpieza del cauce tomando como base los caudales de diseño 104.5 m³/s, 114.9 m³/s, 126.3 m³/s, 135 m³/s y 145 m³/s y una pendiente promedio media de la cuenca $S = 0.03067$.

A continuación, se presenta una serie de secciones con los datos del cálculo hidráulico obtenidas del análisis en el programa HEC RAS, así como el modelo unidimensional del canal con el trazo de secciones, finalmente se presenta el modelo de socavación correspondiente a la sección del puente y sus resultados

Material	n	Rugosidad k mm
Canales artificiales:		
Vidrio	0,010 ± 0,002	0,3
Latón	0,011 ± 0,002	0,6
Acero, liso	0,012 ± 0,002	1,0
Acero, pintado	0,014 ± 0,003	2,4
Acero, ribeteado	0,015 ± 0,002	3,7
Hierro fundido	0,013 ± 0,003	1,6
Cemento, pulido	0,012 ± 0,002	1,0
Cemento no pulido	0,014 ± 0,002	2,4
Madera cepillada	0,012 ± 0,002	1,0
Teja de arcilla	0,014 ± 0,003	2,4
Enladrillado	0,015 ± 0,002	3,7
Asfáltico	0,016 ± 0,003	5,4
Metal ondulado	0,022 ± 0,005	37
Mampostería de cascotes	0,025 ± 0,005	80
Canales excavados en tierra:		
Limpio	0,022 ± 0,004	37
Con guijarros	0,025 ± 0,005	80
Con maleza	0,030 ± 0,005	240
Pedregoso, cantos rodados	0,035 ± 0,010	500
Canales naturales:		
Limpios y rectos	0,030 ± 0,005	240
Amplios, aljibes profundos	0,040 ± 0,010	900
Grandes ríos	0,035 ± 0,010	500
Zona inundadas:		
Terrenos de pastos, labranza	0,035 ± 0,010	500
Poca maleza	0,050 ± 0,020	2000
Mucha maleza	0,075 ± 0,025	5000
Arboles	0,150 ± 0,050	∞

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, Mc Graw-Hill 1994.

Tabla 4.6.1 Tipos de Canales para Verificación de Secciones (Coeficiente de Manning)

HEC – RAS

1. Introducción
2. Desarrollo del modelo hidráulico. Para el desarrollo del modelo hidráulico del río se necesita crear un nuevo proyecto
3. Introducir datos geométricos. Para comenzar se necesita crear el esquema del río tramo a tramo en la opción “*Geometric Data*”

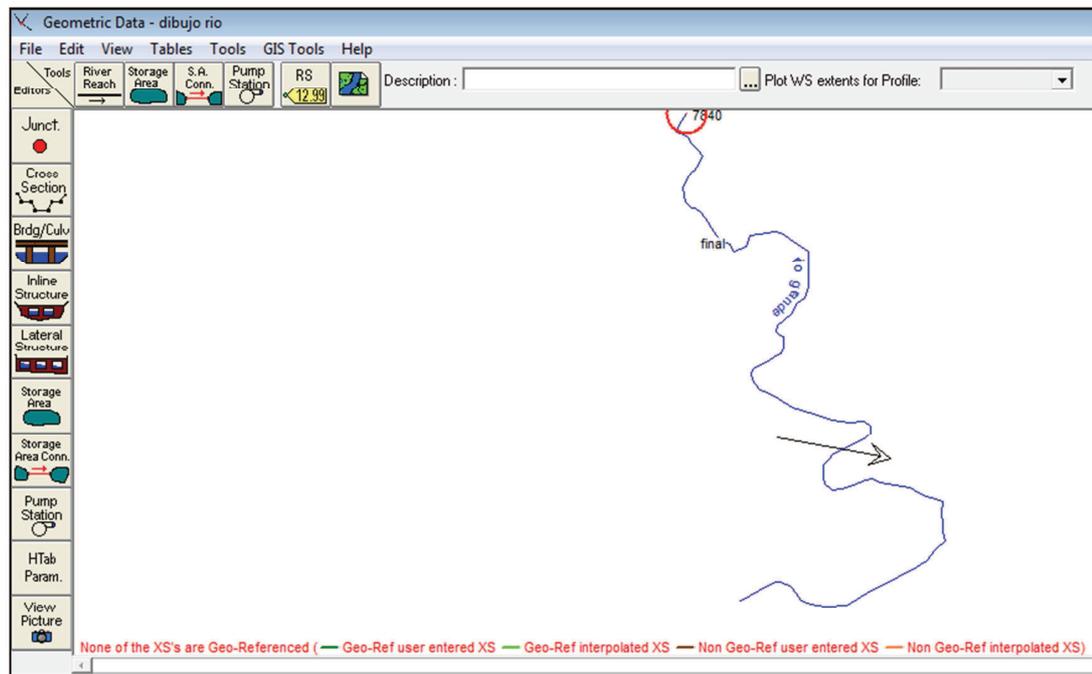


Figura 4.6.1 Vista en Planta del Tramo en Evaluación son su correspondiente dirección del flujo del caudal.

3.3 Introducir datos de sección transversal a cada 40 m

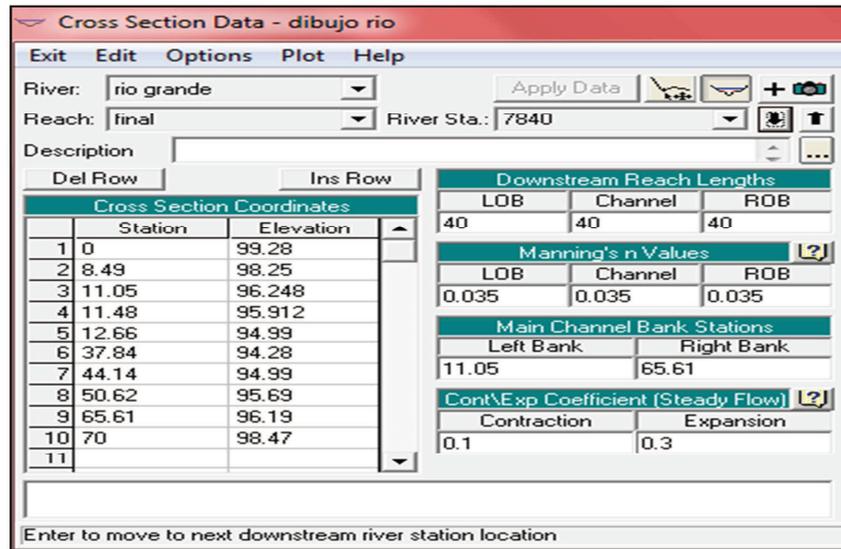


Figura 4.6.2 Introducción de Coordenadas de Secciones Transversales con su Coeficiente de Rugosidad de Manning.

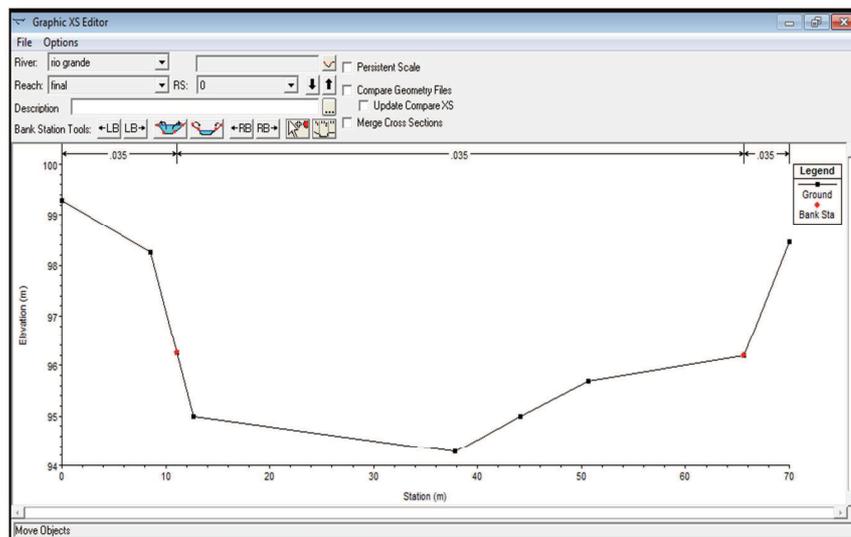


Figura 4.6.3 Sección Transversal Creada en el Programa, Vista en 2D.

4.0 Introducir los datos hidráulicos

5.0 En la opción edit/enter flow data , se define el número de perfiles, condiciones de contorno

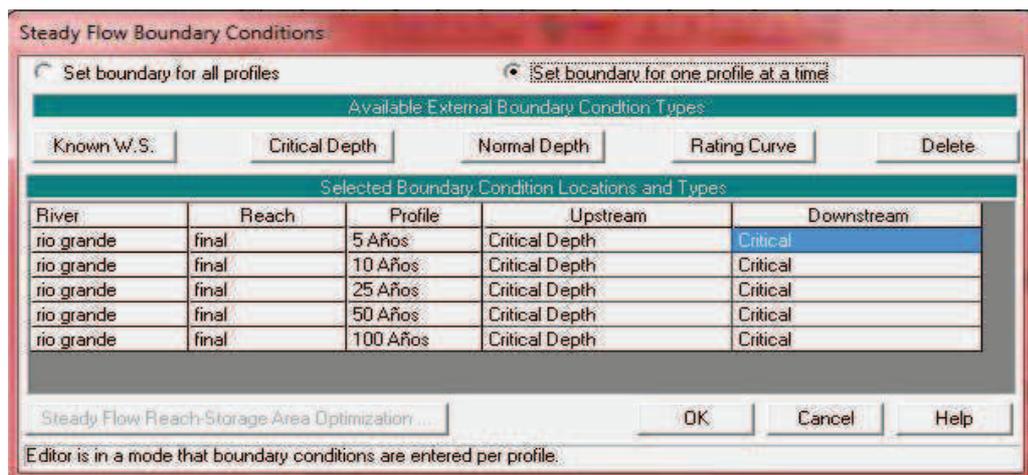


Figura 4.6.4 Condiciones de Contorno para cada período de Retorno

6.0 Se introducen las diferentes caudales para cada periodo de retorno a evaluar

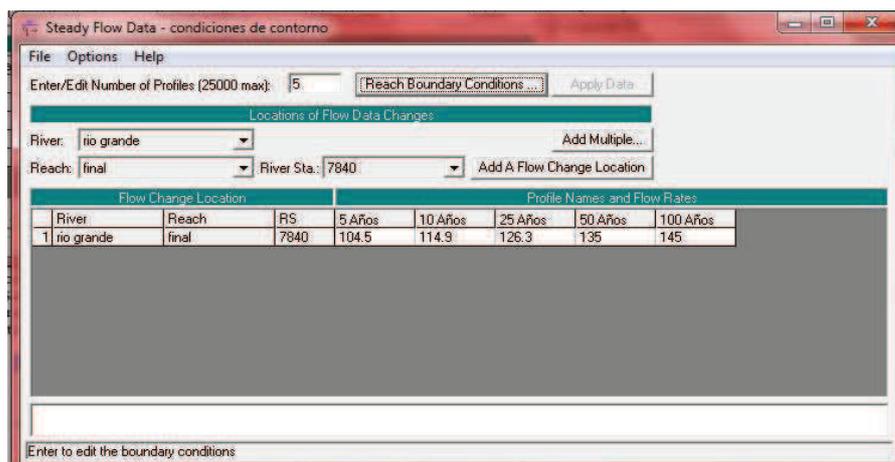


Figura 4.6.5 Caudales para evaluación de los diferentes periodos de retorno.

7.0 Secciones transversales

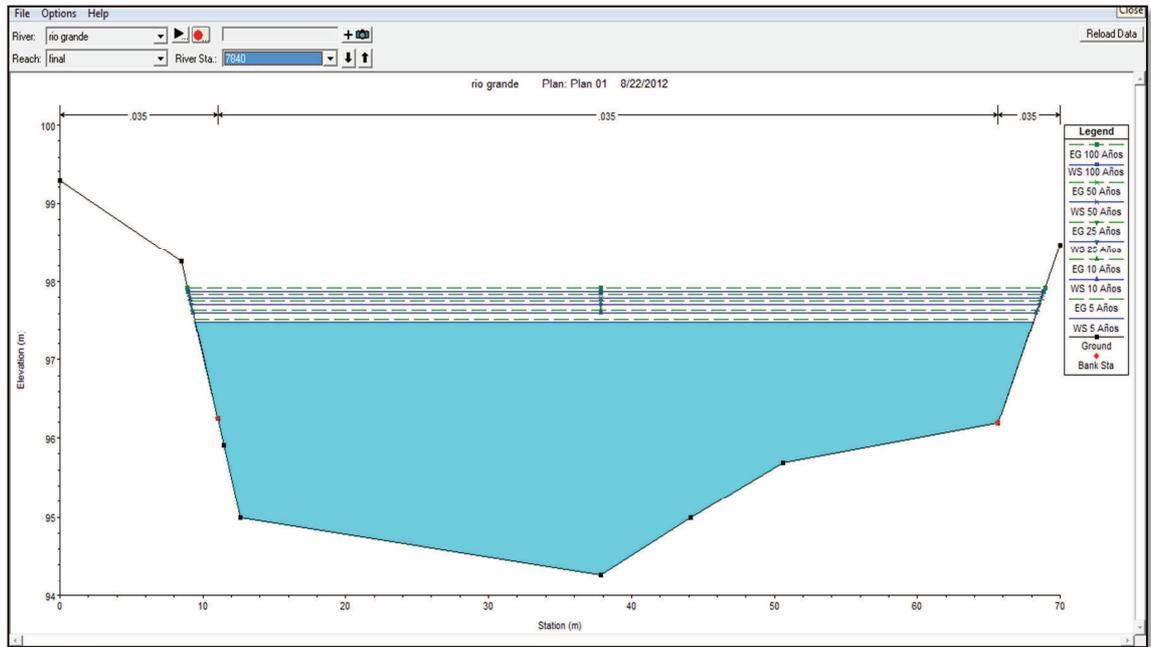


Figura 4.6.6 Representación de perfiles de secciones evaluadas con caudales para diferentes periodos de retorno

4.6.1 Secciones del Río Evaluadas con el Programa

- ✓ **Comparación entre como actualmente se encuentran las secciones del río y como quedarán con la realización de la limpieza en el tramo evaluado**

Sección transversal a 2260m aguas arriba del Puente Don Luis de Moscoso donde se ubica una concentración de sedimentos en el centro del río provocando un obstáculo para el transporte de agua volviendo este sector crítico.

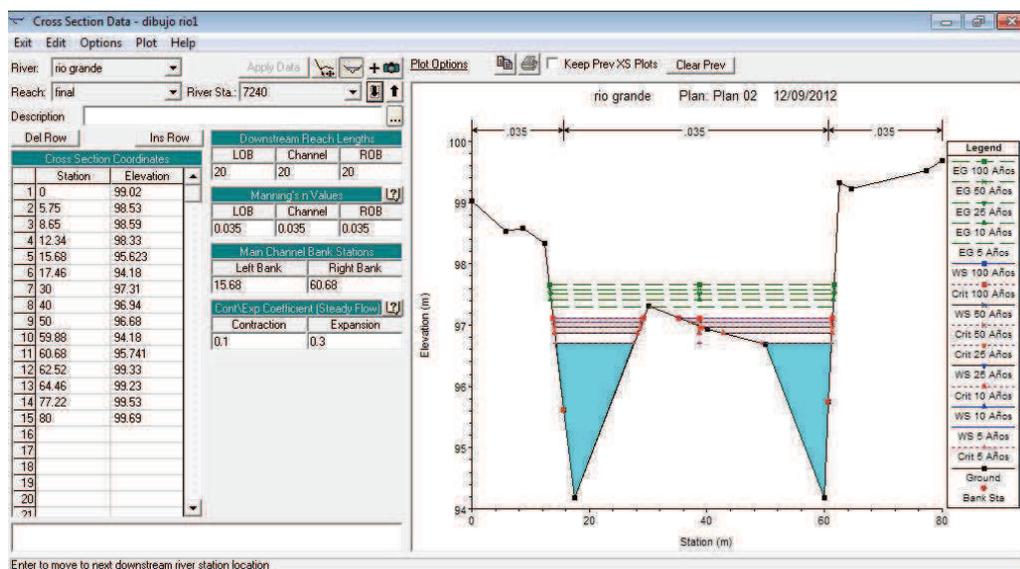


Figura 4.6.1.1 Sección Transversal 7,240 del tramo antes de la limpieza.

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

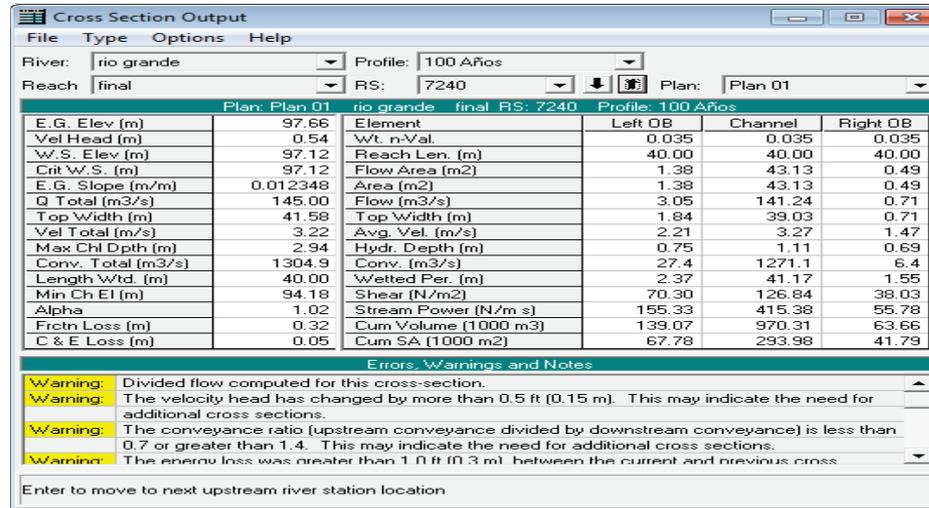


Figura 4.6.1.2 Errores que presenta la sección transversal 7,240 del tramo antes de la limpieza

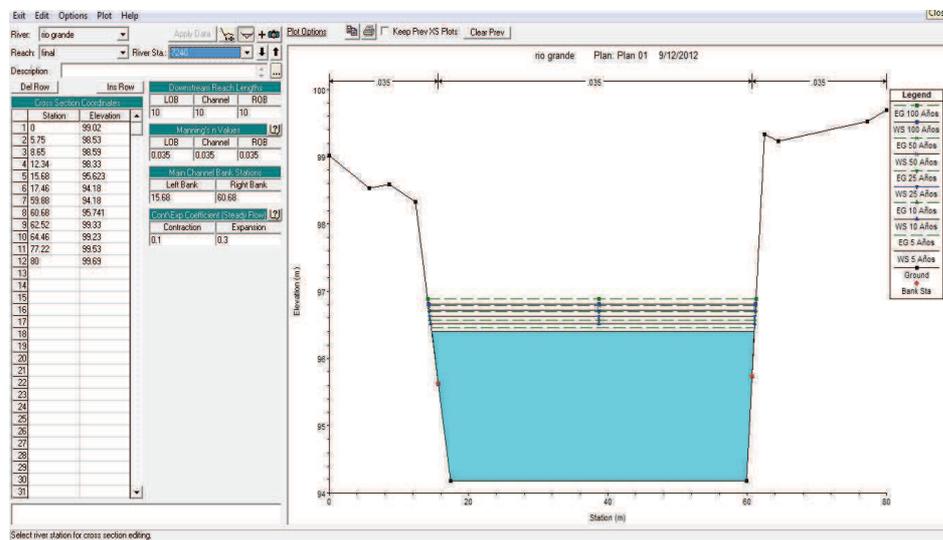


Figura 4.6.1.3 Sección Transversal 7,240 del tramo después de la limpieza.

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Plan: Plan 01			
rio grande		final	RS: 7240
Profile: 100 Años			
E.G. Elev (m)	96.89	Element	Left OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.035
W.S. Elev (m)	96.81	Reach Len. (m)	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.87
E.G. Slope (m/m)	0.000556	Area (m2)	0.87
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	0.35
Top Width (m)	47.01	Top Width (m)	1.46
Vel Total (m/s)	1.23	Avg. Vel. (m/s)	0.40
Max Ch Dpth (m)	2.63	Hydr. Depth (m)	0.59
Conv. Total (m3/s)	6151.0	Conv. (m3/s)	14.8
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	1.88
Min Ch El (m)	94.18	Shear (N/m2)	2.51
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)	3830.23
Frict Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	4.78
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	8.48
			Channel
			Right OB
			0.035
			10.00
			116.38
			0.29
			144.57
			0.08
			45.00
			1.24
			2.59
			6133.0
			46.47
			13.65
			0.00
			826.50
			371.46
			8.32

Figura 4.6.1.4 Errores que presenta la sección transversal 7,240 del tramo después de la limpieza

Sección transversal a 1620 m aguas arriba del Puente Don Luis de Moscoso donde se ubica una concentración de sedimentos en el centro del río provocando un obstáculo para el transporte de agua volviendo este sector crítico.

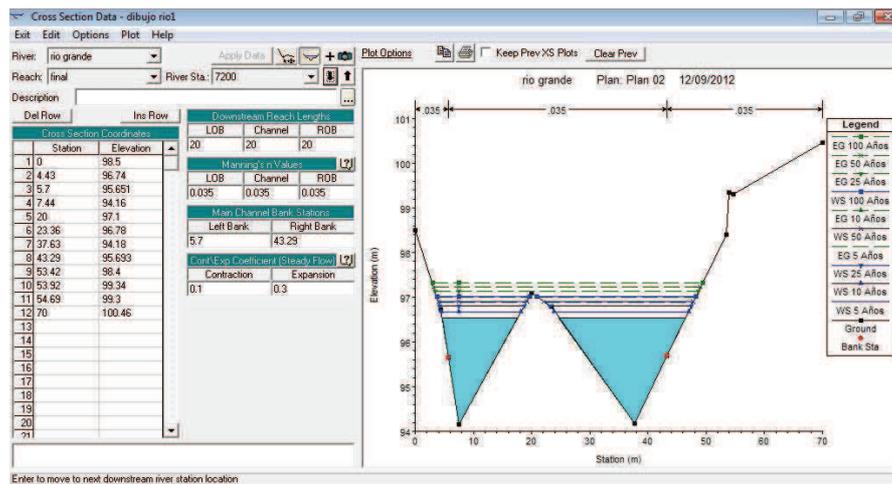


Figura 4.6.1.5 Sección Transversal 7,200 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

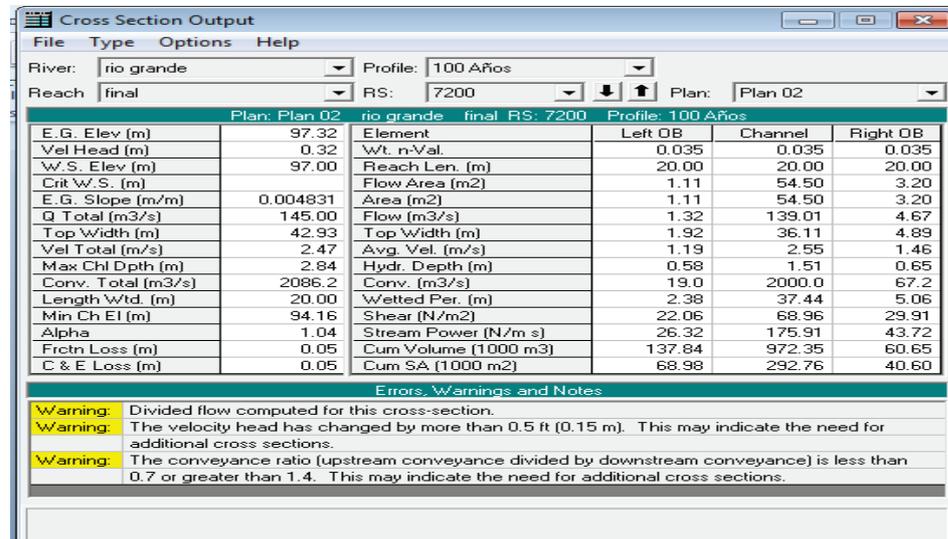


Figura 4.6.1.6 Errores que presenta la sección transversal 7,200 del tramo antes de la limpieza

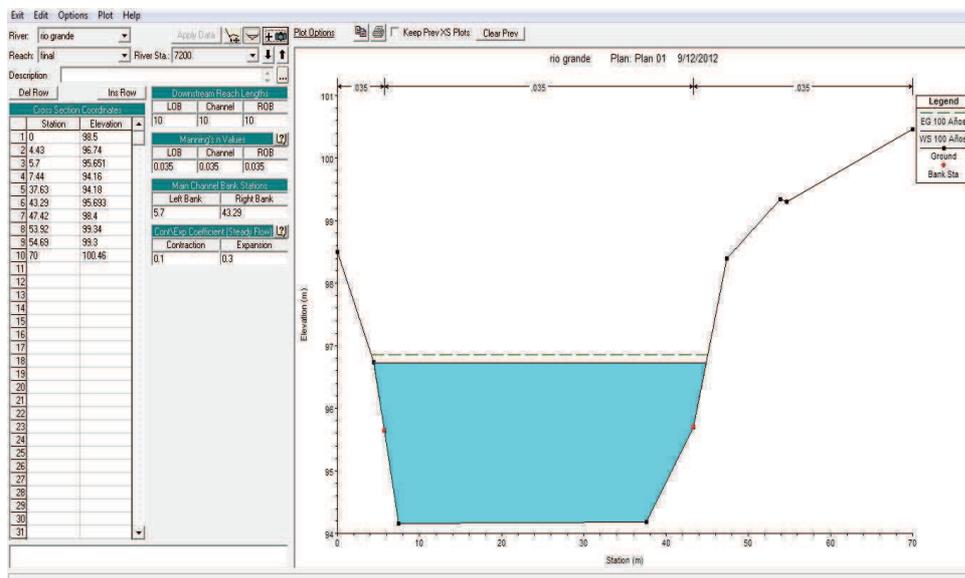


Figura 4.6.1.7 Sección Transversal 7,200 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Plan: Plan 01 rio grande final RS: 7200 Profile: 100 Años					
E. G. Elev (m)	96.85	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.13	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
W. S. Elev (m)	96.72	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.67	90.30	1.98
E. G. Slope (m/m)	0.000988	Area (m2)	0.67	90.30	1.98
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	0.33	143.55	1.12
Top Width (m)	42.69	Top Width (m)	1.25	37.59	3.85
Vel Total (m/s)	1.56	Avg. Vel. (m/s)	0.49	1.59	0.56
Max Chl Dpth (m)	2.56	Hydr. Depth (m)	0.54	2.40	0.51
Conv. Total (m3/s)	4613.4	Conv. (m3/s)	10.5	4567.4	35.5
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	1.65	38.34	3.99
Min Ch El (m)	94.16	Shear (N/m2)	3.94	22.82	4.82
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)	3351.45	0.00	0.00
Frcm Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	4.75	822.50	4.77
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	8.42	369.81	8.26

Errors, Warnings and Notes

Enter to move to next downstream river station location

Figura 4.6.1.8 Errores que presenta la sección transversal 7,200 del tramo después de la limpieza

Sección transversal a 900m aguas arriba del Puente Don Luis de Moscoso con una Área Hidráulica menor al Área necesaria para el transporte del Caudal Máximo calculado.

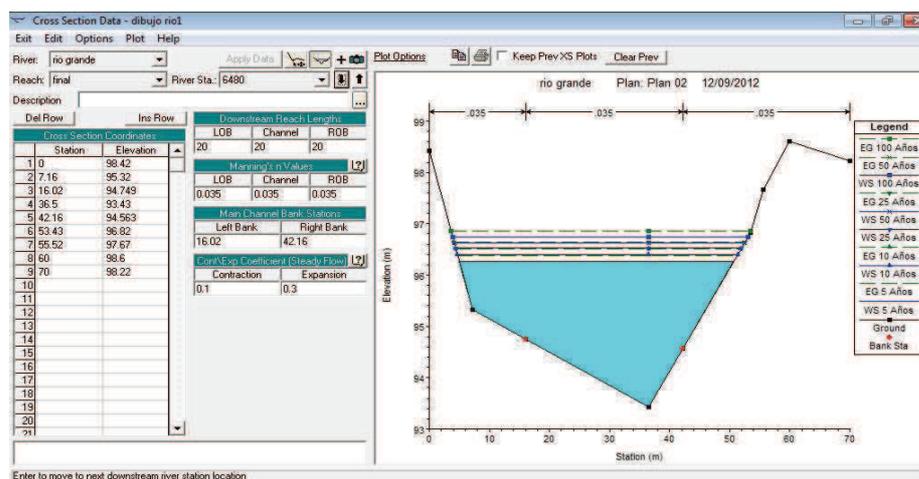


Figura 4.6.1.9 Sección Transversal 6,480 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

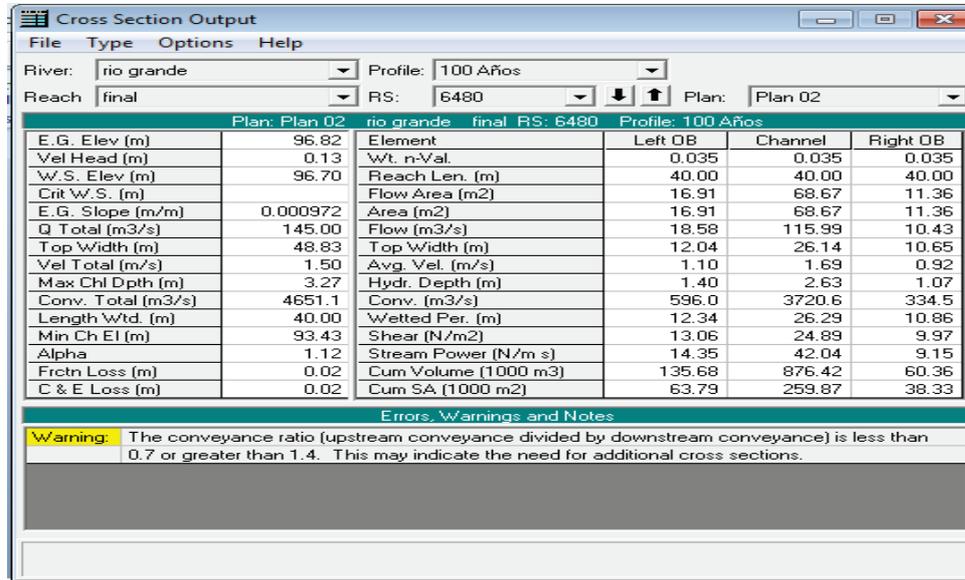


Figura 4.6.1.10 Errores que presenta la sección transversal 6,480 del tramo antes de la limpieza

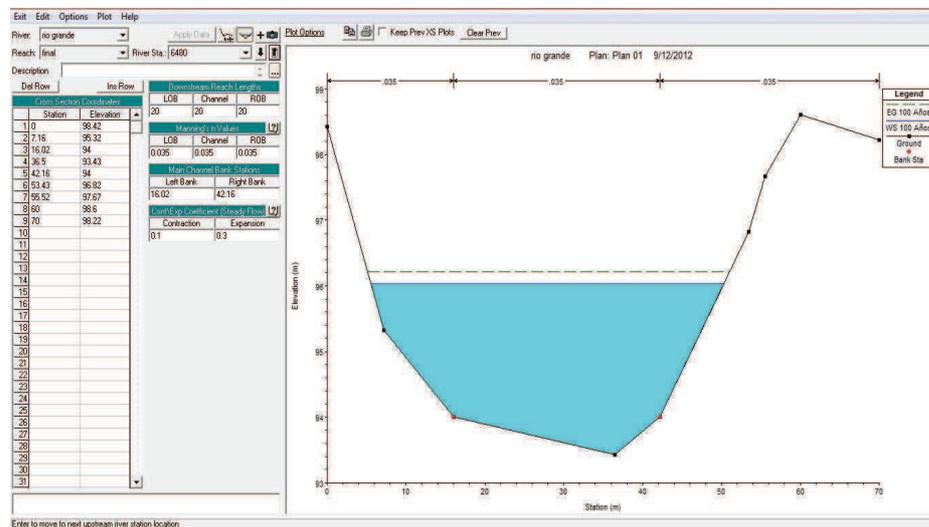


Figura 4.6.1.11 Sección Transversal 6,480 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

File Type Options Help					
River:	rio grande	Profile:	100 Años		
Reach	final	RS:	6480	↓	↑
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 6480 Profile: 100 Años					
E.G. Elev (m)	96.21	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.18	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	96.04	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	12.79	60.69	8.29
E.G. Slope (m/m)	0.001550	Area (m2)	12.79	60.69	8.29
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	16.15	119.60	9.25
Top Width (m)	44.79	Top Width (m)	10.52	26.14	8.14
Vel Total (m/s)	1.77	Avg. Vel. (m/s)	1.26	1.97	1.12
Max Chl Dpth (m)	2.61	Hydr. Depth (m)	1.22	2.32	1.02
Conv. Total (m3/s)	3682.5	Conv. (m3/s)	410.0	3037.5	234.9
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)	10.76	26.18	8.39
Min Ch El (m)	93.43	Shear (N/m2)	18.07	35.25	15.02
Alpha	1.10	Stream Power (N/m s)	3351.45	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	3.16	744.55	3.32
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	5.83	336.83	6.05
Errors, Warnings and Notes					
Select Profile					

Figura 4.6.1.12 Errores que presenta la sección transversal 6,480 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 260m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso con sector crítico con desbordamiento debido a la poca Área Hidráulica necesaria para el transporte del Caudal Máximo calculado

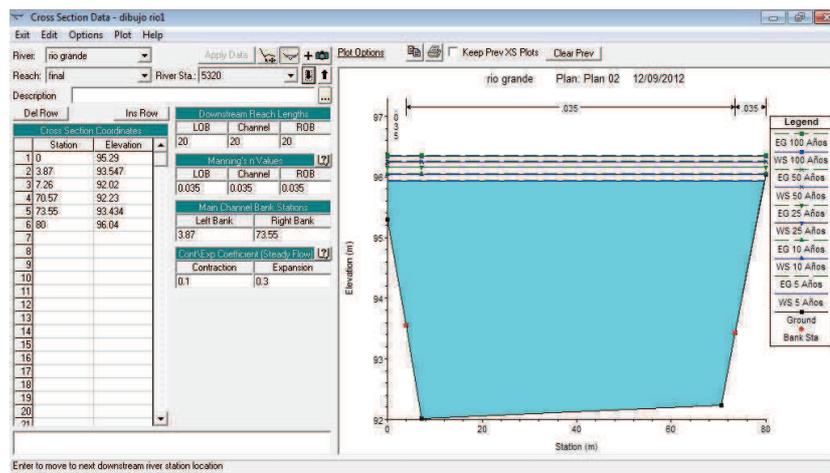


Figura 4.6.1.13 Sección Transversal 5,320 del tramo antes de la limpieza

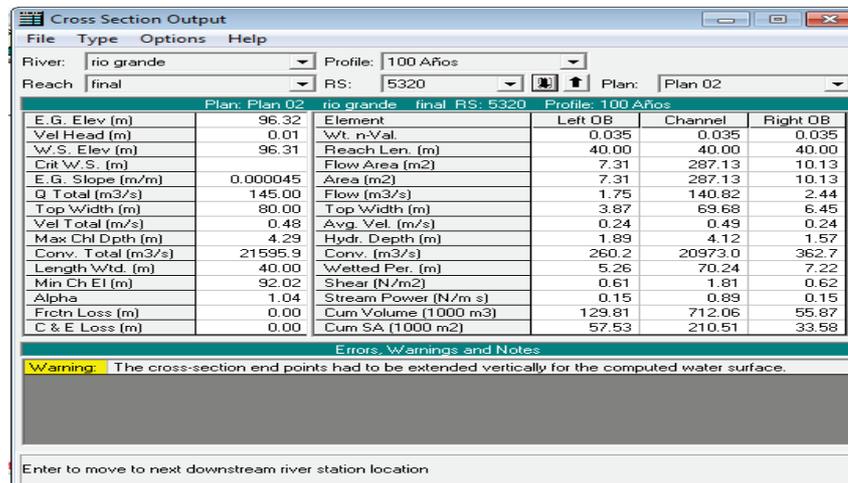


Figura 4.6.1.14 Errores que presenta la sección transversal 5,320 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

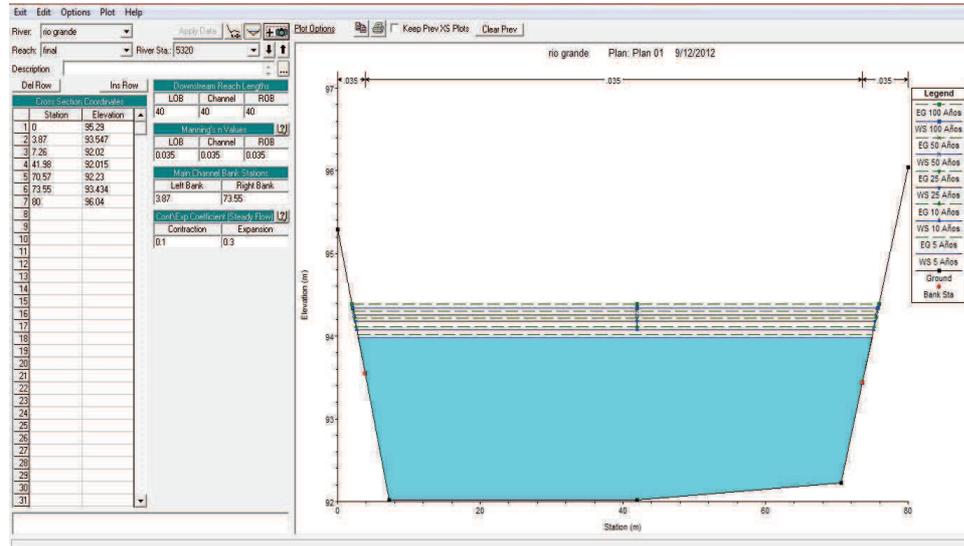


Figura 4.6.1.15 Sección Transversal 5,320 del tramo después de la limpieza

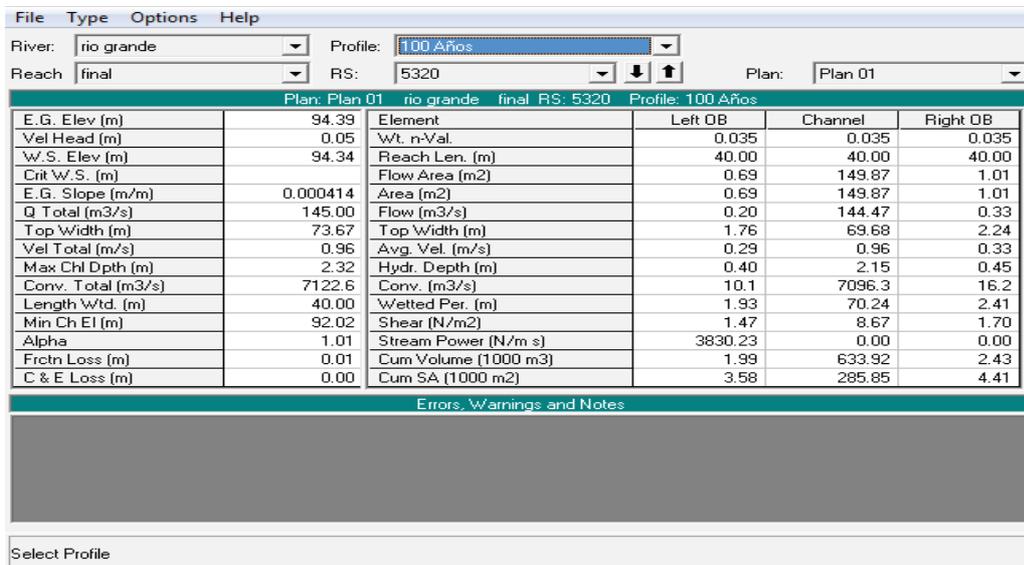


Figura 4.6.1.16 Errores que presenta la sección transversal 5,320 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 500m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso con presencia de sedimento a uno de los costados reduciendo el Área Hidráulica necesaria para en transporte del Caudal Máximo calculado

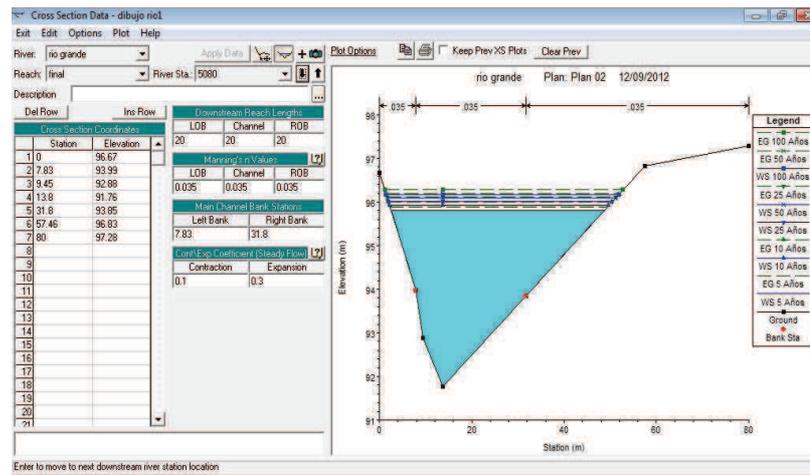


Figura 4.6.1.17 Sección Transversal 5,080 del tramo antes de la limpieza

Cross Section Output

River: rio grande Profile: 100 Años
 Reach: final RS: 5080 Plan: Plan 02

	rio grande	final RS: 5080	Profile: 100 años
E.G. Elev (m)	96.25	Element	Left OB
Vel Head (m)	0.10	Wt. n-Val	0.035
W.S. Elev (m)	96.15	Reach Len. (m)	40.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	6.82
E.G. Slope (m/m)	0.000571	Area (m2)	81.30
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	4.73
Top Width (m)	50.10	Top Width (m)	6.31
Vel Total (m/s)	1.31	Avg. Vel. (m/s)	0.69
Max Chl Dpth (m)	4.39	Hydr. Depth (m)	1.08
Conv. Total (m3/s)	6067.1	Conv. (m3/s)	197.9
Length Wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)	6.67
Min Ch El (m)	91.76	Shear (N/m2)	5.73
Alpha	1.19	Stream Power (N/m s)	3.97
Froth Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	127.66
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	56.11
			198.31

Errors, Warnings and Notes

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.

Figura 4.6.1.18 Errores que presenta la sección transversal 5,080 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

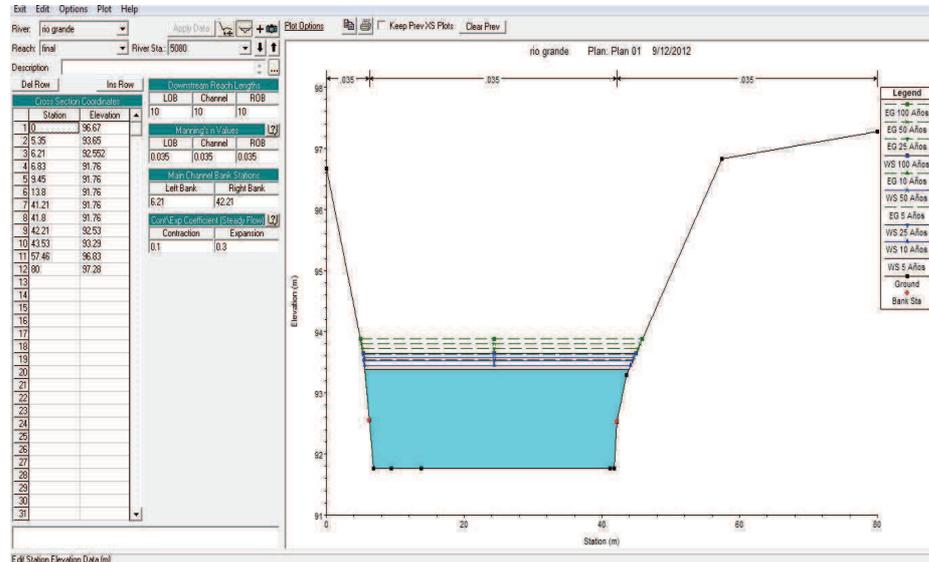


Figura 4.6.1.19 Sección Transversal 5,080 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help					
River:	rio grande	Profile:	5 Años		
Reach:	final	RS:	5080	Plan:	Plan 01
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 5080 Profile: 5 Años					
E.G. Elev (m)	93.54	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.16	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	93.38	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.27	57.79	0.63
E.G. Slope (m/m)	0.002176	Area (m2)	0.27	57.79	0.63
Q Total (m3/s)	104.50	Flow (m3/s)	0.14	103.95	0.41
Top Width (m)	38.31	Top Width (m)	0.65	36.00	1.66
Vel Total (m/s)	1.78	Avg. Vel. (m/s)	0.53	1.80	0.64
Max Chl Dpth (m)	1.62	Hydr. Depth (m)	0.41	1.61	0.38
Conv. Total (m3/s)	2240.4	Conv. (m3/s)	3.1	2228.6	8.7
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)	1.05	36.85	1.87
Min Ch El (m)	91.76	Shear (N/m2)	5.42	33.46	7.18
Alpha	1.02	Stream Power (N/m s)	3830.23	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.79	504.63	0.95
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	1.72	271.79	2.09
Errors, Warnings and Notes					
Enter to move to next upstream river station location					

Figura 4.6.1.20 Errores que presenta la sección transversal 5,080 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 620m aguas abajo del Puente don Luis de Moscoso con presencia de sedimento a uno de los costados reduciendo el Área Hidráulica necesaria para en transporte del Caudal Máximo calculado

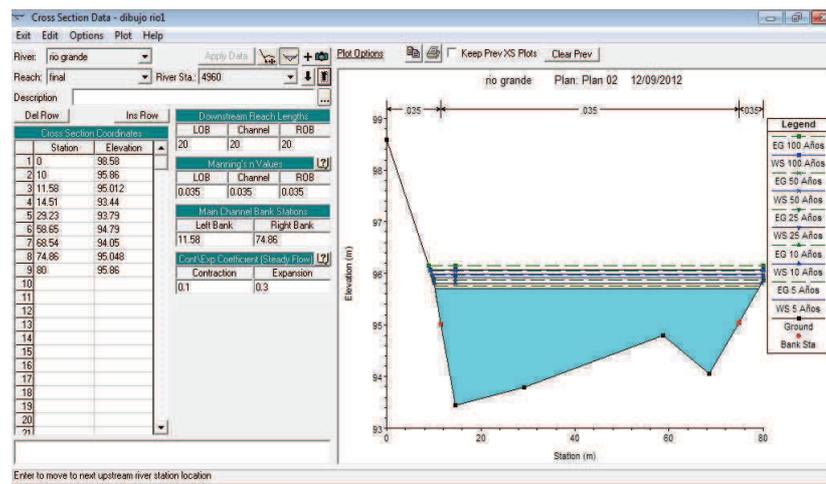


Figura 4.6.1.21 Sección Transversal 4,960 del tramo antes de la limpieza

Cross Section Output						
File Type Options Help						
River:	rio grande	Profile:	100 Años			
Reach:	final	RS:	4960	Plan:	Plan 02	
Plan: Plan 02 rio grande final RS: 4960 Profile: 100 Años						
E. G. Elev (m)	96.12	Element		Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val		0.035	0.035	0.035
W. S. Elev (m)	96.05	Reach Len. (m)		40.00	40.00	40.00
Crit W. S. (m)		Flow Area (m ²)		1.03	118.37	3.05
E. G. Slope (m/m)	0.000783	Area (m ²)		1.03	118.37	3.05
Q Total (m ³ /s)	145.00	Flow (m ³ /s)		0.45	142.88	1.67
Top Width (m)	70.69	Top Width (m)		2.27	63.28	5.14
Vel Total (m/s)	1.18	Avg. Vel. (m/s)		0.44	1.21	0.55
Max Ch Depth (m)	2.61	Hydr. Depth (m)		0.45	1.37	0.59
Conv. Total (m ³ /s)	5161.8	Conv. (m ³ /s)		16.3	5106.1	59.5
Length Wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)		2.51	63.80	5.39
Min Ch El (m)	93.44	Shear (N/m ²)		3.16	14.25	4.34
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)		1.39	17.20	2.37
Frcn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m ³)		127.18	652.13	52.70
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m ²)		55.42	193.20	30.71
Errors, Warnings and Notes						
Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.						
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.						

Figura 4.6.1.22 Errores que presenta la sección transversal 4,960 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

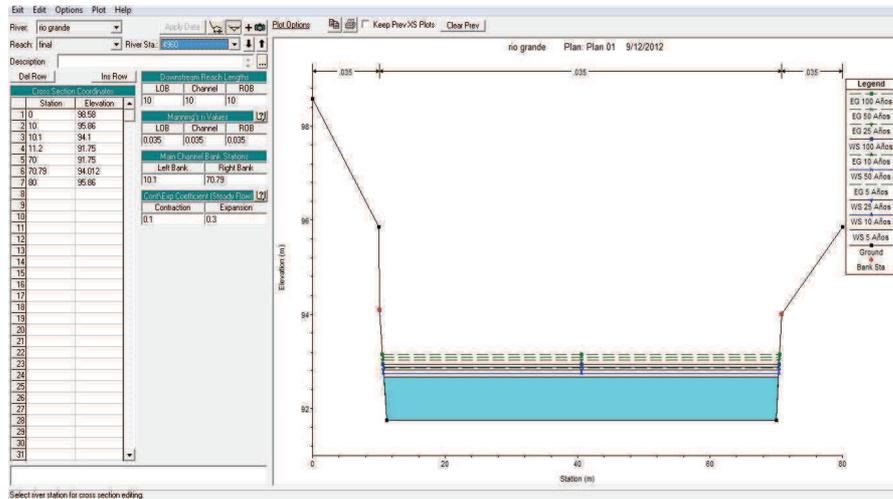


Figura 4.6.1.23 Sección Transversal 4,960 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help					
River:	rio grande	Profile:	100 Años		
Reach:	final	RS:	4960	Plan:	Plan 01
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 4960 Profile: 100 Años					
E.G. Elev (m)	93.16	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.21	Wt. n-Val.		0.035	
W.S. Elev (m)	92.94	Reach Len. (m)	10.00	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		70.79	
E.G. Slope (m/m)	0.004250	Area (m2)		70.79	
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)		145.00	
Top Width (m)	59.78	Top Width (m)		59.78	
Vel Total (m/s)	2.05	Avg. Vel. (m/s)		2.05	
Max Chl Dpth (m)	1.19	Hydr. Depth (m)		1.19	
Conv. Total (m3/s)	2224.1	Conv. (m3/s)		2224.1	
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted Per. (m)		61.38	
Min Ch El (m)	91.75	Shear (N/m2)		48.07	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	3830.23	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	1.75	600.37	2.12
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	3.20	267.65	3.93
Errors, Warnings and Notes					
Select Profile					

Figura 4.6.1.24 Errores que presenta la sección transversal 4,960 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 900m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, sector crítico con sedimentación convirtiendo en menor el Área Hidráulica para el transporte del Caudal Máximo calculado

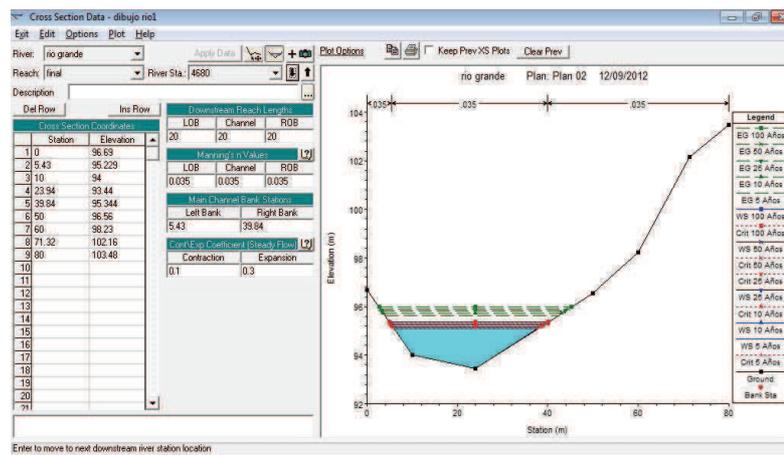


Figura 4.6.1.25 Sección Transversal 4,680 del tramo antes de la limpieza

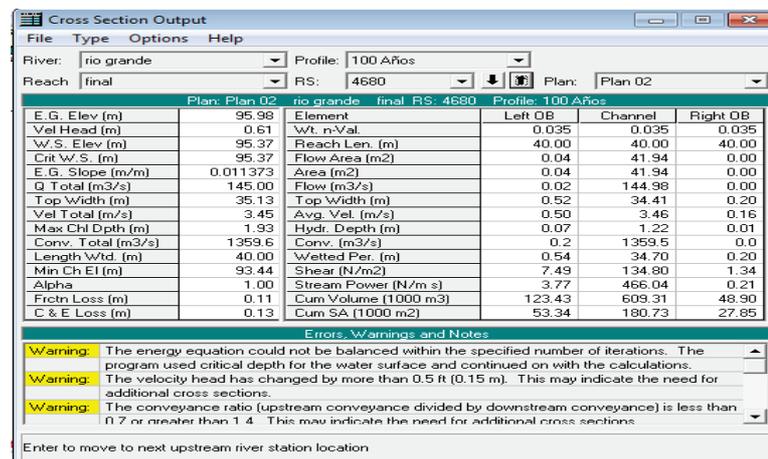


Figura 4.6.1.26 Errores que presenta la sección transversal 4,680 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

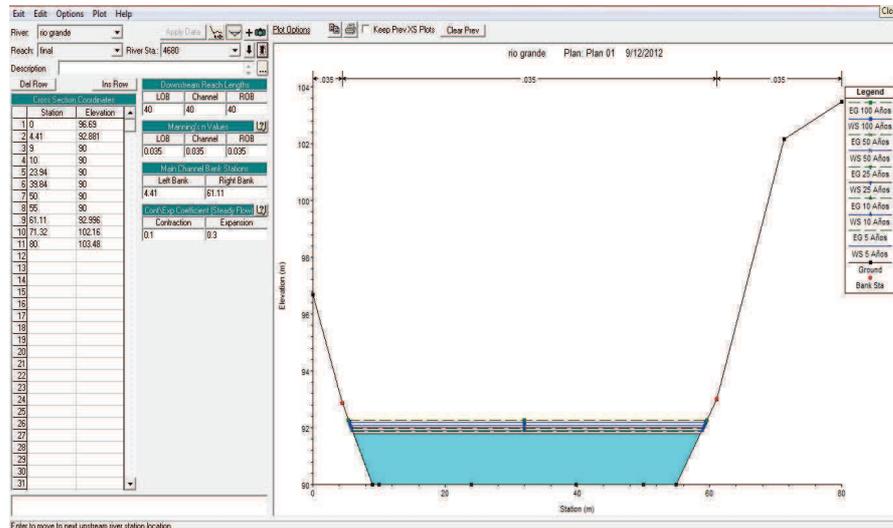


Figura 4.6.1.27 Sección Transversal 4,680 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help				
River:	rio grande	Profile:	5 Años	
Reach:	final	RS:	4680	Plan: Plan 01
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 4680 Profile: 5 Años				
E.G. Elev (m)	91.86	Element	Left OB	Channel Right OB
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.		0.035
W.S. Elev (m)	91.79	Reach Len. (m)	40.00	40.00 40.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		88.26
E.G. Slope (m/m)	0.000880	Area (m2)		88.26
Q Total (m3/s)	104.50	Flow (m3/s)		104.50
Top Width (m)	52.51	Top Width (m)		52.51
Vel Total (m/s)	1.18	Avg. Vel. (m/s)		1.18
Max Chl Dpth (m)	1.79	Hydr. Depth (m)		1.68
Conv. Total (m3/s)	3523.4	Conv. (m3/s)		3523.4
Length Wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)		53.44
Min Ch El (m)	90.00	Shear (N/m2)		14.25
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	3830.23	0.00 0.00
Frcn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.77	479.20 0.93
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.64	252.71 1.99
Errors, Warnings and Notes				
Flow in right overbank.				

Figura 4.6.1.28 Errores que presenta la sección transversal 4,680 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 940m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, zona con gran cantidad de sedimentación provocando desbordamientos en sus riberas

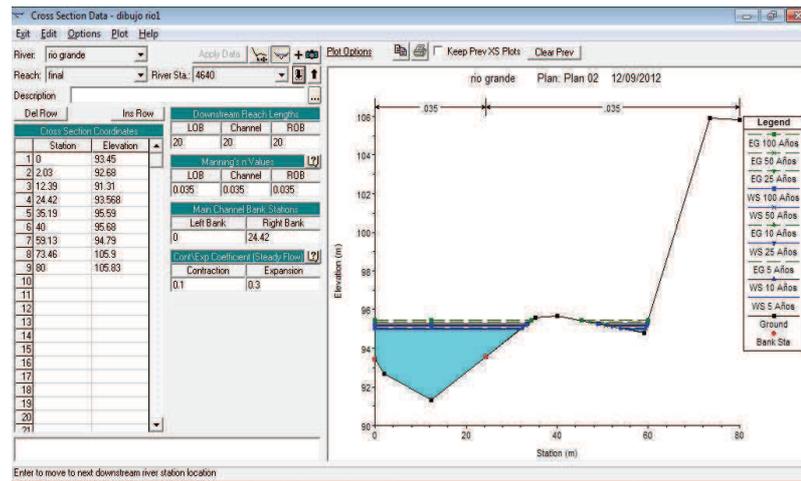


Figura 4.6.1.29 Sección Transversal 4,640 del tramo antes de la limpieza

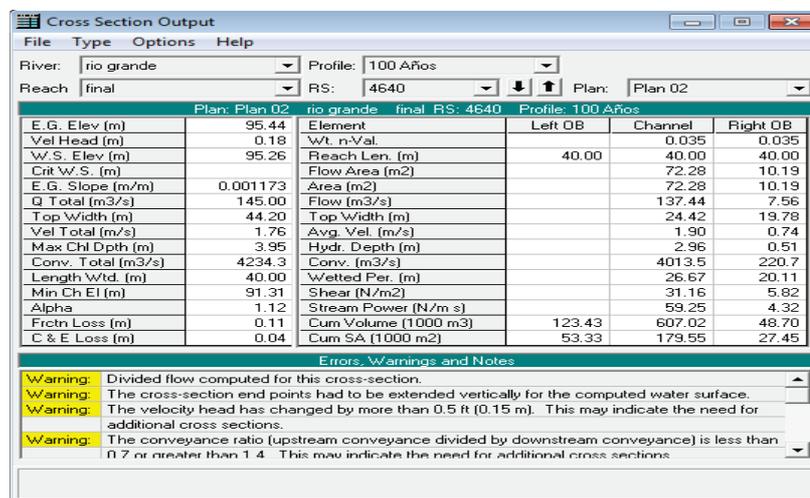


Figura 4.6.1.30 Errores que presenta la sección transversal 4,640 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

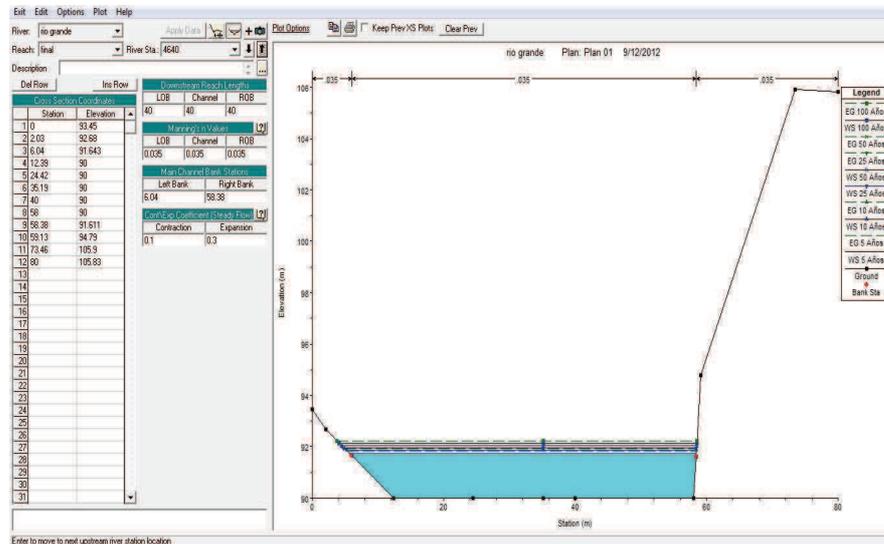


Figura 4.6.1.31 Sección Transversal 4,640 del tramo despues de la limpieza

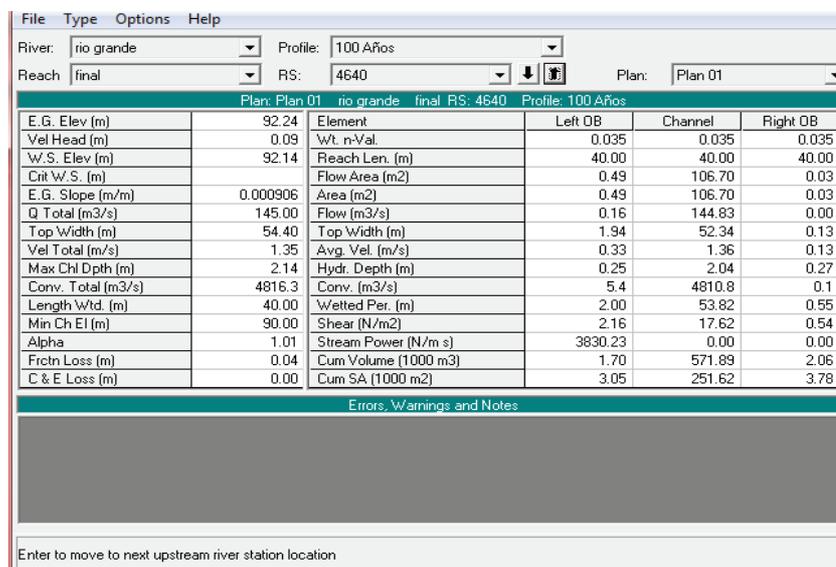


Figura 4.6.1.32 Errores que presenta la sección transversal 4,640 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 980m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, zona con gran cantidad de sedimentación provocando desbordamientos en sus riberas

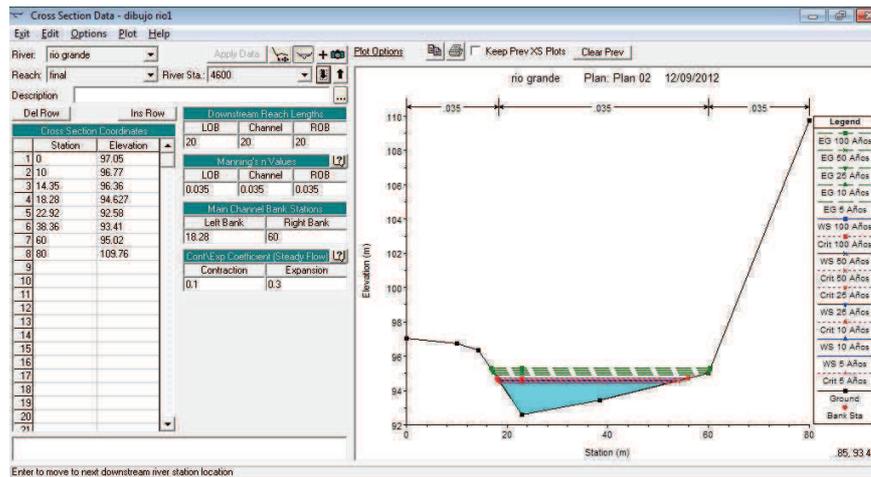


Figura 4.6.1.33 Sección Transversal 4,600 del tramo antes de la limpieza

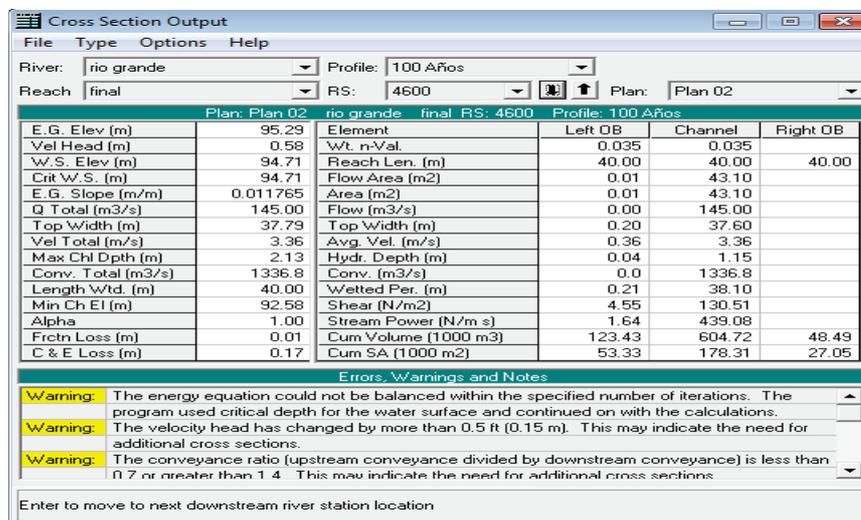


Figura 4.6.1.34 Errores que presenta la sección transversal 4,600 del tramo antes de la limpieza.

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

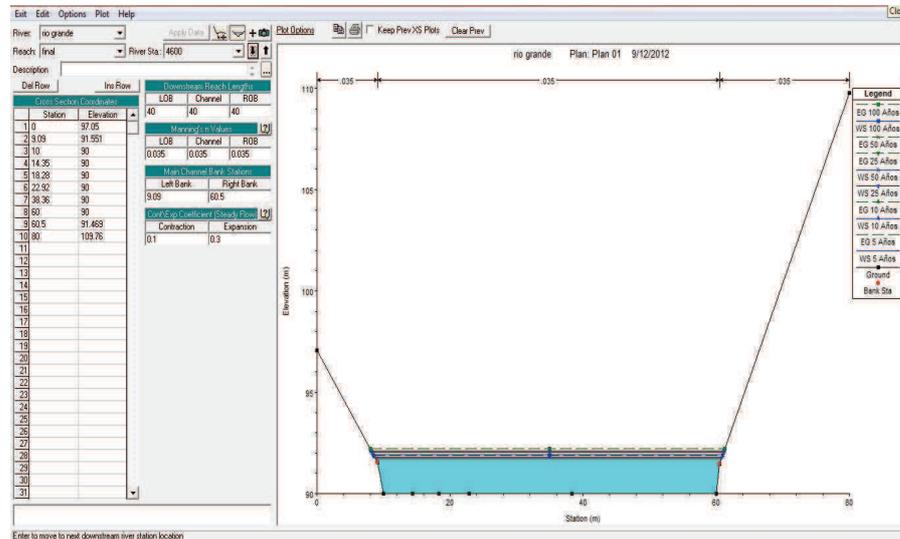


Figura 4.6.1.35 Sección Transversal 4,600 del tramo despues de la limpieza

File Type Options Help						
River:	rio grande	Profile:	100 Años			
Reach:	final	RS:	4600	Plan: Plan 01		
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 4600 Profile: 100 Años						
E. G. Elev (m)	92.20	Element	Left OB	Channel	Right OB	
Vel Head (m)	0.09	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035	
W.S. Elev (m)	92.11	Reach Len. (m)	40.00	40.00	40.00	
Crit W.S. (m)		Flow Area [m2]	0.26	107.36	0.22	
E.G. Slope (m/m)	0.000878	Area (m2)	0.26	107.36	0.22	
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	0.08	144.85	0.07	
Top Width (m)	53.02	Top Width (m)	0.92	51.41	0.68	
Vel Total (m/s)	1.34	Avg Vel. (m/s)	0.33	1.35	0.32	
Max Chl Dpth (m)	2.11	Hydr. Depth (m)	0.28	2.09	0.32	
Conv. Total (m3/s)	4894.6	Conv. (m3/s)	2.8	4889.4	2.4	
Length Wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)	1.08	53.35	0.94	
Min Ch El (m)	90.00	Shear (N/m2)	2.06	17.32	2.01	
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)	3830.23	0.00	0.00	
Frcn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	1.68	567.61	2.05	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	2.99	249.54	3.76	
Errors, Warnings and Notes						
Enter to move to next upstream river station location						

Figura 4.6.1.36 Errores que presenta la sección transversal 4,600 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 1020m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, con el inicio de sedimentación en el centro del río reduciéndose el área convirtiendo en menor el Área Hidráulica para el transporte del Caudal Máximo calculado

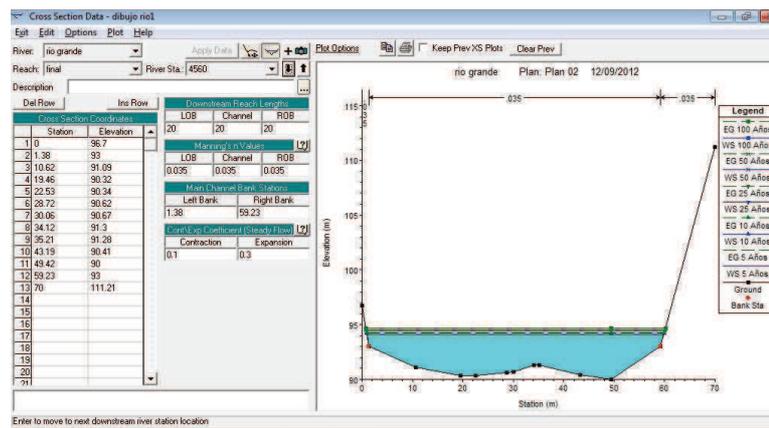


Figura 4.6.1.37 Sección Transversal 4,560 del tramo antes de la limpieza

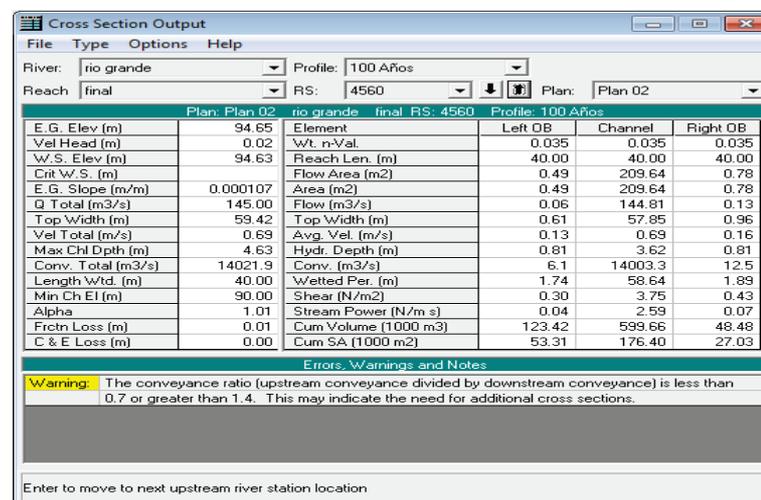


Figura 4.6.1.38 Errores que presenta la sección transversal 4,560 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

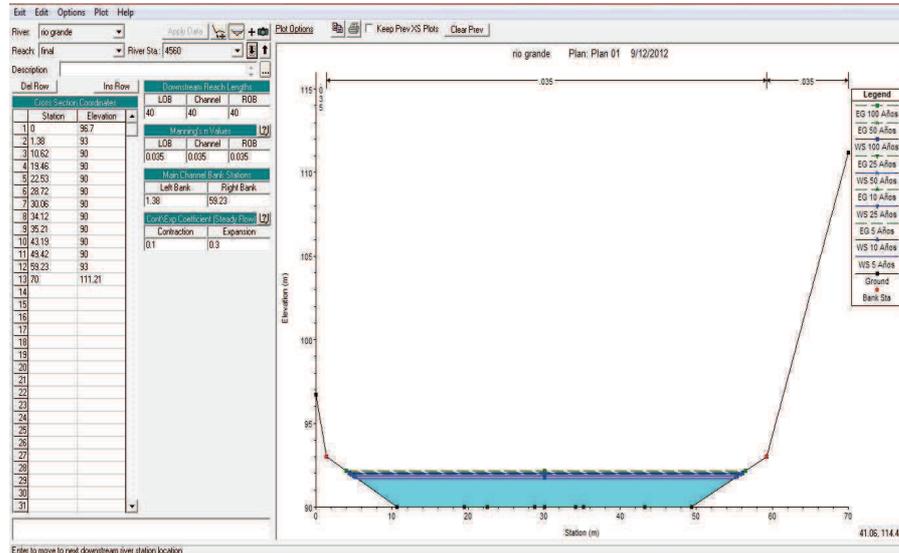


Figura 4.6.1.39 Sección Transversal 4,560 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help					
River:	rio grande	Profile:	100 Años	Reach:	final
RS:	4560	Plan:	Plan 01		
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 4560 Profile: 100 Años					
E.G. Elev (m)	92.15	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.13	Wt. n-Val.		0.035	
W.S. Elev (m)	92.03	Reach Len. (m)	40.00	40.00	40.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		91.66	
E.G. Slope (m/m)	0.001450	Area (m2)		91.66	
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)		145.00	
Top Width (m)	51.67	Top Width (m)		51.67	
Vel Total (m/s)	1.58	Avg. Vel. (m/s)		1.58	
Max Chl Dpth (m)	2.03	Hydr. Depth (m)		1.77	
Conv. Total (m3/s)	3807.5	Conv. (m3/s)		3807.5	
Length Wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)		52.29	
Min Ch El (m)	90.00	Shear (N/m2)		24.93	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	3351.45	0.00	0.00
Frictn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)	1.68	563.63	2.05
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	2.97	247.48	3.75
Errors, Warnings and Notes					
Select Profile					

Figura 4.6.1.40 Errores que presenta la sección transversal 4,560 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 1260m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso con presencia de sedimento a uno de los costados causando desbordamientos en sus riberas

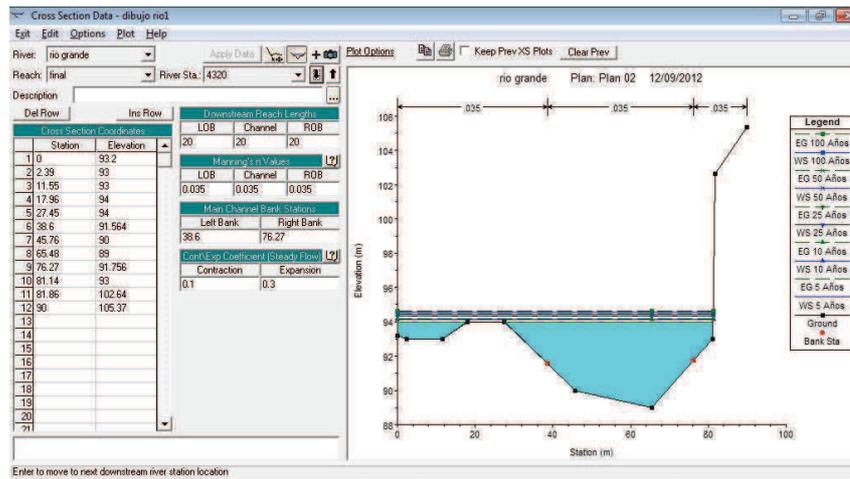


Figura 4.6.1.41 Sección Transversal 4,320 del tramo antes de la limpieza

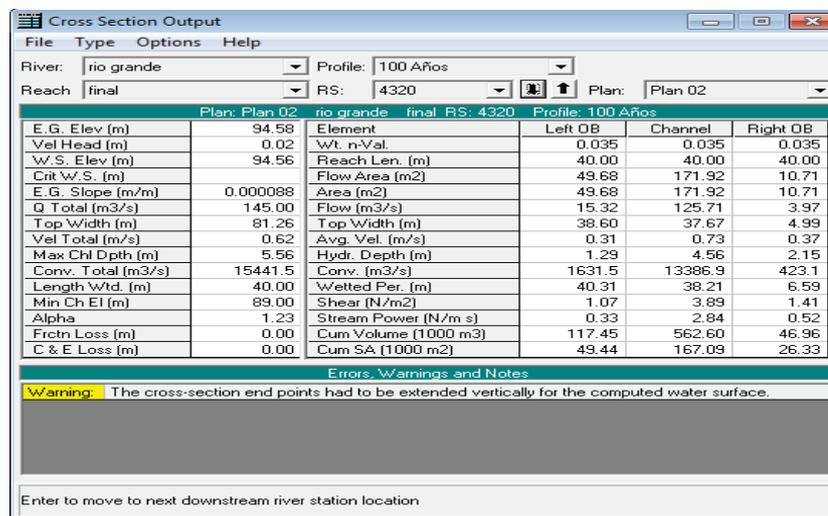


Figura 4.6.1.42 Errores que presenta la sección transversal 4,320 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

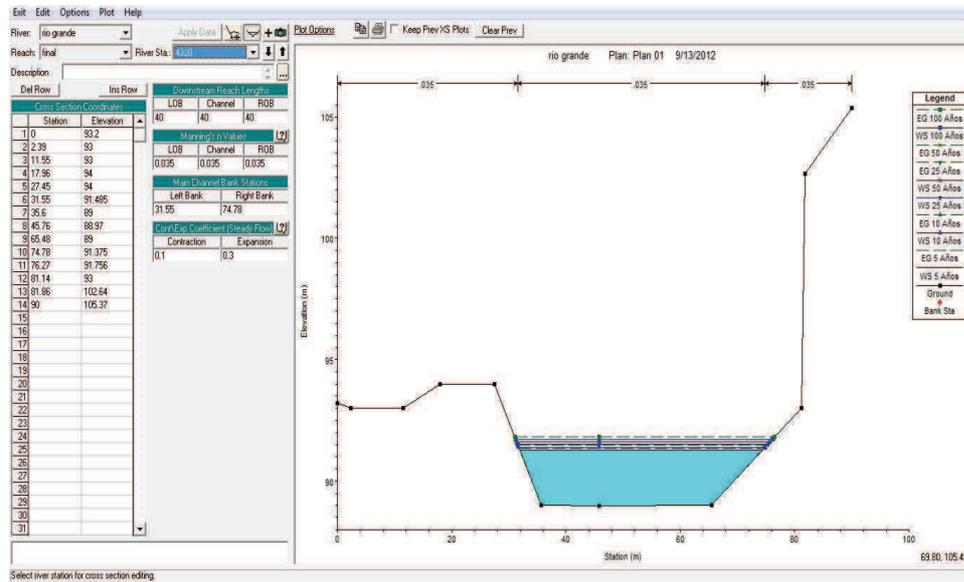


Figura 4.6.1.43 Sección Transversal 4,320 del tramo después de la limpieza

Plan: Plan 01 rio grande final RS: 4320 Profile: 100 Años			
Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	91.82		
Vel Head (m)	0.10		
W.S. Elev (m)	91.71		
Crit W.S. (m)			
E.G. Slope (m/m)	0.000835		
Q Total (m3/s)	145.00		
Top Width (m)	44.92		
Vel Total (m/s)	1.43		
Max Chl Dpth (m)	2.71		
Conv. Total (m3/s)	5018.2		
Length Wtd. (m)	40.00		
Min Ch EI (m)	89.00		
Alpha	1.00		
Frctn Loss (m)	0.03		
C & E Loss (m)	0.00		
Element			
Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
Reach Len. (m)	40.00	40.00	40.00
Flow Area (m2)	0.04	101.14	0.22
Area (m2)	0.04	101.14	0.22
Flow (m3/s)	0.01	144.94	0.05
Top Width (m)	0.37	43.23	1.32
Avg. Vel. (m/s)	0.17	1.43	0.25
Hydr. Depth (m)	0.11	2.34	0.17
Conv. (m3/s)	0.3	5016.0	1.9
Wetted Per. (m)	0.43	44.23	1.36
Shear (N/m2)	0.79	18.72	1.33
Stream Power (N/m s)	4309.02	0.00	0.00
Cum Volume (1000 m3)	1.65	540.90	2.00
Cum SA (1000 m2)	2.86	236.33	3.56

Errors, Warnings and Notes

Enter to move to next downstream river station location

Figura 4.6.1.44 Errores que presenta la sección transversal 4,320 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 1700m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, zona donde se encuentran dos islas de sedimentación haciendo menor el Área Hidráulica

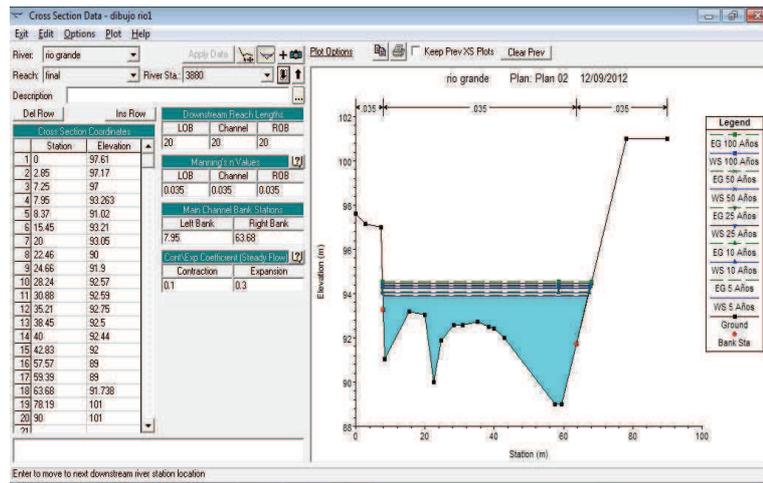


Figura 4.6.1.45 Sección Transversal 3,880 del tramo antes de la limpieza

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window for 'rio grande' at station 3880, profile '100 Años'. The table below contains the following data:

Plan: Plan 02 rio grande final RS: 3880 Profile: 100 Años					
Element	Left OB	Channel	Right OB		
E. G. Elev (m)	94.49				
Vel Head (m)	0.04				
W.S. Elev (m)	94.45				
Crit W.S. (m)					
E. G. Slope (m/m)	0.000269				
Q Total (m3/s)	145.00				
Top Width (m)	60.20				
Vel Total (m/s)	0.87				
Max Chl Dpth (m)	5.45				
Conv. Total (m3/s)	8894.4				
Length/Wtd. (m)	40.00				
Min Ch El (m)	89.00				
Alpha	1.02				
Frcn Loss (m)	0.01				
C & E Loss (m)	0.00				
Element					
Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035		
Reach Len. (m)	40.00	40.00	40.00		
Flow Area (m2)	0.13	159.87	5.76		
Area (m2)	0.13	159.87	5.76		
Flow (m3/s)	0.01	142.04	2.95		
Top Width (m)	0.22	55.73	4.25		
Avg. Vel. (m/s)	0.11	0.89	0.51		
Hydr. Depth (m)	0.59	2.87	1.36		
Conv. (m3/s)	0.9	8653.8	179.6		
Wetted Per. (m)	1.21	61.30	5.04		
Shear (N/m2)	0.29	6.89	3.02		
Stream Power (N/m s)	0.03	6.12	1.55		
Cum Volume (1000 m3)	97.83	492.45	40.86		
Cum SA (1000 m2)	40.02	152.01	23.75		

Figura 4.6.1.46 Errores que presenta la sección transversal 3,880 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

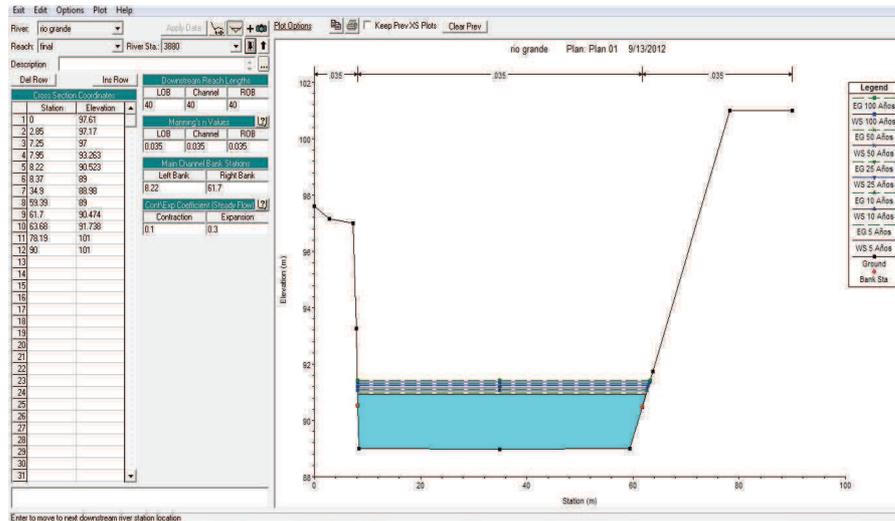


Figura 4.6.1.47 Sección Transversal 3,880 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help				
River:	rio grande	Profile:	100 Años	
Reach:	final	RS:	3880	Plan: Plan 01
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 3880 Profile: 100 Años				
E. G. Elev (m)	91.43	Element	Left OB	Channel
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	91.36	Reach Len. (m)	40.00	40.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.03	124.34
E. G. Slope (m/m)	0.000564	Area (m2)	0.03	124.34
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	0.00	144.78
Top Width (m)	54.95	Top Width (m)	0.08	53.48
Vel Total (m/s)	1.16	Avg. Vel. (m/s)	0.08	1.16
Max Chl Dpth (m)	2.36	Hydr. Depth (m)	0.42	2.32
Conv. Total (m3/s)	6106.9	Conv. (m3/s)	0.1	6097.7
Length Wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)	0.84	55.29
Min Ch EI (m)	89.00	Shear (N/m2)	0.23	12.43
Alpha	1.01	Stream Power (N/m s)	4309.02	0.00
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	1.23	494.44
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	2.19	216.64
Errors, Warnings and Notes				
Enter to move to next upstream river station location				

Figura 4.6.1.48 Errores que presenta la sección transversal 3,880 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 1740m aguas abajo del puente Don Luis de Moscoso, donde se encuentra una isla en el centro del Área Hidráulica provocando obstaculización al agua.

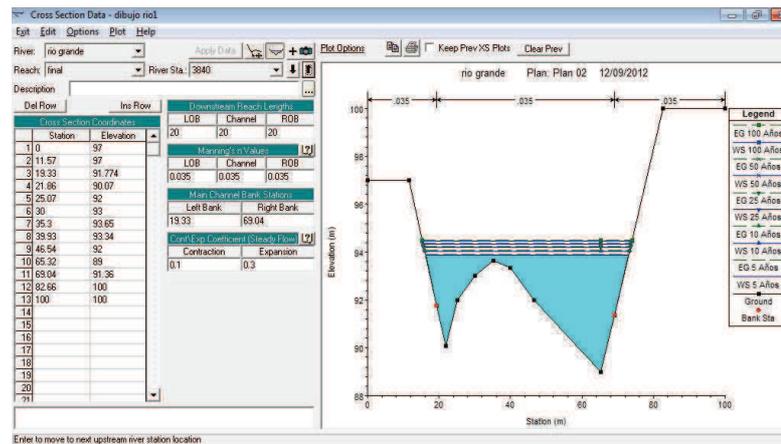


Figura 4.6.1.49 Sección Transversal 3,840 del tramo antes de la limpieza

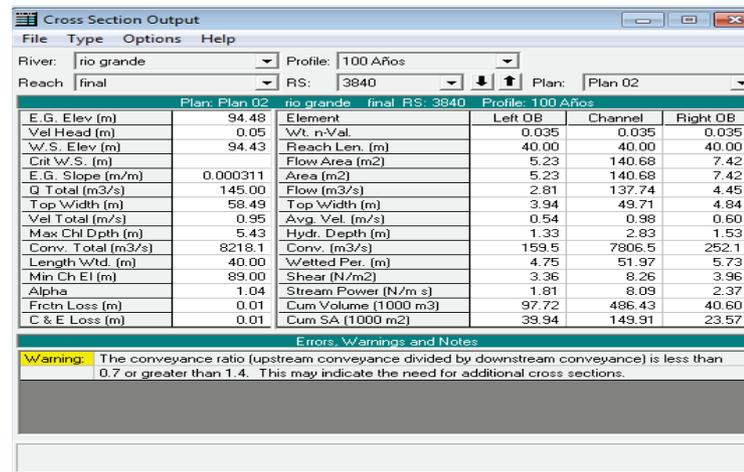


Figura 4.6.1.50 Errores que presenta la sección transversal 3,840 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

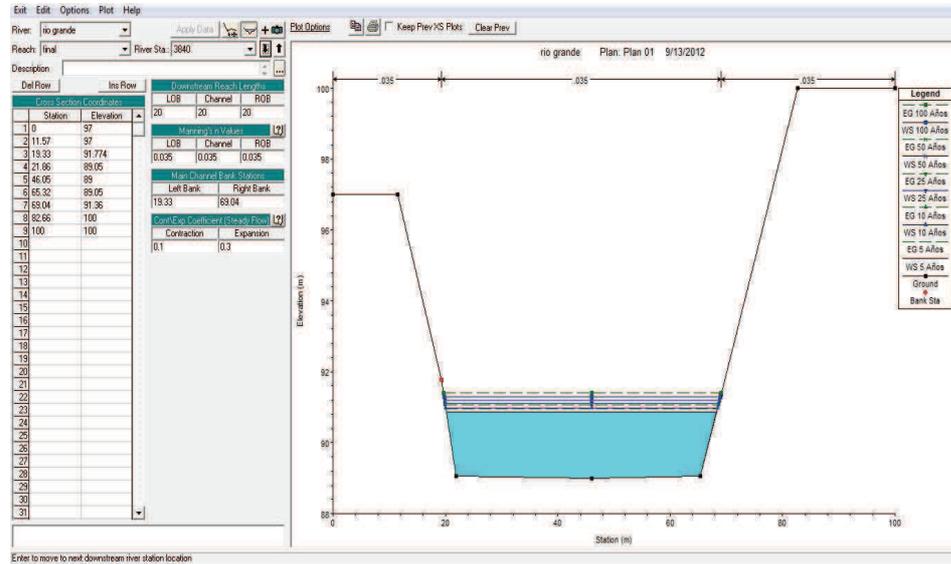


Figura 4.6.1.51 Sección Transversal 3,840 del tramo después de la limpieza

Plan: Plan 01 rio grande final RS: 3840 Profile: 100 Años					
Element	Left OB	Channel	Right OB		
E.G. Elev (m)	91.40				
Vel Head (m)	0.09				
W.S. Elev (m)	91.30				
Crit W.S. (m)					
E.G. Slope (m/m)	0.000842				
Q Total (m ³ /s)	145.00				
Top Width (m)	49.19				
Vel Total (m/s)	1.36				
Max Chl Dpth (m)	2.30				
Conv. Total (m ³ /s)	4997.9				
Length Wtd. (m)	20.00				
Min Ch EI (m)	89.00				
Alpha	1.00				
Frctn Loss (m)	0.02				
C & E Loss (m)	0.00				
Wt. n-Val.		0.035			
Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00		
Flow Area (m ²)		106.74			
Area (m ²)		106.74			
Flow (m ³ /s)		145.00			
Top Width (m)		49.19			
Avg. Vel. (m/s)		1.36			
Hydr. Depth (m)		2.17			
Conv. (m ³ /s)		4997.9			
Wetted Per. (m)		50.88			
Shear (N/m ²)		17.32			
Stream Power (N/m s)	4787.79	0.00	0.00		
Cum Volume (1000 m ³)	1.23	489.81	1.51		
Cum SA (1000 m ²)	2.19	214.59	2.80		

Figura 4.6.1.52 Errores que presenta la sección transversal 3,840 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 2140m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, zona con gran sedimentación a uno de los costados

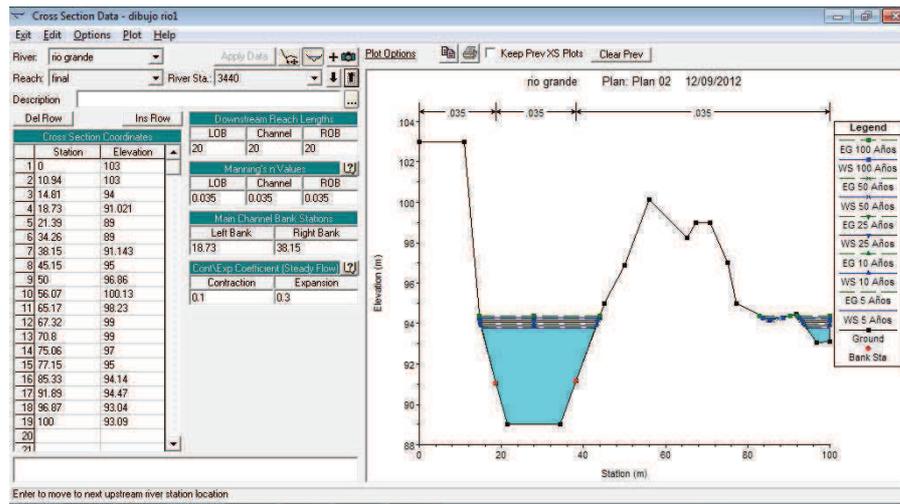


Figura 4.6.1.53 Sección Transversal 3,440 del tramo antes de la limpieza

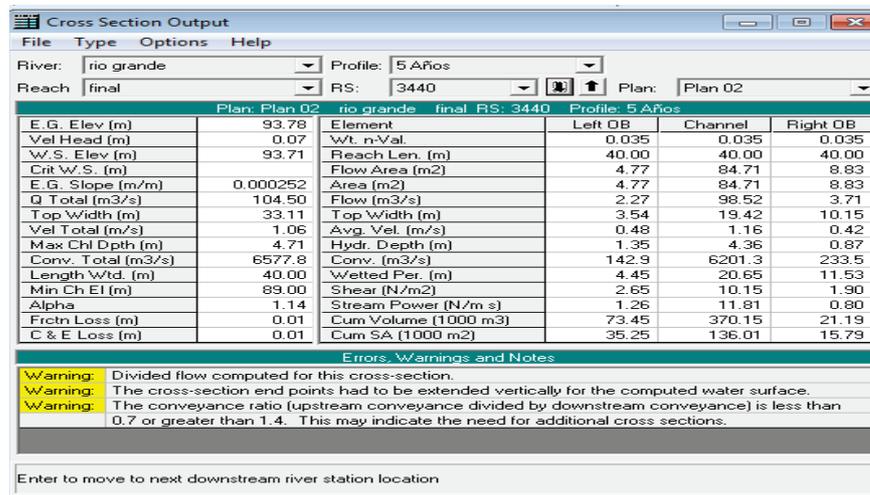


Figura 4.6.1.54 Errores que presenta la sección transversal 3,440 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

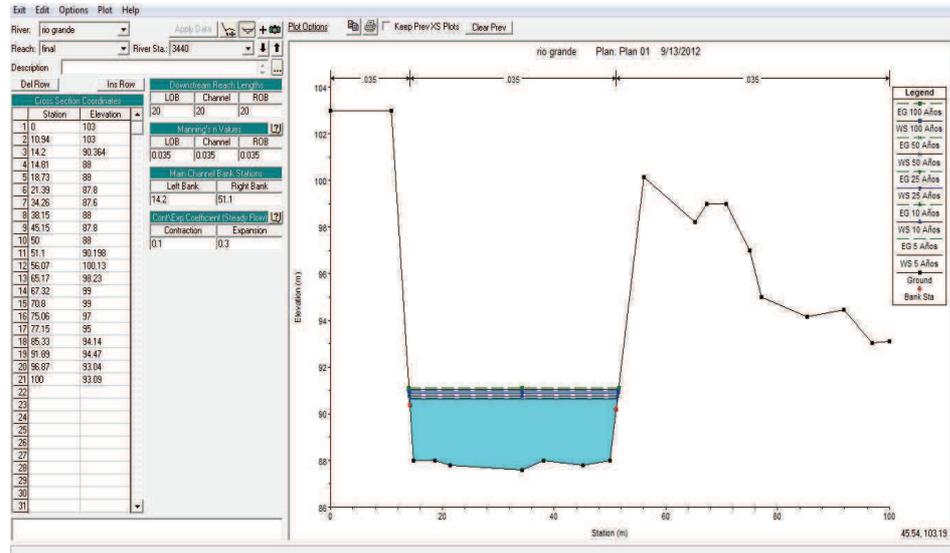


Figura 4.6.1.55 Sección Transversal 3,440 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help			
River:	rio grande	Profile:	100 Años
Reach:	final	RS:	3440
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 3440 Profile: 100 Años			
E. G. Elev (m)	91.12	Element	Left OB Channel Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.035 0.035 0.035
W. S. Elev (m)	91.04	Reach Len. (m)	20.00 20.00 20.00
Crit W. S. (m)		Flow Area (m ²)	0.06 116.28 0.18
E. G. Slope (m/m)	0.000461	Area (m ²)	0.06 116.28 0.18
Q Total (m ³ /s)	145.00	Flow (m ³ /s)	0.01 144.96 0.04
Top Width (m)	37.49	Top Width (m)	0.17 36.90 0.42
Vel Total (m/s)	1.24	Avg. Vel. (m/s)	0.12 1.25 0.20
Max Chl Dpth (m)	3.44	Hydr. Depth (m)	0.34 3.15 0.42
Conv. Total (m ³ /s)	6754.9	Conv. (m ³ /s)	0.3 6752.9 1.7
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)	0.70 40.13 0.94
Min Ch El (m)	87.60	Shear (N/m ²)	0.38 13.09 0.85
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	4787.79 0.00 0.00
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m ³)	0.79 440.02 1.08
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m ²)	1.80 198.79 2.43
Errors, Warnings and Notes			
Select River Station			

Figura 4.6.1.56 Errores que presenta la sección transversal 3,440 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 2500 m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, zona de desbordamiento a causa de poca área hidráulica.

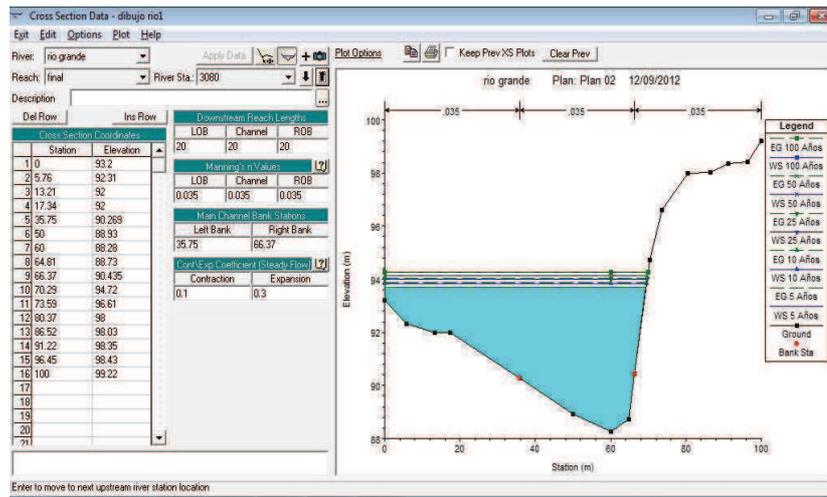


Figura 4.6.1.57 Sección Transversal 3,080 del tramo antes de la limpieza

The screenshot shows the 'Cross Section Output' window for 'rio grande' at station 3080, Profile: 100 Años. The table provides a comprehensive summary of the hydraulic characteristics of the cross-section.

Parameter	Value	Left OB	Channel	Right OB
E. G. Elev (m)	94.25			
Vel Head (m)	0.02			
W. S. Elev (m)	94.24			
Crit W. S. (m)				
E. G. Slope (m/m)	0.000065			
Q Total (m³/s)	145.00			
Top Width (m)	69.85			
Vel Total (m/s)	0.57			
Max Chl Dpth (m)	5.96			
Conv. Total (m³/s)	18045.2			
Length Wtd. (m)	40.00			
Min Ch El (m)	88.28			
Alpha	1.15			
Frch Loss (m)	0.00			
C & E Loss (m)	0.00			
Wt. n-Val	0.035	0.035	0.035	0.035
Reach Len. (m)	40.00	40.00	40.00	40.00
Flow Area (m²)	90.42	157.25	6.61	
Area (m²)		90.42	157.25	6.61
Flow (m³/s)		37.70	105.50	1.79
Top Width (m)		35.75	30.62	3.48
Avg. Vel. (m/s)		0.42	0.67	0.27
Hydr. Depth (m)		2.53	5.14	1.90
Conv. (m³/s)		4692.1	13130.0	223.1
Wetted Per. (m)		36.94	31.48	5.15
Shear (N/m²)		1.55	3.16	0.81
Stream Power (N/m s)		0.65	2.12	0.22
Cum Volume (1000 m³)		72.71	392.14	24.53
Cum SA (1000 m²)		28.74	130.53	16.58

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

Figura 4.6.1.58 Errores que presenta la sección transversal 3,080 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

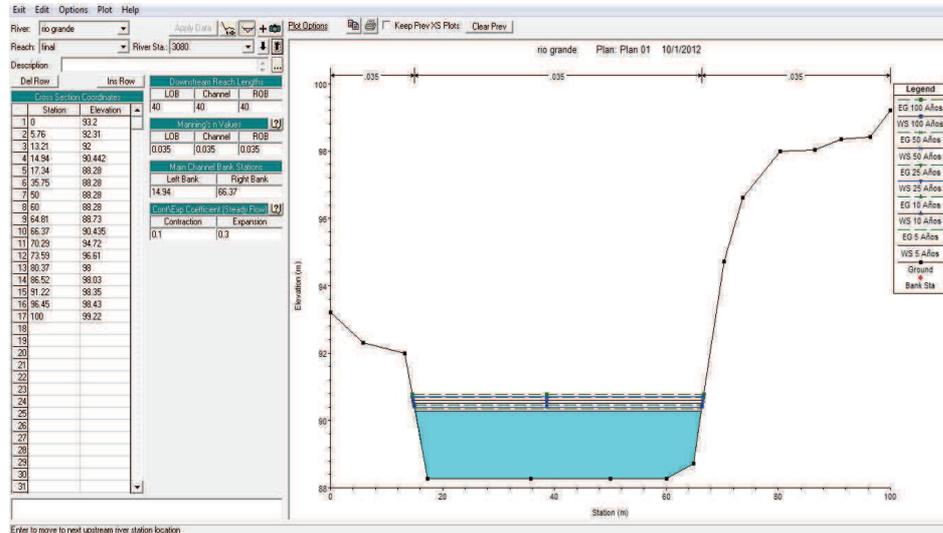


Figura 4.6.1.59 Sección Transversal 3,080 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help					
River:	rio grande	Profile:	100 Años		
Reach:	final	RS:	3080	Plan:	Plan 01
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 3080 Profile: 100 Años					
E.G. Elev (m)	90.78	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	90.70	Reach Len. (m)	40.00	40.00	40.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.04	118.75	0.03
E.G. Slope (m/m)	0.000623	Area (m2)	0.04	118.75	0.03
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	0.01	144.99	0.00
Top Width (m)	51.96	Top Width (m)	0.29	51.43	0.24
Vel Total (m/s)	1.22	Avg. Vel. (m/s)	0.15	1.22	0.14
Max Chl Dpth (m)	2.42	Hydr. Depth (m)	0.13	2.31	0.13
Conv. Total (m3/s)	5807.5	Conv. (m3/s)	0.2	5807.0	0.2
Length Wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)	0.39	53.03	0.36
Min Ch El (m)	88.28	Shear (N/m2)	0.59	13.69	0.55
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	4787.79	0.00	0.00
Frict Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	0.72	398.96	0.97
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.62	181.44	2.15
Errors, Warnings and Notes					
Enter to move to next upstream river station location					

Figura 4.6.1.60 Errores que presenta la sección transversal 3,080 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 3220 m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, poca área hidráulica necesaria para la capacidad de caudal máximo calculado.

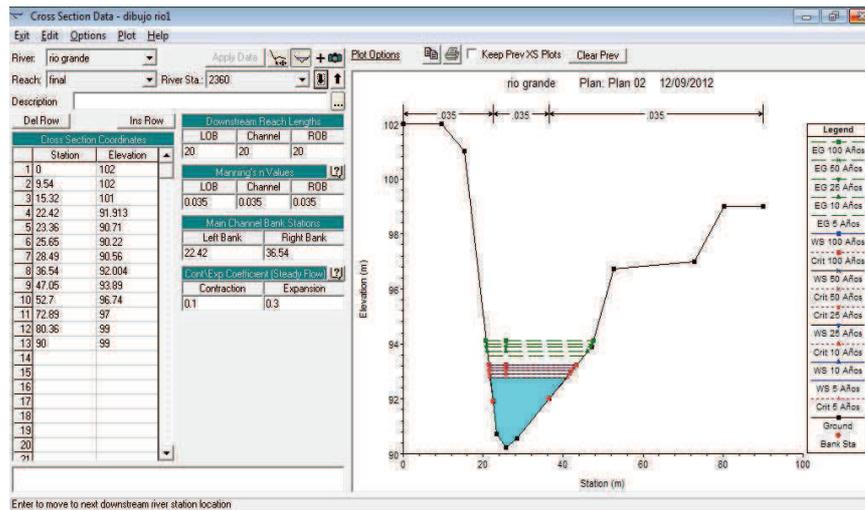


Figura 4.6.1.61 Sección Transversal 2,360 del tramo antes de la limpieza

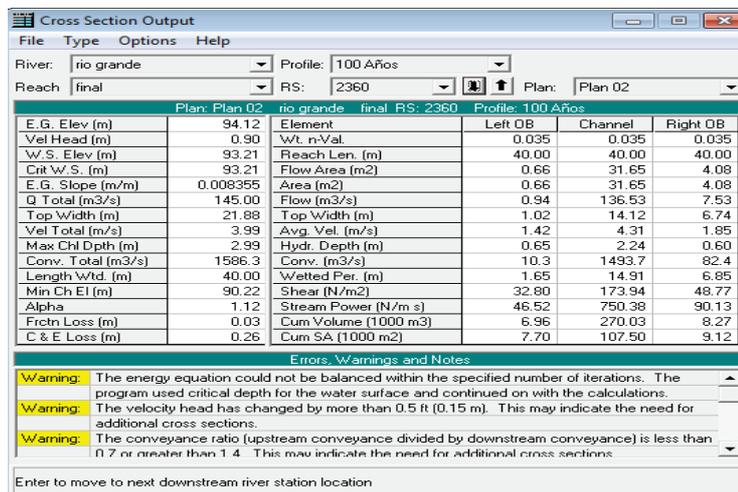


Figura 4.6.1.62 Errores que presenta la sección transversal 2,360 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

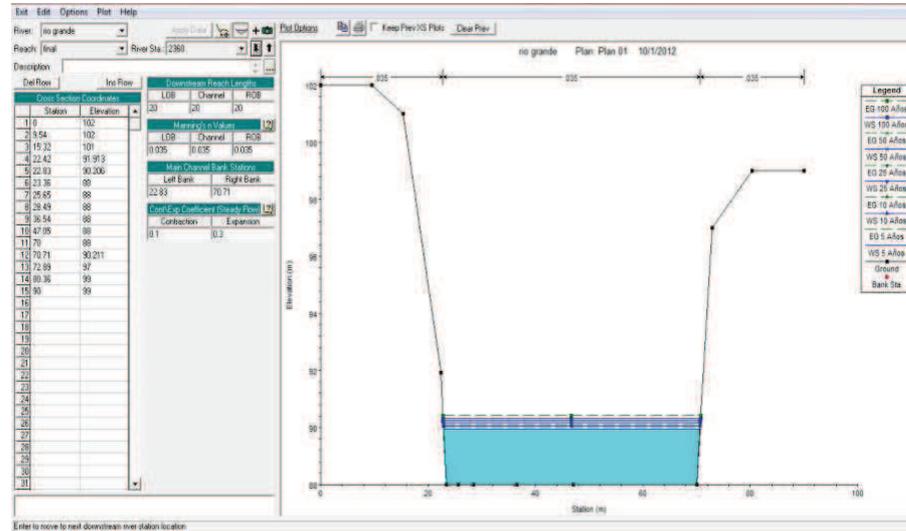


Figura 4.6.1.63 Sección Transversal 2,360 del tramo después de la limpieza

File Type Options Help					
River:	rio grande	Profile:	100 Años		
Reach:	final	RS:	2360	Plan: Plan 01	
Plan: Plan 01 rio grande final RS: 2360 Profile: 100.Años					
E.G. Elev (m)	90.41	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.09	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	90.32	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.00	109.84	0.00
E.G. Slope (m/m)	0.000772	Area (m2)	0.00	109.84	0.00
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	0.00	145.00	0.00
Top Width (m)	47.94	Top Width (m)	0.03	47.88	0.04
Vel Total (m/s)	1.32	Avg. Vel. (m/s)	0.05	1.32	0.05
Max Chl Dpth (m)	2.32	Hydr. Depth (m)	0.06	2.29	0.06
Conv. Total (m3/s)	5217.8	Conv. (m3/s)	0.0	5217.8	0.0
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)	0.12	51.23	0.12
Min Ch El (m)	88.00	Shear (N/m2)	0.10	16.24	0.13
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	4309.02	0.00	0.00
Frcn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)	0.38	294.68	0.47
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.83	139.31	1.14
Errors, Warnings and Notes					
Select Profile					

Figura 4.6.1.64 Errores que presenta la sección transversal 2,360 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 4220 m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso, con isla al centro de su área hidráulica debido al asentamiento de sedimentos y en peligro de desbordamiento es sus riberas.

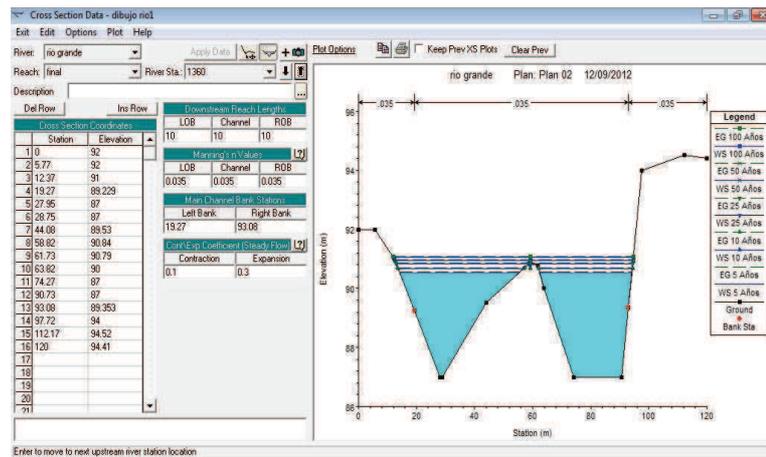


Figura 4.6.1.65 Sección Transversal 1,360 del tramo antes de la limpieza

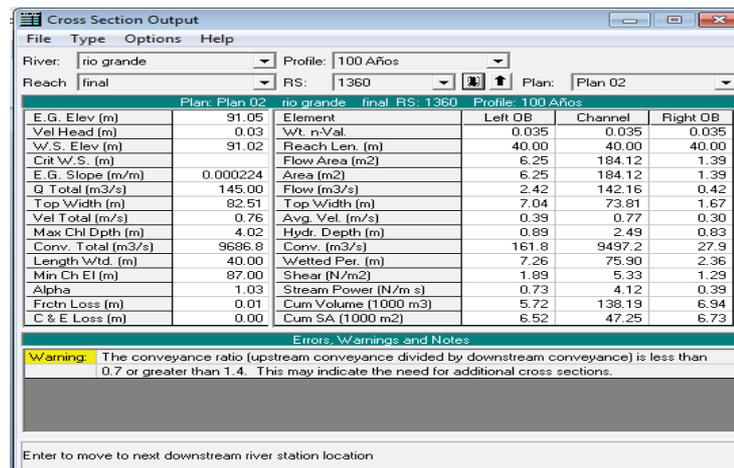


Figura 4.6.1.66 Errores que presenta la sección transversal 1,360 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

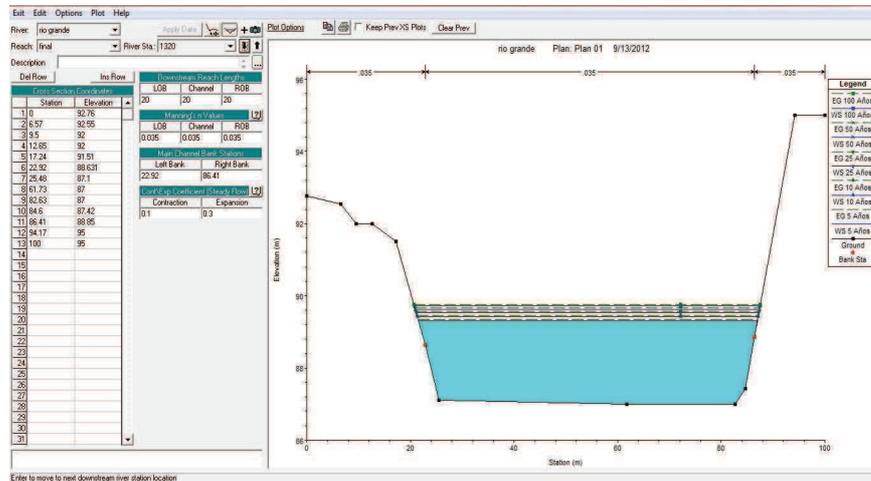


Figura 4.6.1.67 Sección Transversal 1,360 del tramo después de la limpieza

Plan: Plan 01 rio grande final RS: 1360 Profile: 100 Años			
Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	89.77		
Vel Head (m)	0.02	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	89.74	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		0.07	0.08
E.G. Slope (m/m)	0.000154	0.07	0.08
Q Total (m3/s)	145.00	0.01	144.99
Top Width (m)	80.46	0.26	79.81
Vel Total (m/s)	0.67	0.08	0.67
Max Chl Dpth (m)	2.74	0.26	2.70
Conv. Total (m3/s)	11677.3	0.5	11676.3
Length Wtd. (m)	20.00	0.58	82.44
Min Ch El (m)	87.00	0.18	3.95
Alpha	1.00	5745.35	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	0.33	147.98
C & E Loss (m)	0.00	0.70	69.55
Area (m2)		215.41	0.08
Flow (m3/s)		144.99	0.01
Top Width (m)		79.81	0.39
Avg. Vel. (m/s)		0.67	0.09
Hydr. Depth (m)		2.70	0.20
Conv. (m3/s)		11676.3	0.6
Wetted Per. (m)		82.44	0.55
Shear (N/m2)		3.95	0.21
Stream Power (N/m s)		0.00	0.00
Cum Volume (1000 m3)		147.98	0.42
Cum SA (1000 m2)		69.55	0.98

Figura 4.6.1.68 Errores que presenta la sección transversal 1,360 del tramo después de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

Sección transversal a 5380 m aguas abajo del Puente Don Luis de Moscoso con una Área Hidráulica demasiado menor al Área necesaria para el transporte del Caudal Máximo calculado y con peligro de desbordamiento

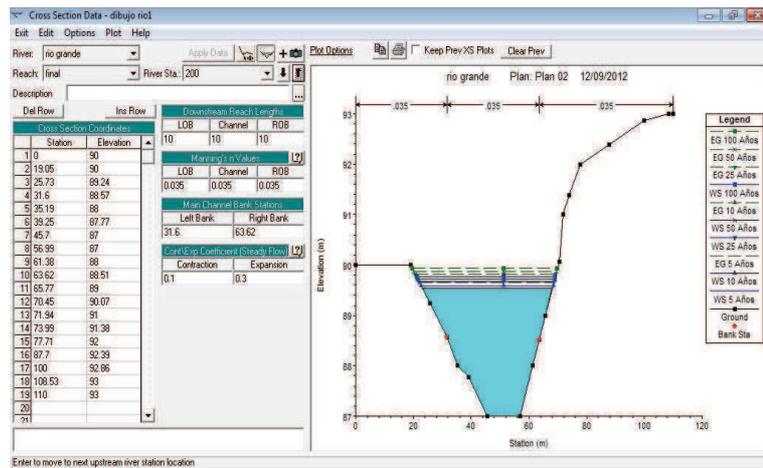


Figura 4.6.1.69 Sección Transversal 200 del tramo antes de la limpieza

Plan: Plan 02		rio grande	final RS: 200	Profile: 100 Años	
E.G. Elev (m)	89.92				
Vel Head (m)	0.18				
W.S. Elev (m)	89.75				
Crit W.S. (m)					
E.G. Slope (m/m)	0.001517				
Q Total (m3/s)	145.00				
Top Width (m)	47.77				
Vel Total (m/s)	1.77				
Max Chl Depth (m)	2.75				
Conv. Total (m3/s)	3723.4				
Length Wtd. (m)	40.00				
Min Ch El (m)	87.00				
Alpha	1.10				
Frict Loss (m)	0.08				
C & E Loss (m)	0.00				
Element					
Wt. n-Val		0.035		0.035	0.035
Reach Len. (m)		40.00		40.00	40.00
Flow Area (m2)		6.08		72.27	3.35
Area (m2)		6.08		72.27	3.35
Flow (m3/s)		4.73		137.61	2.67
Top Width (m)		10.33		32.02	5.42
Avg. Vel. (m/s)		0.79		1.90	0.79
Hydr. Depth (m)		0.59		2.25	0.52
Conv. (m3/s)		121.3		3533.6	68.5
Wetted Per. (m)		10.40		32.29	5.56
Shear (N/m2)		8.69		33.29	8.98
Stream Power (N/m s)		6.76		63.38	7.13
Cum Volume (1000 m3)		0.22		14.37	0.11
Cum SA (1000 m2)		0.64		9.74	0.29

Figura 4.6.1.70 Errores que presenta la sección transversal 200 del tramo antes de la limpieza

Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso.

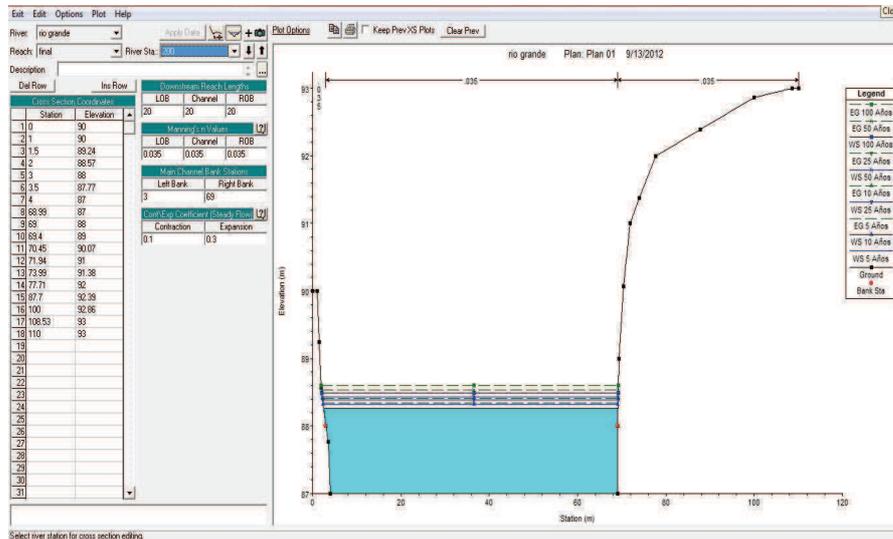


Figura 4.6.1.71 Sección Transversal 200 del tramo después de la limpieza

Plan: Plan 01		rio grande		final RS: 200	Profile: 100 Años
E.G. Elev (m)	88.60	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.11	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	88.49	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.21	97.37	0.05
E.G. Slope (m/m)	0.001663	Area (m2)	0.21	97.37	0.05
Q Total (m3/s)	145.00	Flow (m3/s)	0.09	144.90	0.01
Top Width (m)	67.04	Top Width (m)	0.85	66.00	0.19
Vel Total (m/s)	1.49	Avg. Vel. (m/s)	0.41	1.49	0.23
Max Chl Dpth (m)	1.49	Hydr. Depth (m)	0.24	1.48	0.24
Conv. Total (m3/s)	3555.7	Conv. (m3/s)	2.1	3553.4	0.3
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)	0.98	67.46	0.52
Min Ch El (m)	87.00	Shear (N/m2)	3.44	23.54	1.47
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	5266.56	0.00	0.00
Frictn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.01	13.59	0.01
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.03	11.14	0.07

Errors, Warnings and Notes

Enter to move to next downstream river station location

Figura 4.6.1.72 Errores que presenta la sección transversal 200 del tramo después de la limpieza

4.6.2 MODELO HIDRAULICO UNIDIMENSIONAL

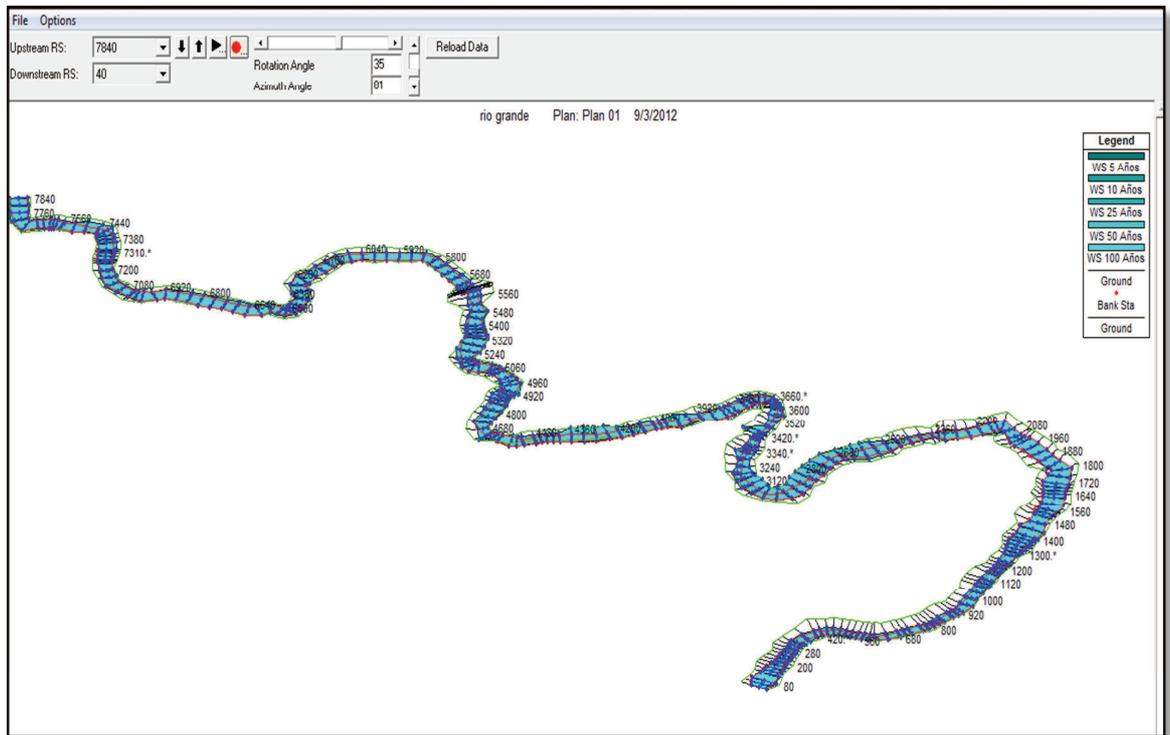


Figura 4.6.2.1 Modelo Hidráulico Unidimensional de tramo en estudio mediante HEC-RAS

4.7 PROPUESTA DE LIMPIEZA DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL

Al producirse los desastres naturales se manifiestan vulnerabilidades asociadas al entorno social cuyas estructuras como viviendas, vías de comunicación son propensas a ser dañadas por este tipo de fenómenos.

Cuando se habla de inundaciones se reconoce que la amenaza es el desbordamiento de los ríos hacia zonas agrícolas o pobladas, o bien el flujo masivo de precipitación pluvial en estas zonas. Esta amenaza puede ser manejada mediante obras de ingeniería mediana o de gran envergadura, para minimizar la amenaza de desbordamientos en este río se recomienda lo siguiente:

4.7.1 Volumen de material a extraer.

Realizar limpieza de tramos donde se observa sedimentación que obstaculiza el transporte libre del agua. A continuación se mencionan los tramos en los cuales se propone realizar la limpieza:

- Partiendo de la sección transversal 7,840 hasta la sección transversal 7,640 se sugiere realizar un volumen de extracción de sedimentos de $2,570\text{m}^3$.
- De la sección transversal 7,600 hasta la sección transversal 7,560 con un volumen de extracción de sedimentos de 254 m^3 .
- Desde la sección transversal 7,270 hasta la sección transversal 7,180 con un

- volumen de extracción de sedimentos de 3,749.4 m³.
- Desde la sección transversal 5,520 hasta la sección transversal 5,510 con un volumen de extracción de sedimentos de 1,366 m³.
 - Desde la sección transversal 5,440 hasta la sección transversal 5,360 con un volumen de extracción de sedimentos de 1,675 m³.
 - Desde la sección transversal 5,120 hasta la sección transversal 5,080 con un volumen de extracción de sedimentos de 1,670 m³.
 - Desde la sección transversal 5,040 hasta la sección transversal 4,360 con un volumen de extracción de sedimentos de 66,606 m³.
 - Desde la sección transversal 4,120 hasta la sección transversal 3,640 con un volumen de extracción de sedimentos de 42,278.4 m³.
 - Desde la sección transversal 3,600 hasta la sección transversal 2,560 con un volumen de extracción de sedimentos de 121,680 m³.
 - Desde la sección transversal 2,520 hasta la sección transversal 1,480 con un volumen de extracción de sedimentos de 129,740 m³.
 - Desde la sección transversal 1,440 hasta la sección transversal 1,320 con un volumen de extracción de sedimentos de 9,144 m³.
 - Desde la sección transversal 1,160 hasta la sección transversal 1,000 con un volumen de extracción de sedimentos 11,251 m³.
 - Desde la sección transversal 880 hasta la sección transversal 680 con un volumen de extracción de sedimentos de 11,486 m³.

- Desde la sección transversal 640 hasta la sección transversal 440 con un volumen de extracción de sedimentos de 16,060 m³.
- Desde la sección transversal 400 finalizando en la sección transversal 40 con un volumen de extracción de sedimentos de 31,708.8 m³.

Obteniendo un volumen total de extracción de sedimentos en el tramo evaluado del Río Grande de San Miguel de 441,284.8 m³.

4.7.2 Zonas Vulnerables para Obras de Protección

También se recomienda que en las partes vulnerables se realicen obras de protección para evitar deslaves en los taludes, las cuales se menciona a continuación:

- Entre los tramos: 5360 al 5160 al oeste son necesarias obras de protección, ya que en este sector se localizan comunidades en la colonia Jardines del Río las cuales se ven afectadas cuando suceden eventos extraordinarios desbordándose el río.
- Entre los tramos: 4920 al 4600 al oeste son necesarias obras de protección, ya que en este sector se localizan comunidades en la colonia Jardines del Río las cuales se ven afectadas cuando suceden eventos extraordinarios desbordándose el río.

- Entre los tramos: 4400 al 4160 al oeste son necesarias obras de protección ya que en este sector se localizan comunidades en las cuales se ven afectadas cuando suceden eventos extraordinarios desbordándose el río.
- Entre los tramos: 3160 al 2560 al oeste son necesarias obras de protección ya que en este sector se localizan comunidades en las cuales se ven afectadas cuando suceden eventos extraordinarios desbordándose el río.
- Entre los tramos: 1560 al 960 al oeste se necesitan obras de protección, localizándose aquí las lagunas de lixiviado del Ingenio Chaparrastique estando estas a una distancia aproximada de 15m del borde del río produciendo en las laderas erosión
- Entre los tramos 560 al 240 al oeste son necesarias obras de protección, en este punto se esta produciendo cárcavas por la erosión que el impacto del agua tiene a altas velocidades en la curva el problema de esta cárcava es que esta a una distancia aproximada de 70m de la Carretera Litoral

4.7.3 Puntos Georeferenciales de Inundaciones

Puntos georeferenciales en los cuales históricamente ha habido inundaciones por desbordamientos del río:

- Residencial La Pradera: 13°28'11.17"N, 88°9'14.83"W
- Colonia La Presita: 13°28'0.9"N, 88°9'41.42"W
- Lotificación Las Brisas: 13°27'55.33"N, 88°9'19.3"W

- Colonia Carrillo: 13°27'26.9"N, 88°9'1.25"W
- Colonia Jardines del Río: 13°27'20.1"N, 88°9'24.73"W
- Lotificación Jardines de San Miguel : 13°27'14.31"N, 88°9'29.35"W
- Lotificación Siloe : 13°26'59.01"N, 88°9'25.14"W
- Comunidad El Mora : 13°26'32.19"N, 88°9'3.31"W
- La Loma o Rancho Los Tres Potrillos:
- Comunidad La Gallina:
- Ingenio Chaparrastique: 13°26'16.95"N, 88°9'1.88"W

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Tomando como base los objetivos planteados en la presente investigación y los resultados obtenidos del Análisis Hidráulico, se llegó a lo siguiente:

- ❖ Por la naturaleza del Río, la cual es de baja pendiente en el tramo evaluado, provoca sinuosidad, creando asolvamientos (ver Plano 7/7) en las curvas pronunciadas de éste, y formando islas en algunas zonas del tramo, aumentando año con año el nivel de sedimentación y a su vez reduciendo su área hidráulica impidiendo el paso libre del flujo del río. Por lo tanto una alternativa de solución a este problema sería extraer el material sedimentario.
- ❖ Los resultados obtenidos del análisis de Crecida Máxima de Diseño, mostraron que el caudal máximo alcanzado calculado mediante el programa HEC-HMS, en base a las precipitaciones de la Depresión Tropical 12E, ocurrida el mes de Octubre del año 2011, para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, se obtuvieron caudales de 104.5m³/s, 114.9 m³/s, 126.3 m³/s, 135 m³/s y 145 m³/s, respectivamente, sobrepasa la capacidad del transporte del agua en el cauce río, generando desbordamientos en algunos sectores del tramo evaluado. (Ver Anexo 4)
- ❖ El aumento o avance de la infraestructura dentro de la Cuenca del Río Grande de San Miguel, ha reducido la capacidad de infiltración del agua y aumentado la escorrentía superficial en las zonas altas; por consiguiente se tiene un aumento

del caudal en la parte baja de la cuenca, donde precisamente se encuentra localizada la Ciudad, ocasionando con este fenómeno sectores de inundaciones urbanas considerados de alto riesgo. De acuerdo a los datos obtenidos mediante la simulación HEC-HMS se calculo un caudal para La Depresión Tropical 12-E de 92.6 m³/s teniendo una diferencia en caudales para T=5 años con un aumento de 12.85%, T=10 años un aumento de 24.08%, para T= 25 años un aumento de 36.39%, para T=50 años un el aumento de 45.79% y finalmente para T=100 años con el aumento de 56.59%.

- ❖ Con base a este análisis hidráulico de crecida máxima del Río Grande de San Miguel se observa que el nivel del agua no logra alcanzar la losa del Puente Don Luis de Moscoso. (Ver Anexo 5)
- ❖ Debido a los niveles máximos alcanzados mediante la evaluación hidráulica de los programas utilizados para este estudio, se observa que el sector del Ingenio Chaparrastique, donde están ubicadas las Lagunas de Lixiviados, se encuentra en peligro de desbordarse provocando la unión del Río con las Lagunas de Lixiviados, ocasionando un impacto ambiental y daños al medio ambiente. (Ver Plano 7/7)
- ❖ Las altas velocidades que alcanza el Río y el tipo de suelo con el que está conformado, el cual es blando, producen cárcavas en las laderas de éste, una de ellas se encuentra aproximadamente a 112 m de la Carretera El Litoral, al

aumentar la erosión en esta zona, sin hacer obras de protección, la cárcava podría avanzar hasta llegar a la carretera y hacerla colapsar. (Ver Anexo 6)

- ❖ A medida que se han profundizado los procesos de destrucción del medio ambiente, tanto en las áreas rurales como en las ciudades: La falta de prácticas de conservación y el uso inapropiado de los suelos, el manejo inadecuado de desechos sólidos urbanos, entre otros; han provocado la alteración básica de los componentes del Ciclo Hidrológico, trayendo consigo efectos evidentes a este proceso como lo es el aumento desmedido de la escorrentía superficial.

5.2 RECOMENDACIONES

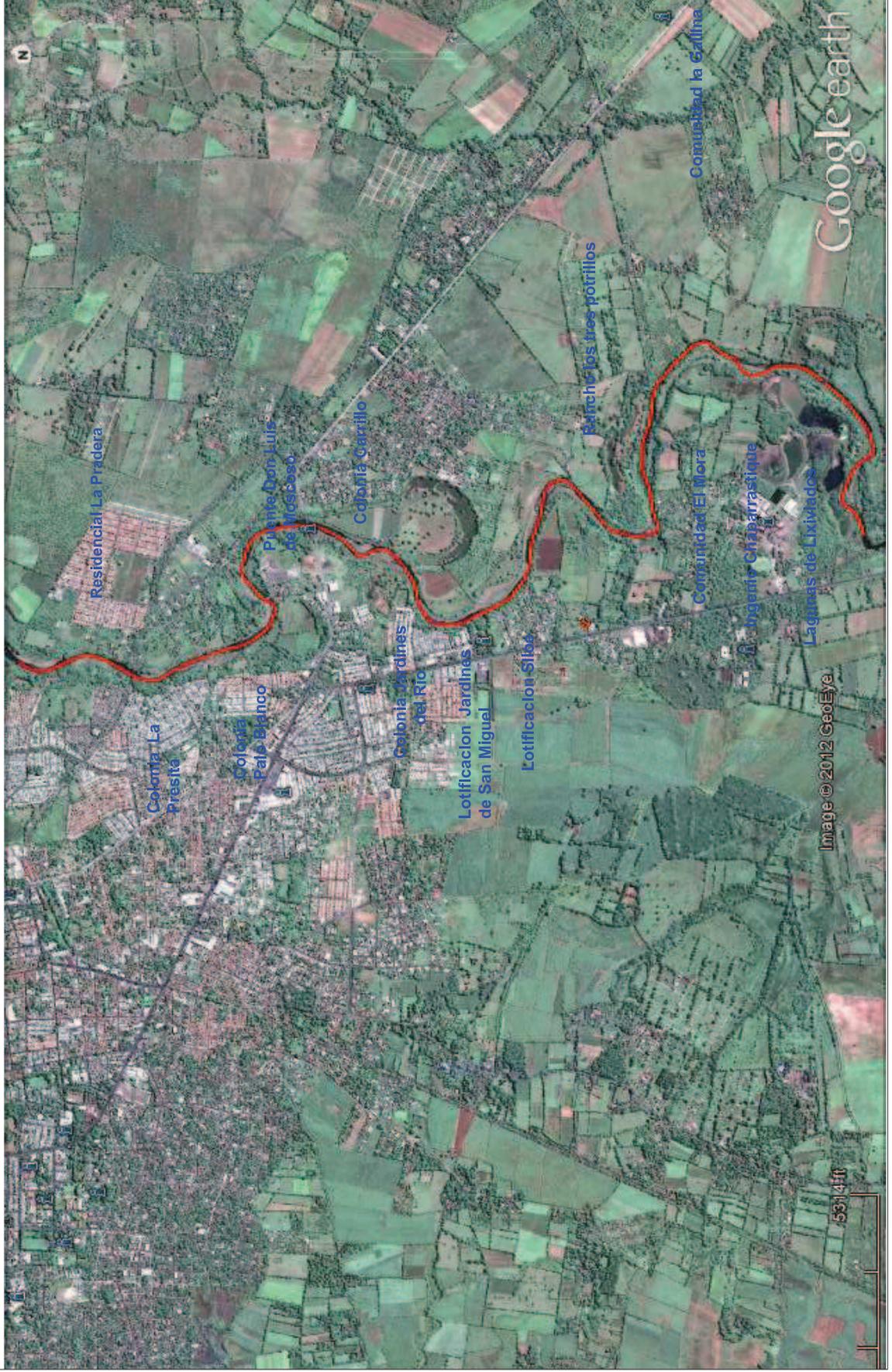
De acuerdo a las conclusiones realizadas de la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

- ❖ Realizar nuevos estudios para proponer diseños de obras de protección tomando este documento como base donde se ubican los puntos vulnerables del tramo evaluado. Entre las obras de protección mas comunes están las bordas y gaviones, en que se deberán realizar estudios geológicos con la finalidad es conocer las condiciones geológicas del terreno para identificar los posibles problemas por enfrentar durante el diseño, construcción y operación.
- ❖ Que se realicen estudios de suelo a los materiales extraídos para determinar si éstos pueden ser utilizados como material para la construcción de bordas en el Río y para la industria de la construcción, entre ellas están Gravedad Especifica y Absorción de materiales pétreos (ASTM C 127), Resistencia a la Abrasión de Agregados Pétreos (ASTM C535), Sanidad de Agregados para Concreto (ASTM C-88).
- ❖ Promover la vinculación de las instituciones de educación superior en la investigación en el campo de la hidrología urbana, como apoyo para la planificación territorial y el diseño de obras hidráulicas.

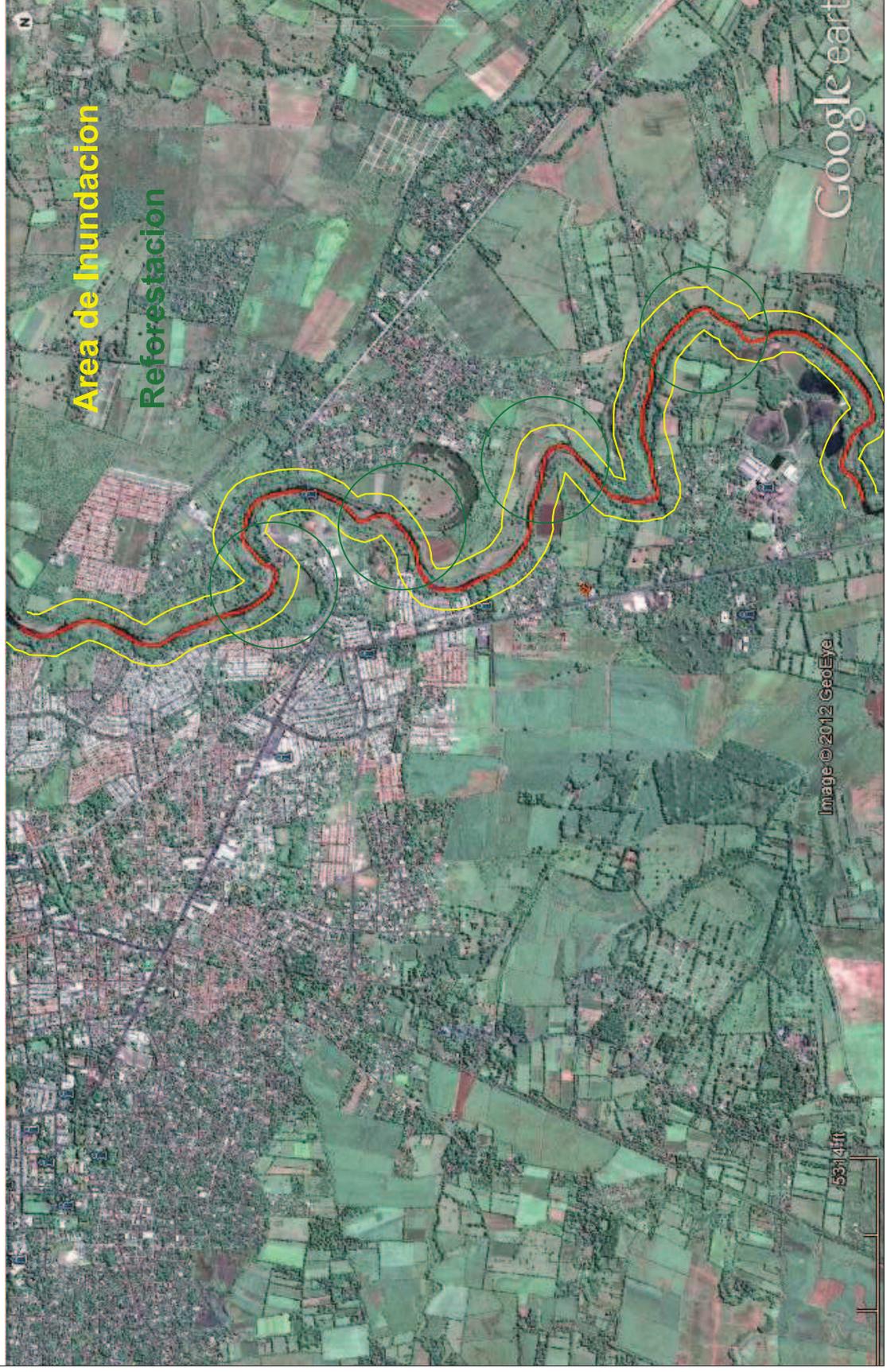
- ❖ Respetar las áreas de inundación del Río y prohibir todo tipo de desarrollo urbano y asentamientos humanos en los alrededores de éste, para que no se vean afectados cuando se desborde. (Ver Mapa 2)
- ❖ Capacitar a las comunidades que se ven afectadas con los desbordamientos del Río, en casos de evacuación, para evitar pérdidas humanas.
- ❖ Realizar estudios de pre factibilidad económica para determinar costos de inversión en obras de protección, extracción y análisis de material sedimentario.
- ❖ Reforestar las áreas cercanas para disminuir la escorrentía superficial y aumentar la filtración del agua en los alrededores del Río. (Ver Mapa 2).

MAPAS

Mapa 1. Colonias Aledañas a Riberas del Río

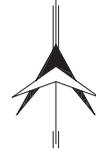


Mapa 2. Área de Inundación y Reforestación



PLANOS

Colonia La Presita



Colonia La Pradera

San Miguel

PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

CARRETERA PANAMERICANA HACIA LA UNION

Colonia La Carillo

Cancha Jardines del Rio

Colonia Jardines de Rio

Lotificacion Jardines de San Miguel

Lotificacion Siloe

Comunidad El Mora

Ingenio Chaparrastique



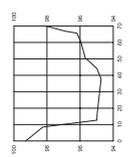
UES

PRESENTAN:
 BR: VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN
 BR: ANA DELMY PONCE CONTRERAS
 BR: XENIA MARGARITA VENTURA DIAZ

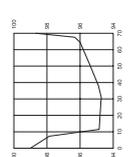
TEMA:
 EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2.351 M AGUAS ARRIBA Y 5,606 M AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

CONTENIDO:
 PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO EVALUADO, RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL

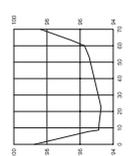
7+840



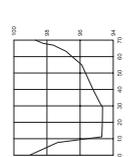
7+800



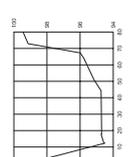
7+760



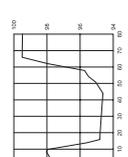
7+720



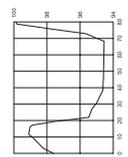
7+680



7+640



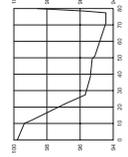
7+600



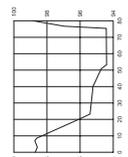
7+560



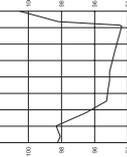
7+520



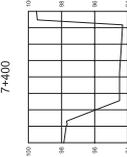
7+480



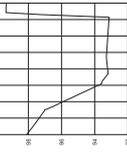
7+440



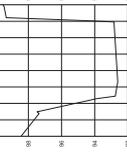
7+400



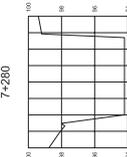
7+360



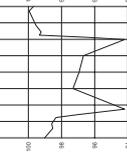
7+320



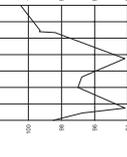
7+280



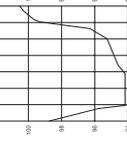
7+240



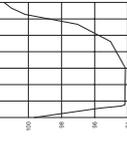
7+200



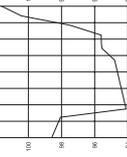
7+160



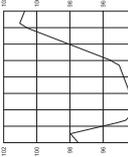
7+120



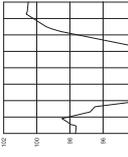
7+080



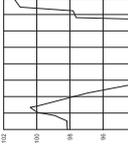
7+040



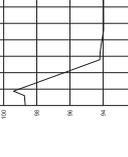
7+000



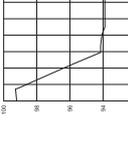
6+960



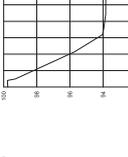
6+920



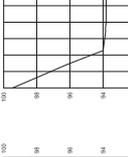
6+880



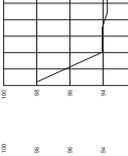
6+840



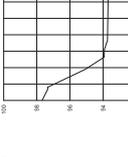
6+800



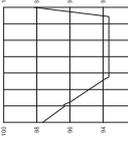
6+760



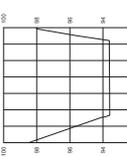
6+720



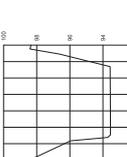
6+680



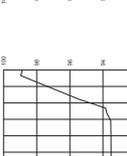
6+640



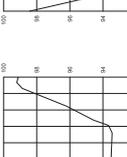
6+600



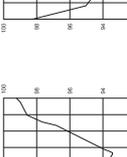
6+560



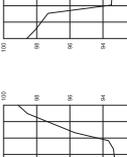
6+520



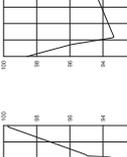
6+480



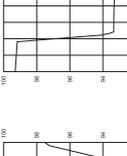
6+440



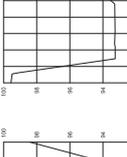
6+400



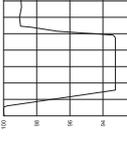
6+360



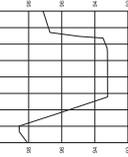
6+320



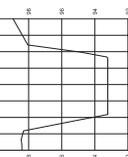
6+280



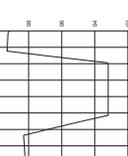
6+200



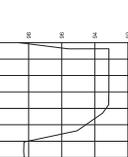
6+160



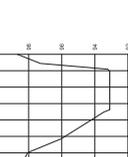
6+120



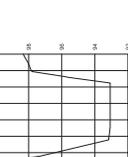
6+080



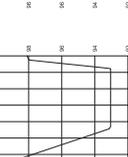
6+040



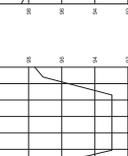
6+000



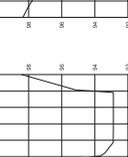
5+960



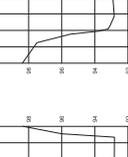
5+920



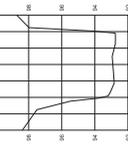
5+880



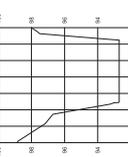
5+840



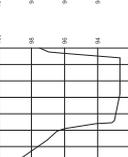
5+800



5+760



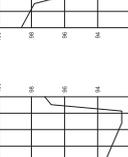
5+720



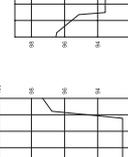
5+680



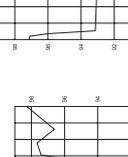
5+640



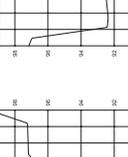
5+600



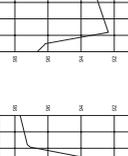
5+560



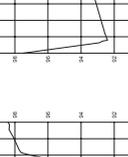
5+520



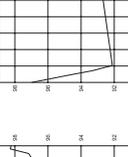
5+480



5+440



5+360



TEMA: EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2.351 M AGUAS ARRIBA Y 5,606 M AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

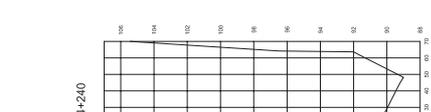
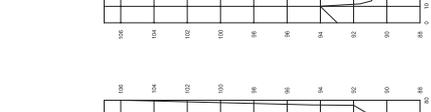
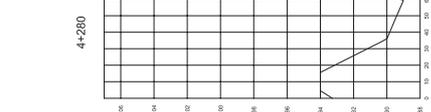
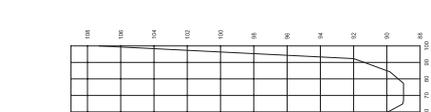
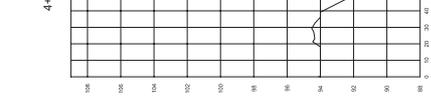
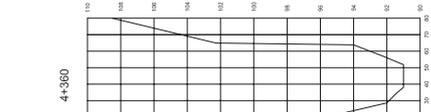
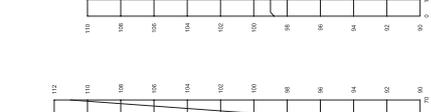
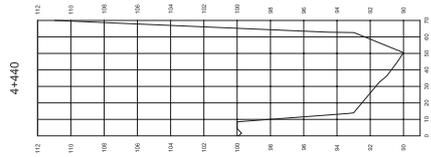
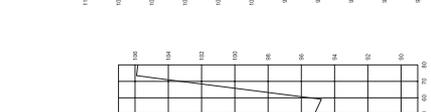
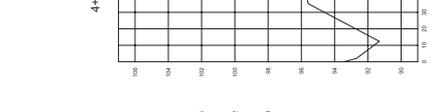
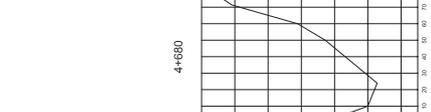
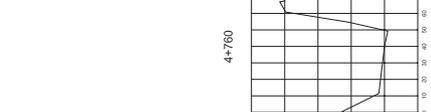
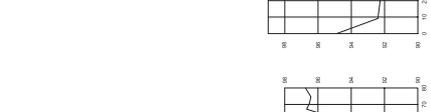
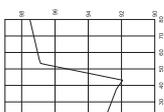
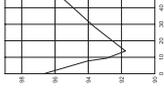
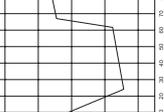
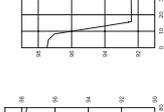
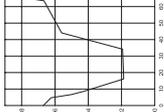
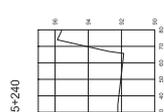
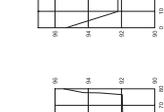
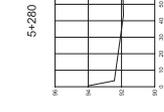
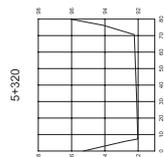
CONTENIDO: SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO EVALUADO, RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL

PRESENTAN:
BR: VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN
BR: ANA DELMY PONCE CONTRERAS
BR: XENIA MARGARITA VENTURA DIAZ



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DEPTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UES
SIN ESCALA
HOJA: 2/7
OCTUBRE 2012



TEMA:
EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2.351 M AGUAS ARRIBA Y 5,606 M AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

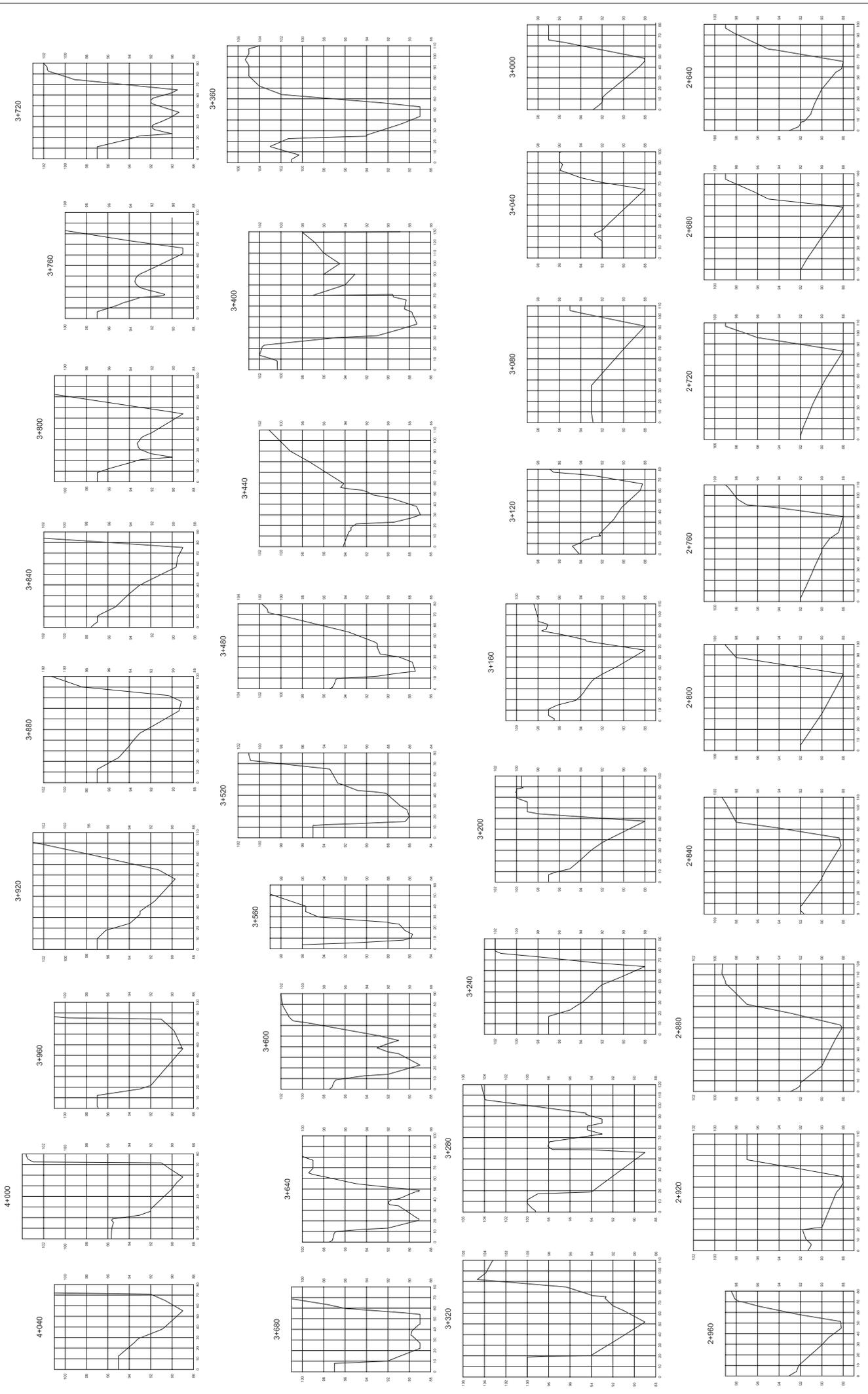
CONTENIDO:
SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO EVALUADO, RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL

PRESENTAN:
BR. VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN
BR. ANA DELMY PONCE CONTRERAS
BR. XENIA MARGARITA VENTURA DIAZ



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DEPTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UES
SIN ESCALA
HOJA: 3/7
OCTUBRE 2012



TEMA:
EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2,351 M AGUAS ARRIBA Y 5,606 M AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

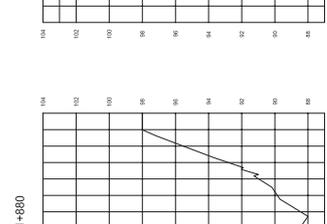
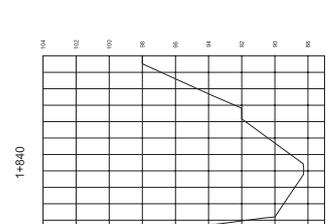
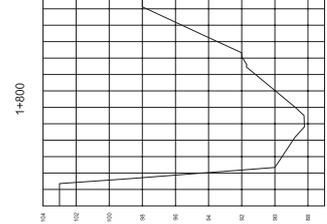
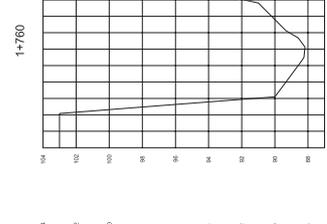
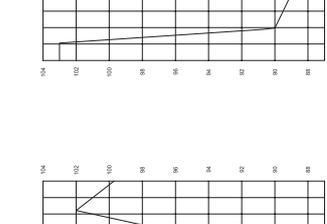
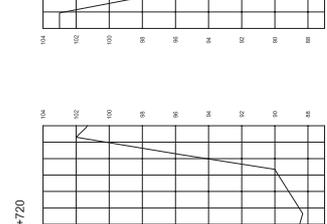
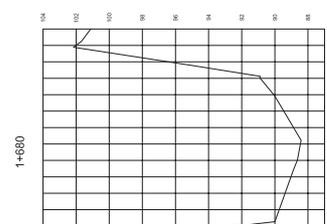
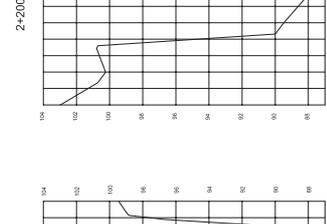
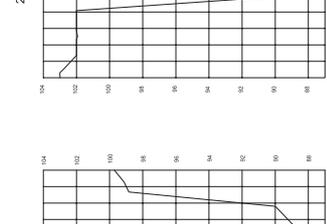
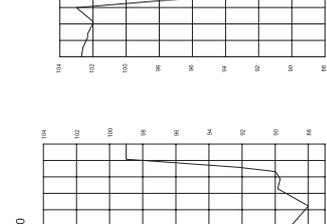
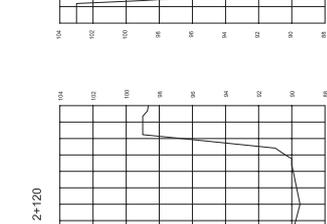
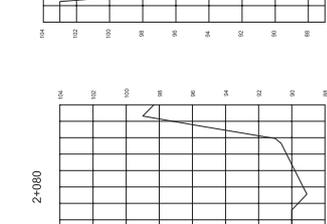
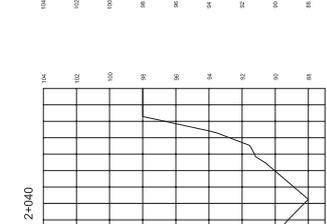
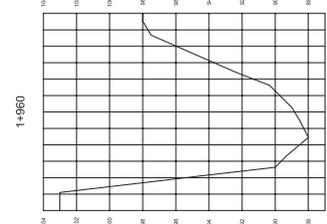
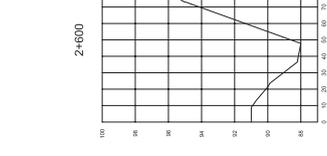
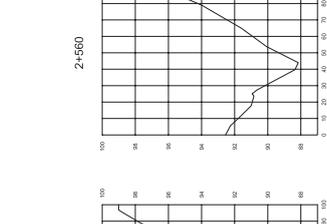
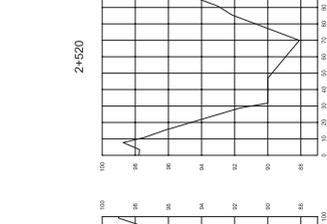
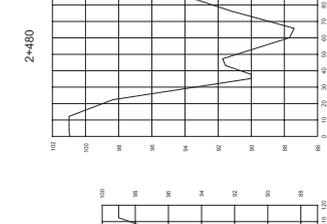
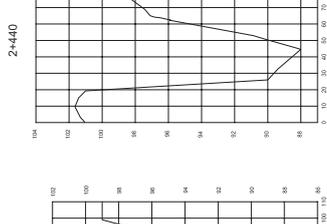
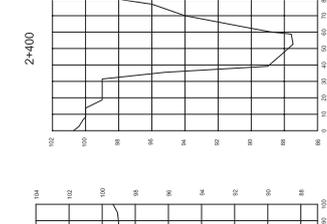
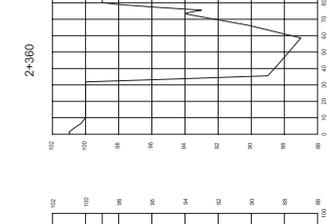
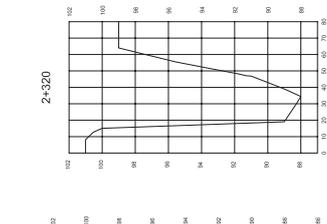
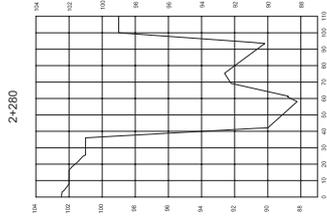
PRESENTAN:
BR. VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN
BR. ANA DELMY PONCE CONTRERAS
BR. XENIA MARGARITA VENTURA DIAZ



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DEPTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UES

CONTENIDO:
SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO EVALUADO, RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL



TEMA:
EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2,351 M AGUAS ARRIBA Y 5,606 M AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

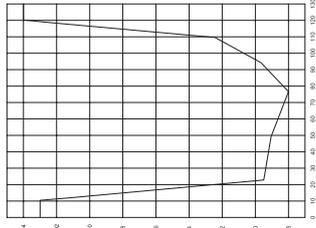
CONTENIDO:
SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO EVALUADO, RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL

PRESENTAN:
BR. VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN
BR. ANA DELMY PONCE CONTRERAS
BR. XENIA MARGARITA VENTURA DIAZ

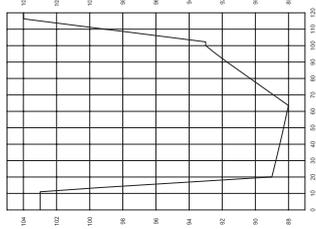


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

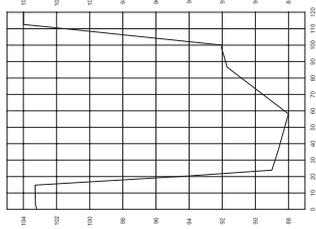
1+640



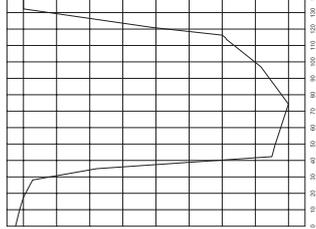
1+600



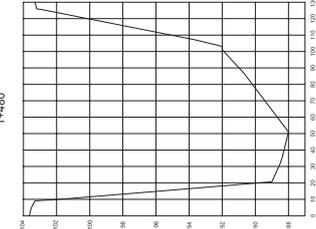
1+560



1+520



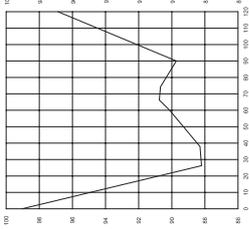
1+480



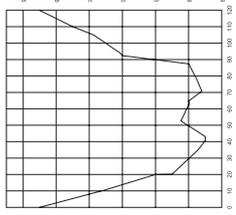
1+440



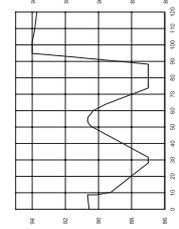
1+400



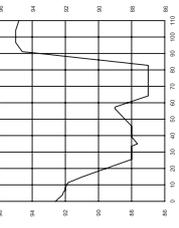
1+380



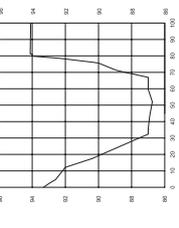
1+320



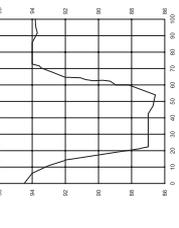
1+280



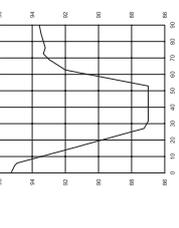
1+240



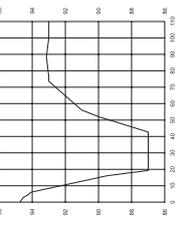
1+200



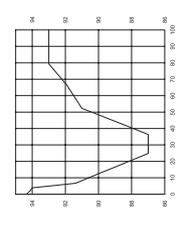
1+160



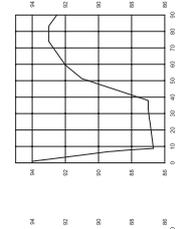
1+120



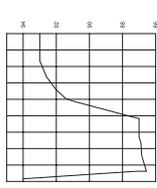
1+080



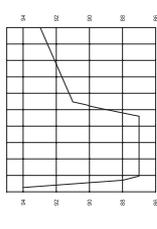
1+040



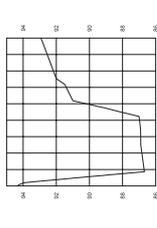
1+000



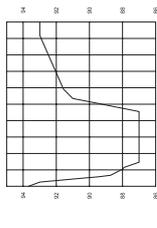
0+960



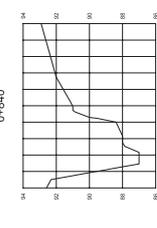
0+880



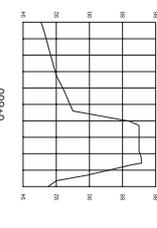
0+800



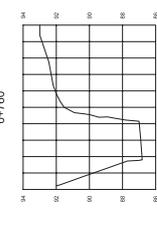
0+840



0+800



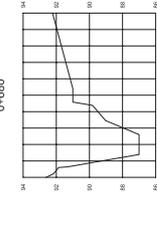
0+760



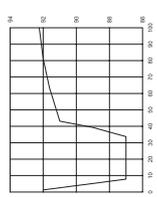
0+720



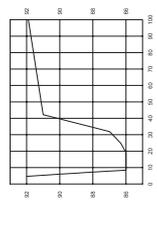
0+680



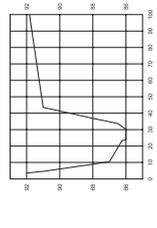
0+640



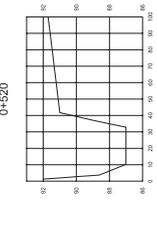
0+600



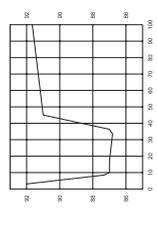
0+560



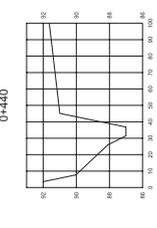
0+520



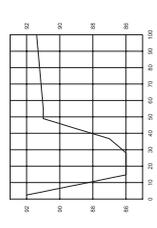
0+480



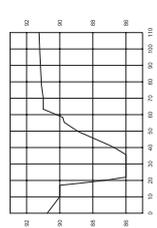
0+440



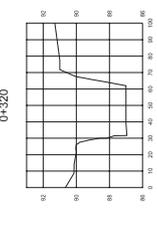
0+400



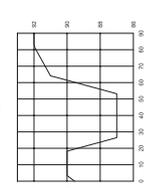
0+360



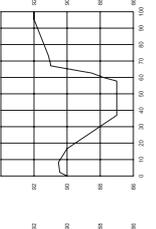
0+320



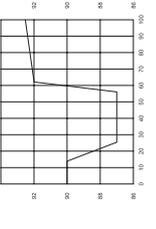
0+280



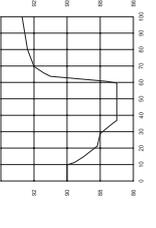
0+240



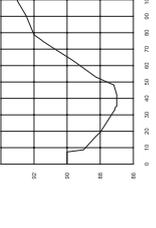
0+200



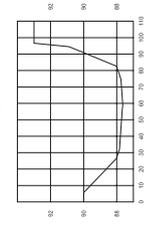
0+160



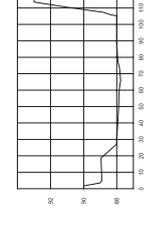
0+120



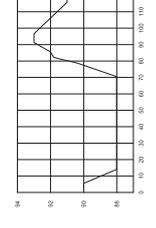
0+080



0+040



0+000



TEMA: EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2.351 M AGUAS ARRIBA Y 5.606 M AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

CONTENIDO: SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO EVALUADO, RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL

PRESENTAN:

BR: VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN

BR: ANA DELMY PONCE CONTRERAS

BR: XENIA MARGARITA VENTURA DIAZ



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

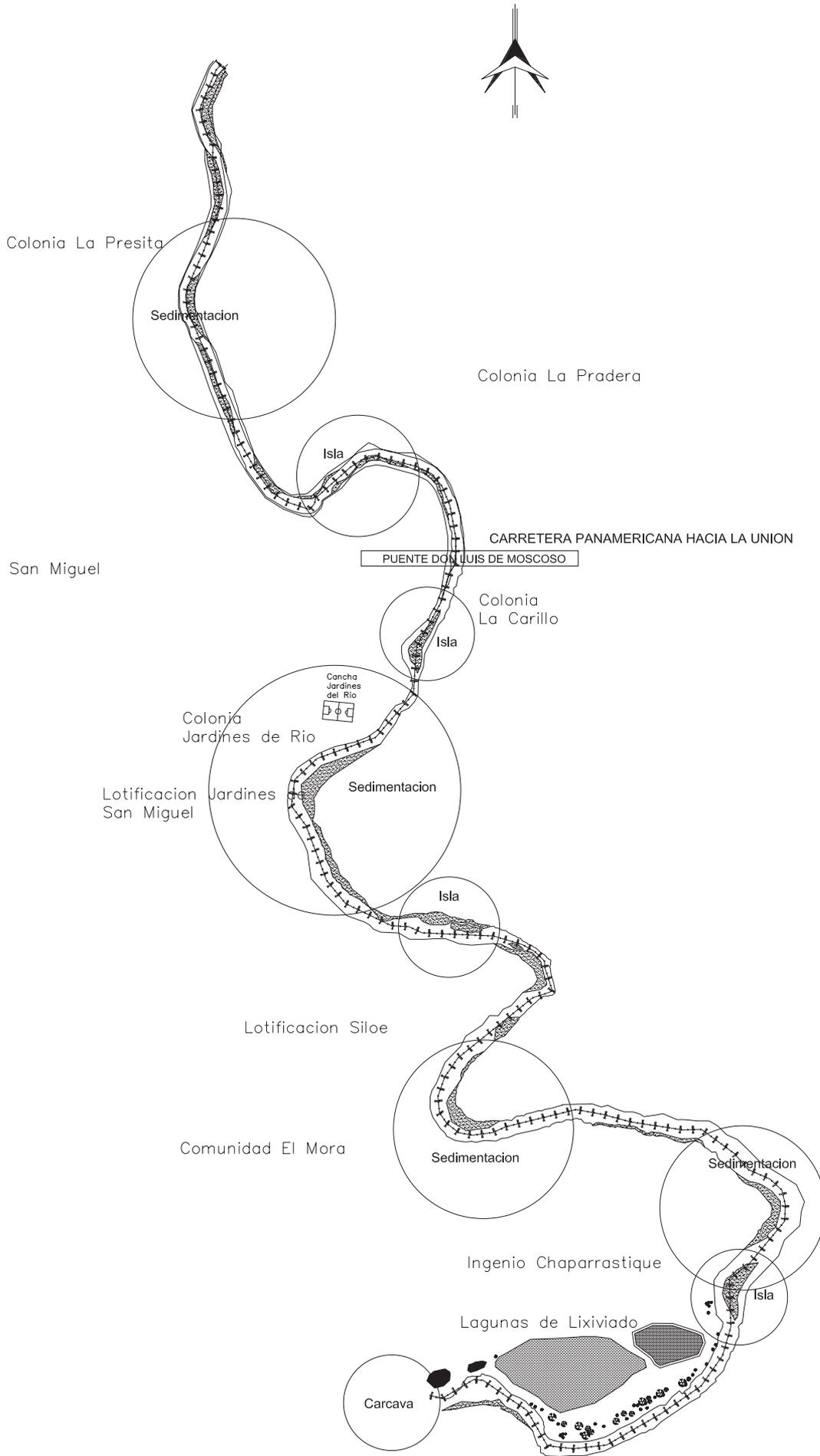
DEPTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

UES

SIN ESCALA

HOJA: 6/7

OCTUBRE 2012



PRESENTAN:
 BR. VANESSA MARGARITA COREAS GAITAN
 BR. ANA DELMY PONCE CONTRERAS
 BR. XENIA MARGARITA VENTURA DIAZ

TEMA:
 EVALUACIÓN HIDRÁULICA PARA LA PROPUESTA DE OBRAS DE LIMPIEZA EN UN TRAMO DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL, 2.351 M AGUAS ARRIBA Y 5,606 M AGUAS ABAJO DEL PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO

CONTENIDO:
 PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO EVALUADO, RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL

FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFÍA

- **ANÁLISIS DE CRECIDAS DE 2003 EN RIO GRANDE DE SAN MIGUEL PARA MEJORA DE SAT DE LA CUENCA** , Servicio Nacional de Estudios Territoriales(SNET) por Ing. Adriana María Erazo Chica
- **EL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL**, El Diario de Hoy
Fecha de Publicación 20 de Junio 2011 por Edgar Antonio Molina
- **FENOMENOS NATURALES SIGNIFICATIVOS EN EL SALVADOR Y SUS IMPACTOS (ENERO- DICIEMBRE 2004)** Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), San Salvador 20 de Enero 2005
- **TESIS, SOCAVACIÓN EN OBRAS CIVILES Y SU PROBLEMÁTICA**
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, México 2007
- **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL**
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), San Salvador, Octubre de 2005.
- **ANÁLISIS DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y PROPUESTA DE OBRA DE MITIGACIÓN EN LA QUEBRADA CHOGUAL, MUNICIPIO DE LA UNIÓN**
Universidad de El Salvador (UES), Facultad Multidisciplinaria Oriental (FMO), Diciembre de 2009
- **PROPUESTA PARA RECARGAR ARTIFICIALMENTE EL ACUÍFERO SAN MIGUEL Y MITIGAR LAS ÁREAS PROPENSAS A INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE SAN MIGUEL.**
Universidad de El Salvador (UES), Facultad Multidisciplinaria Oriental (FMO), Julio de 2007

- **MARTÍNEZ VÁSQUEZ, M. A., GRANADOS MARTÍNEZ, S. L. Y GRANADOS FLORES, J. C. 2000.**

Delimitación de la zona de recarga del acuífero que abastece al municipio de San Miguel. Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil. Presentado a la Universidad Capitán General Gerardo Barrios. San Miguel, El Salvador C.A.

- **SONIA MARÍA MAGAÑA MERCADO, RICARDO SAGUER GARCÍA. Octubre 2005.**

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO GRANDE DE SAN MIGUEL. Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil. Presentado a la UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSÉ SIMEÓN CAÑAS”. SAN SALVADOR, El Salvador C.A.

- **CONTRERAS LÓPEZ, LEIVI MARGARITA. VILLEGAS VILLALOBOS, RONAL ANTONIO.**

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCORRENTÍAS SUPERFICIALES QUE GENERAN SECTORES DE INUNDACIÓN DE ALTO RIESGO EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL. Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Civil. Presentado a la Universidad de EL Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental. San Miguel, El Salvador C.A.

- **MANUAL PARA EL USO DEL MODELO HIDROLÓGICO HEC–HMS.**

Camilo Bastidas. Departamento Ingeniería Hidrometeorológica. Facultad de Ingeniería – Universidad Central de Venezuela.

- **HEC-RAS SISTEMA DE ANÁLISIS RÍOS.**

APUNTES DEL CURSO "HEC-RAS" MC Víctor Hugo Guerra Cobián,
INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA
Universidad Autónoma de Nuevo León, México

- **U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS: HEC-RAS USER MANUAL,**
Versión 4.1 Octubre 2008
- **U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS: HEC-HMS USER MANUAL,**
Versión 3.5 Octubre 2008
- **CAMPO DEPRESIONARIO SOBRE CENTROAMÉRICA, DEPRESIÓN
TROPICAL 12E,** Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Octubre
2011
- **ESTUDIO HIDRAULICO RIO BIOBIO, REPUBLICA DE CHILE, DSS**
Ambiente Ingeniería Innovación, Mayo 2009
- **ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DE LA CUENCA DEL RIO
SAN EUGENIO PARA GENERAR UNA INFORMACION BASICA PARA
LA INTERVENCION DE LA CUENCA EN SU TRAMO URBANO FASE
1,** Universidad Nacional de Colombia, Noviembre 2006
- **EVALUACION DE DAÑOS Y PERDIDAS EN EL SALVADOR
OCASIONADOS POR LA DEPRESION TROPICAL 12E,** Ministerio de
Medio Ambiente y Recursos Naturales, Octubre 2011
- **APORTES PARA LA GESTION DE OBRAS PARA LA PREVENCION
DE INUNDACIONES,** Fortalecimiento de Estructuras Locales para La
Mitigación de Desastres (FEMID), Guatemala 2001.

ANEXOS

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DEL RÍO, TRAMO EVALUADO



Sedimentos a los costados del Rio Aguas Arriba del Puente Don Luis de Moscoso



Vivienda aguas arriba del Puente Don Luis de Moscoso cercana a area de inundacion



Sedimentacion Antigua cerca de Col. La Pradera



Curva pronunciada aguas arriba de Puente Don Luis de Moscoso



Vista Frontal de Puente Don Luis de Moscoso



Estribo lateral derecho de Puente Don Luis de Moscoso



Pilas Centrales de Puente Don Luis de Moscoso



Vista del Rio desde la Cancha Col. Jardines del Rio



Sector de Col. Jardines del Río



Remolino formando erosión en taludes de Col. Jardines del Río.



Talud erosionado frente a Col. Jardines del Río



Sedimentación depositada al costado derecho del Río



Talud compuesto de suelo arenoso y basura



Corte de sedimentos



Sedimentación acumulada como isla y tubería de desague



Sedimentación antigua



Casa de habitación al borde de la ladera



Isla de sedimentos en el centro del Río



Playa de sedimentos uno de los costados del Río



Talud inestable por erosión



Obstrucciones para el paso libre del flujo



Material del suelo arenoso



Division del Caudal por islas en el centro



Vegetación existente



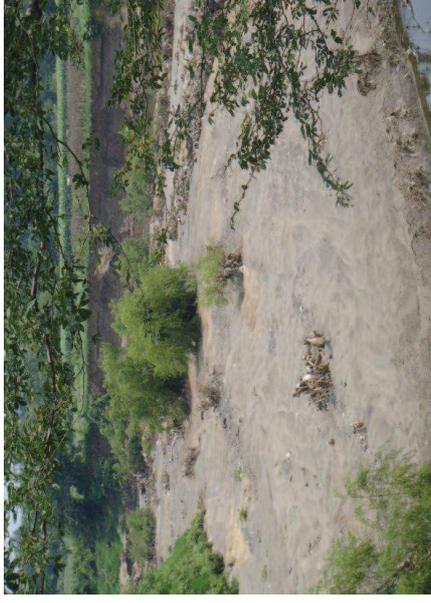
Islas que obstruyen el paso del Caudal



Conformación de Islas en el centro del Río



Sedimentos a los costados del Río



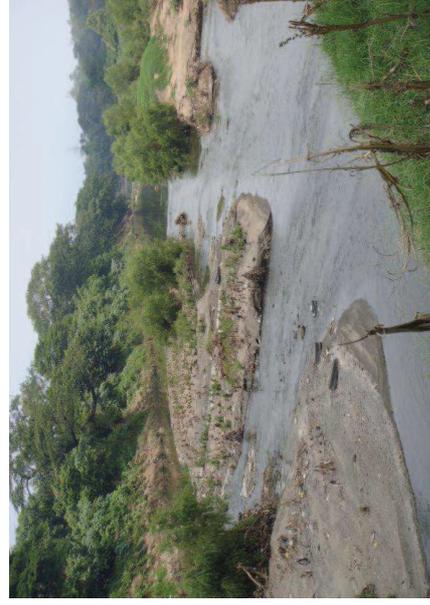
Exceso de sedimentos arrastrados por las corrientes



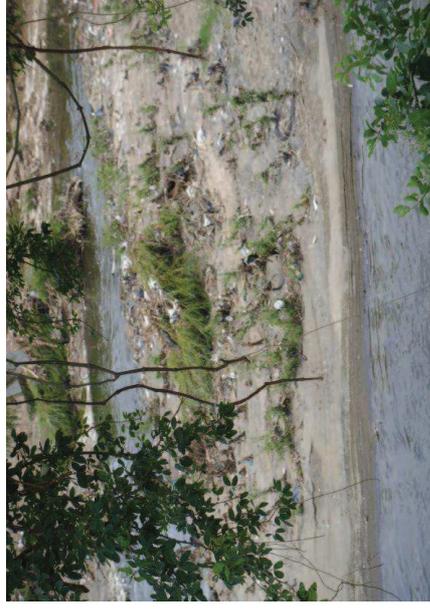
Vegetación en la Zona



Isla con crecimiento de vegetación en el centro del Rio



Isla en el centro del Rio



Division de flujo por isla



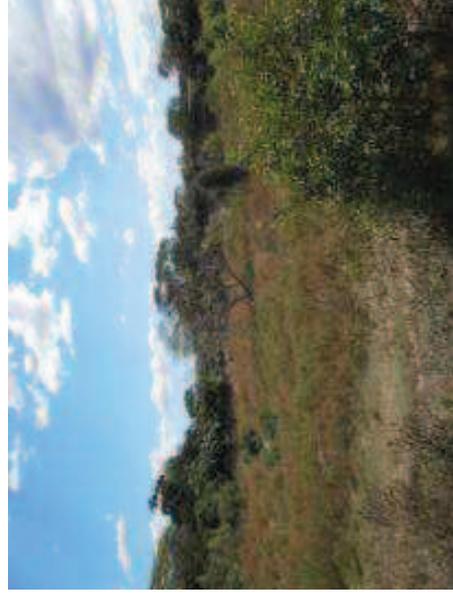
Acumulación de sedimentos



Islas de sedimentos obstruyendo el paso del flujo



Riberas del Río con abundante vegetación



Vegetación Existente



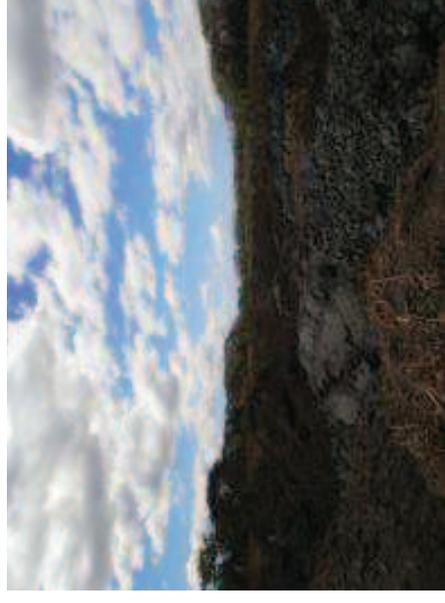
Isla en el centro del Río al este del Ingenio Chaparrastique



Talud erosionado y deposito de sedimentos en islas



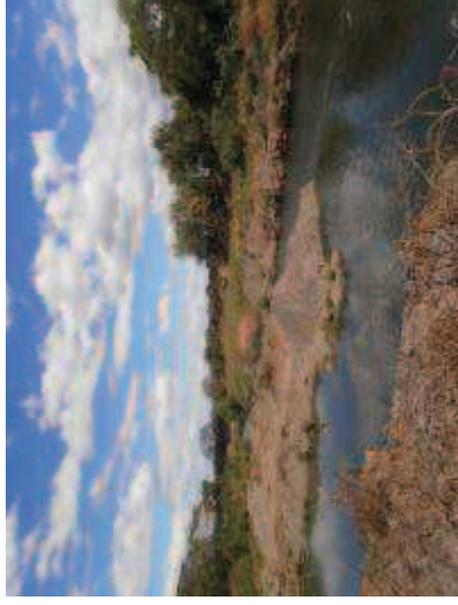
Isla de aprox. 170m de longitud en Mojon Norte



Desechos del Ingenio Chaparrastique en las Zona de Inundacion del Río



Suelos inestables de los taludes



Division del cauce por isla en el centro



Arrastre de arboles tras tormentas



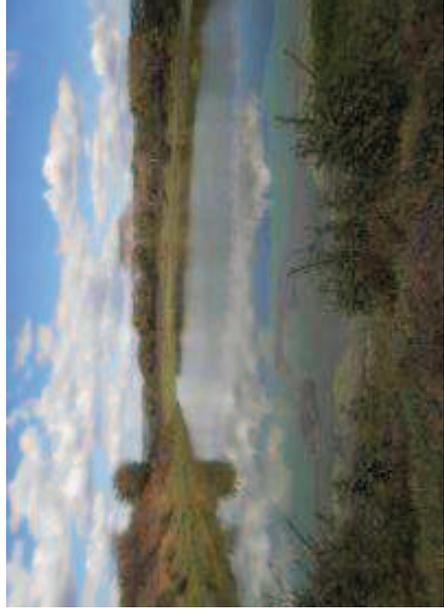
Taludes erosionados por inestabilidad de suelos



Lagunas de Lixiviados del Ingenio Chaparrastique



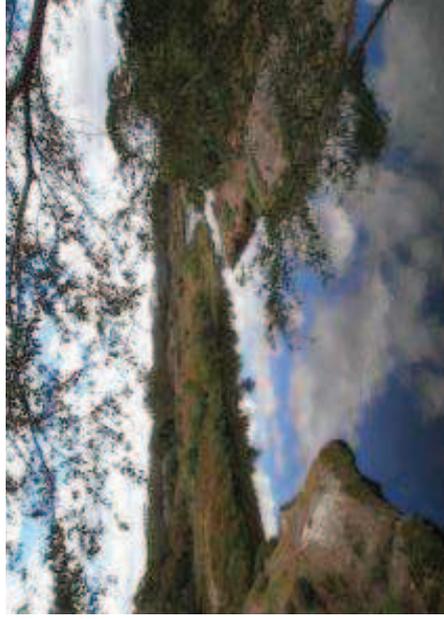
Lagunas de Lixiviados a 15m del borde del Río



Lagunas de Lixiviado a 35m de borde del Río



Talud Erosionado Ubicado a 112m de Carretera El Litoral



Simiosidad del Río provocando sedimentaciones



Carcava a 75m de Carretera El Litoral



Talud Inestable por el tipo de material



Arboles llevados por arrastre del Río



Sedimentación excesiva creada por la curva pronunciada

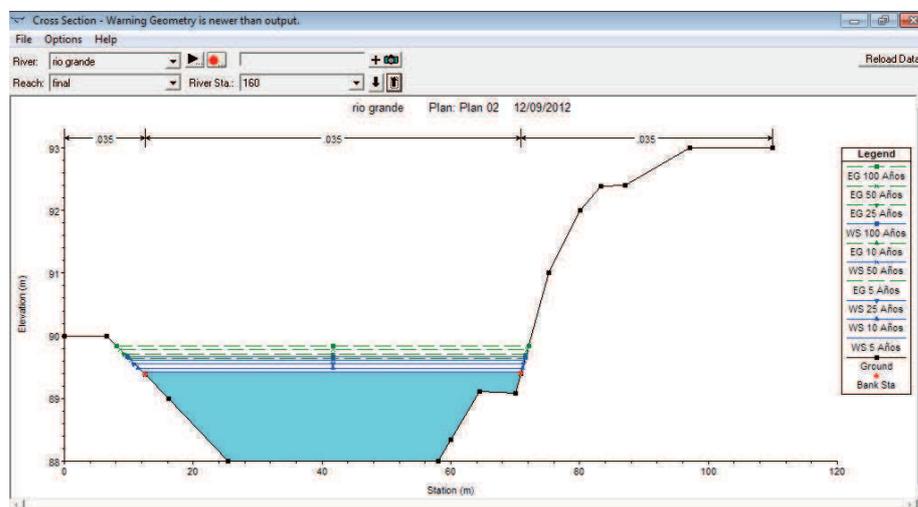
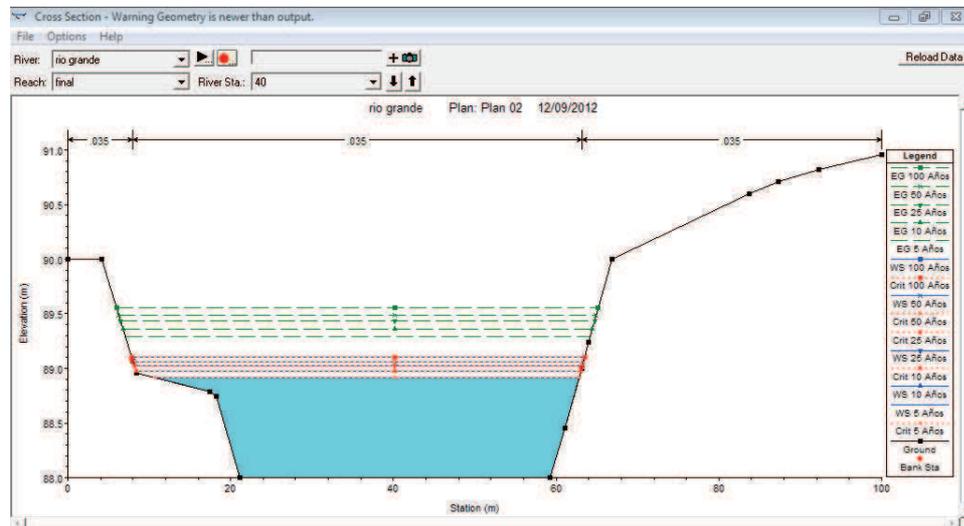


Talud inestable por tipo de material

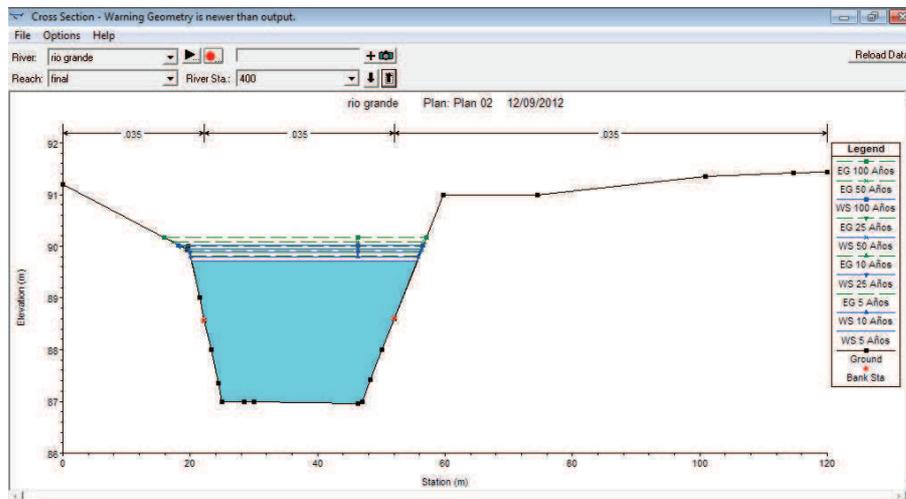
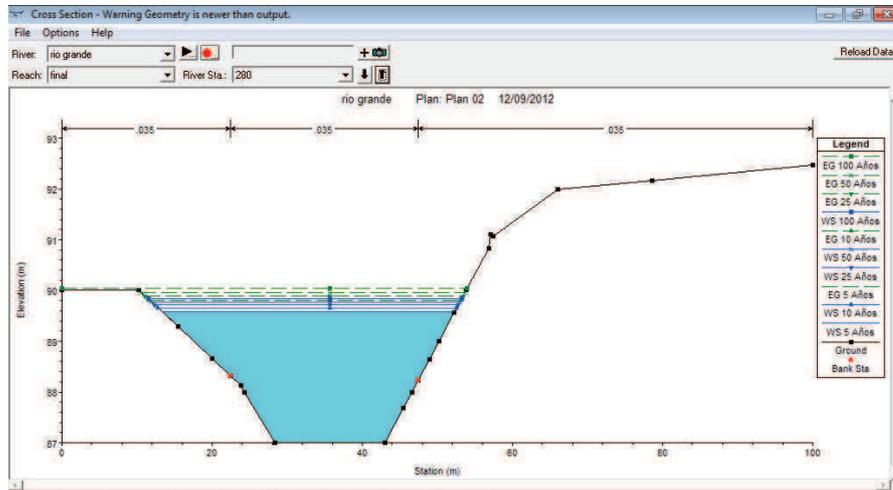


Acumulación de sedimentos

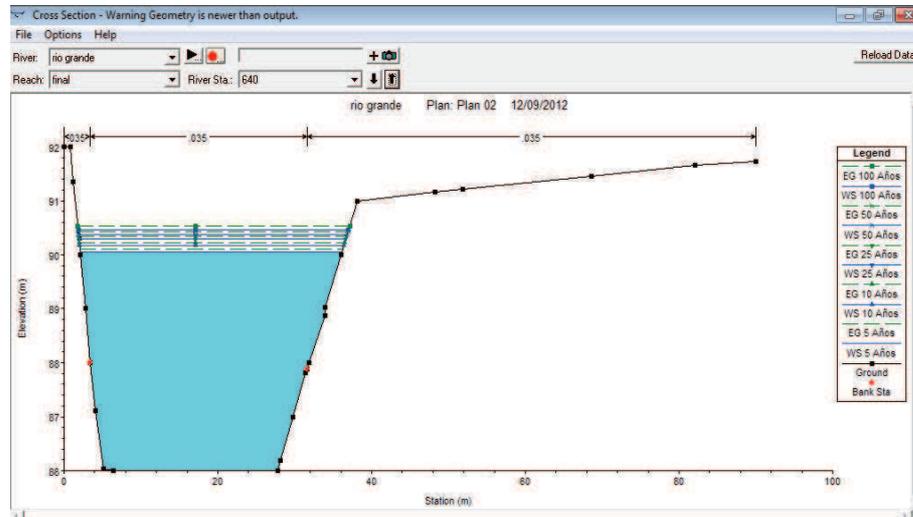
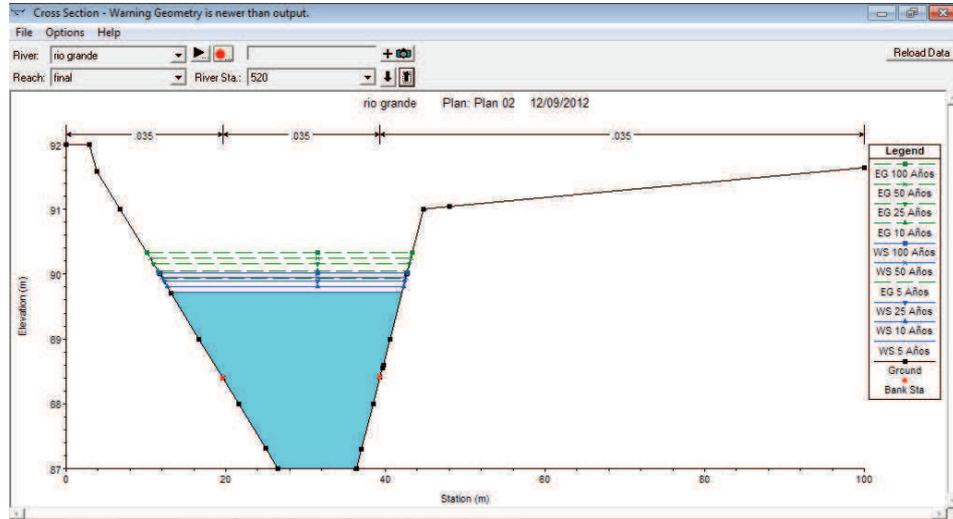
ANEXO 2: PERFILES NATURALES, SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO



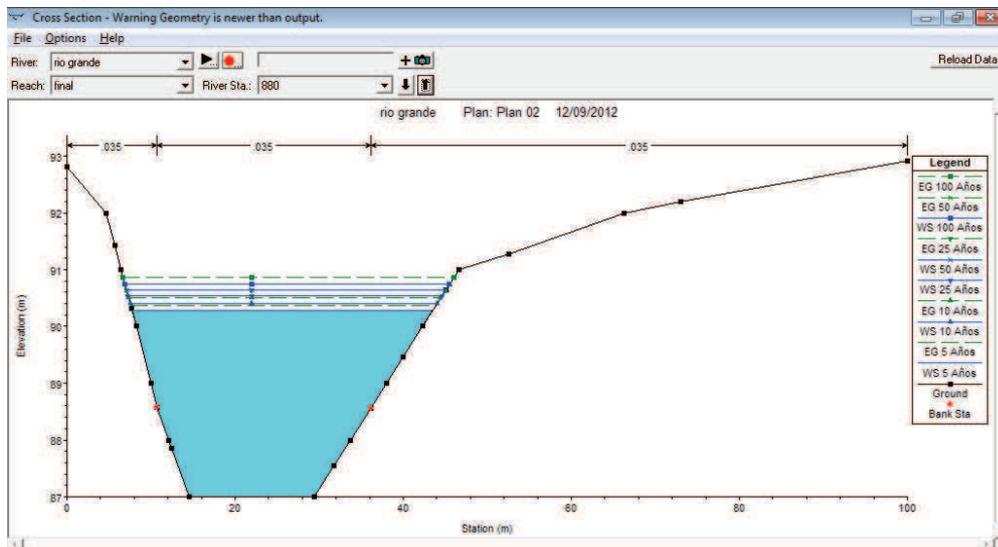
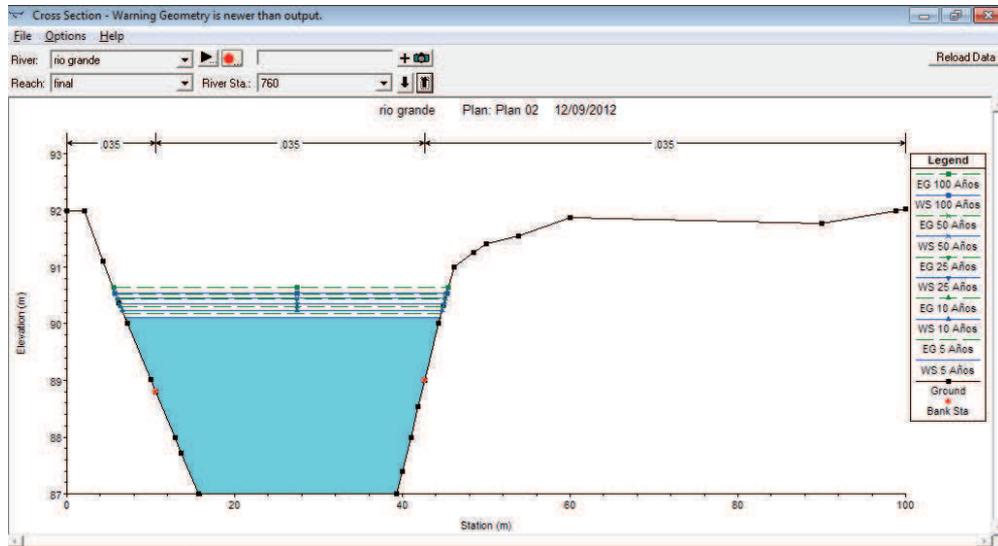
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



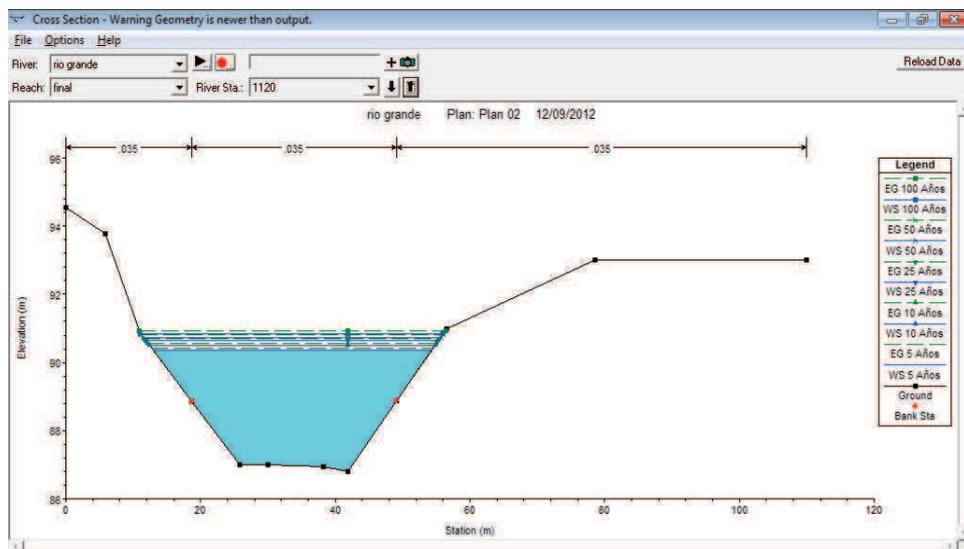
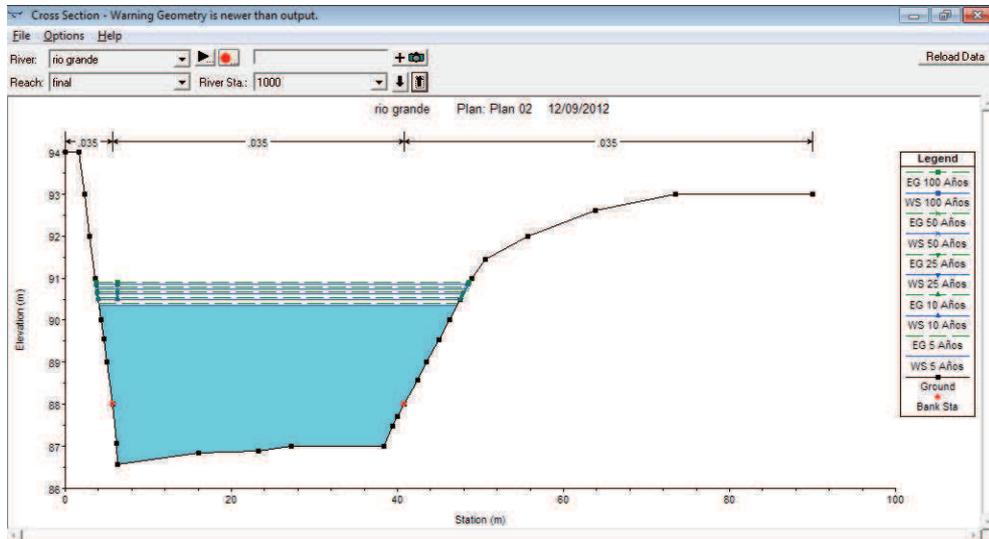
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



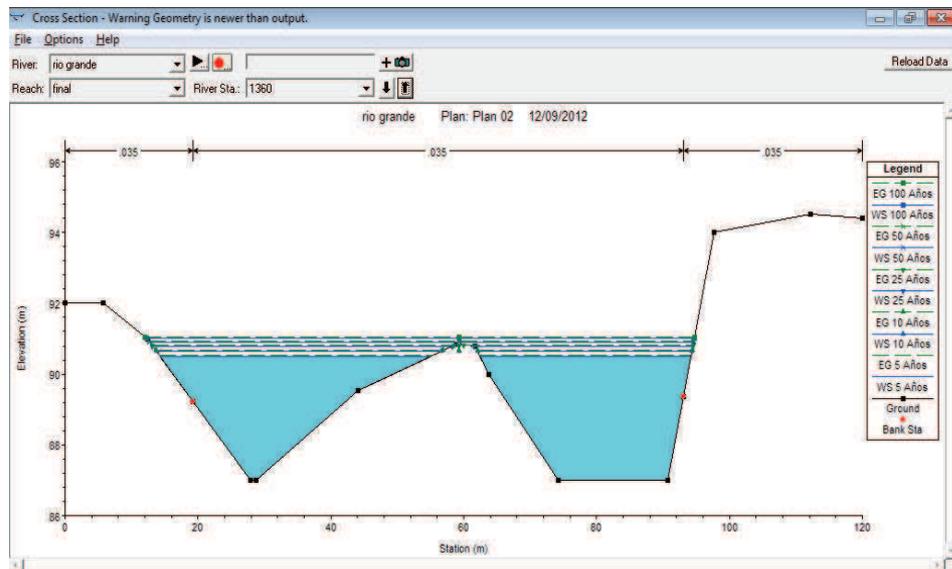
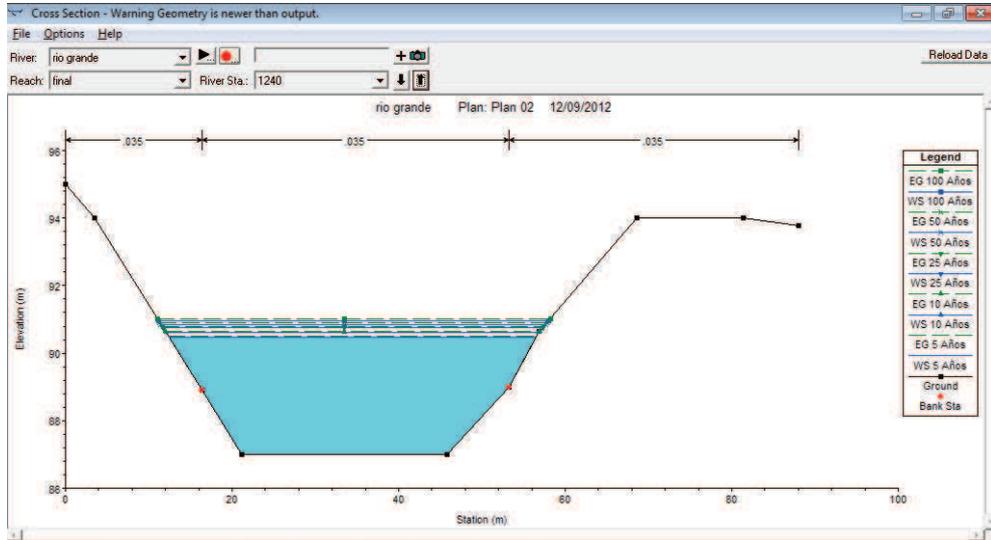
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



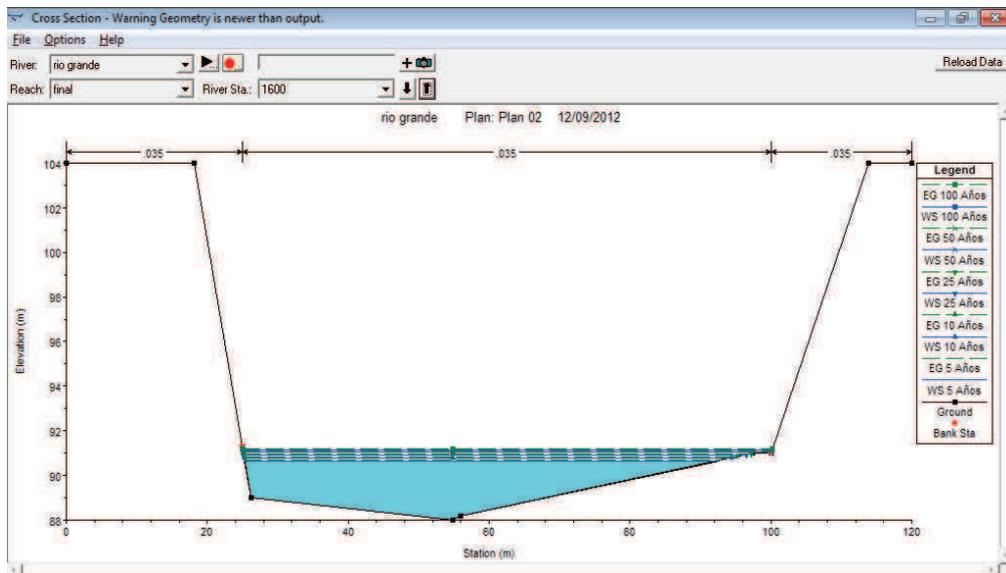
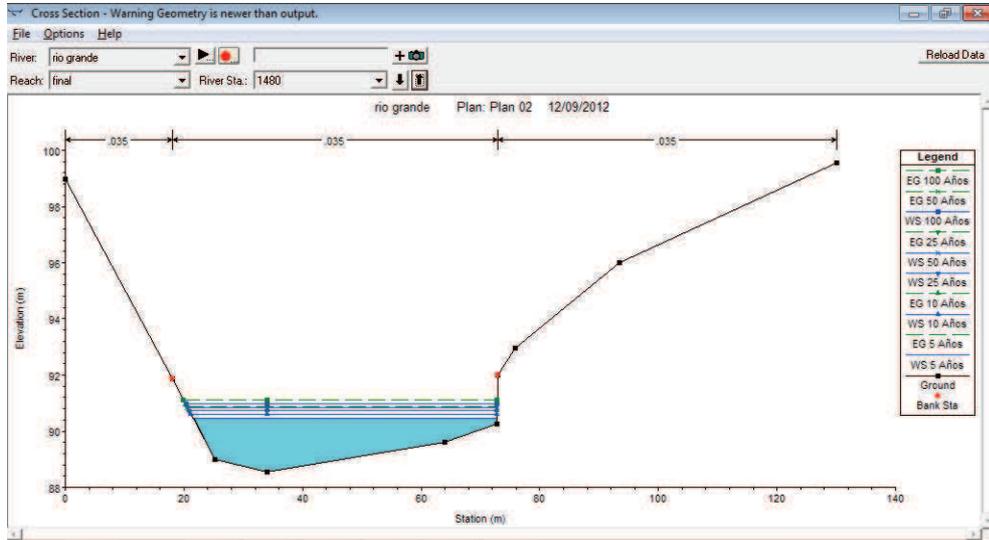
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



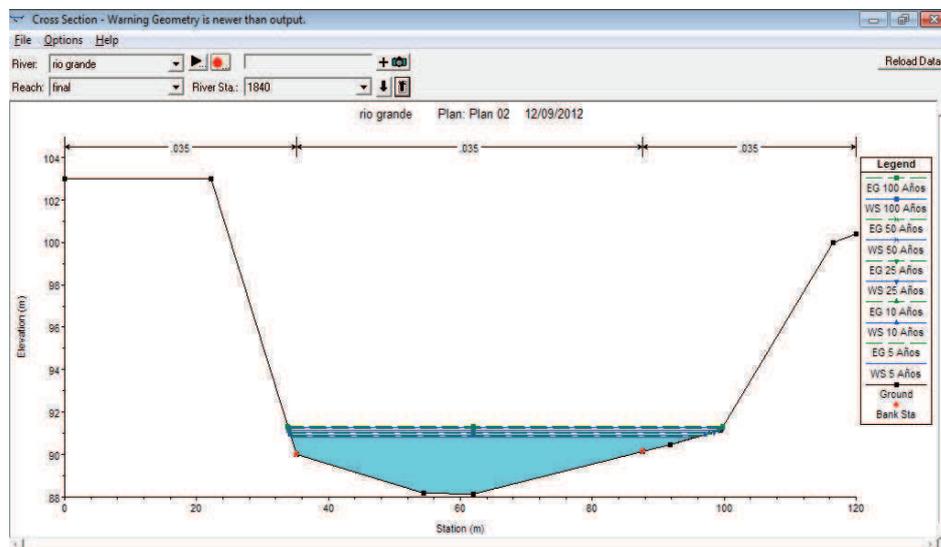
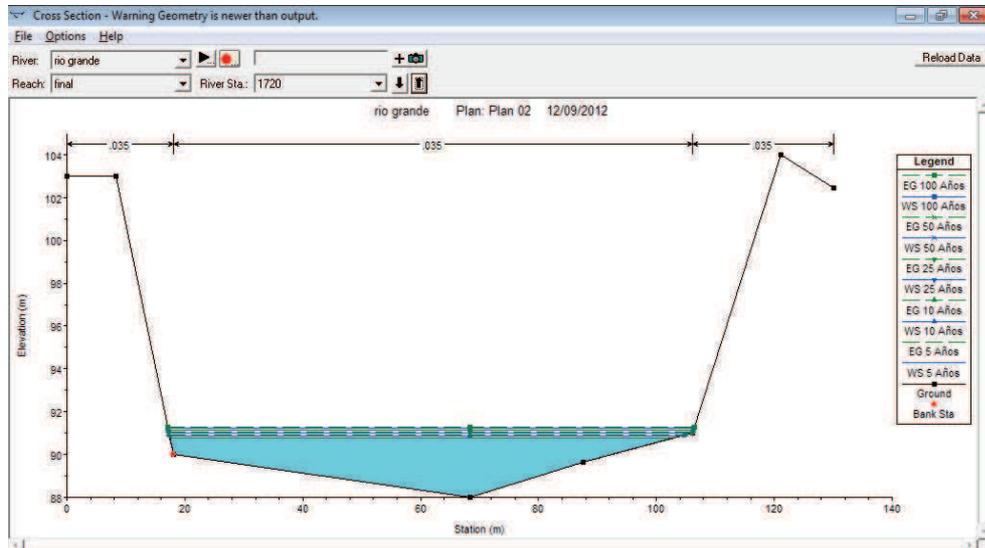
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



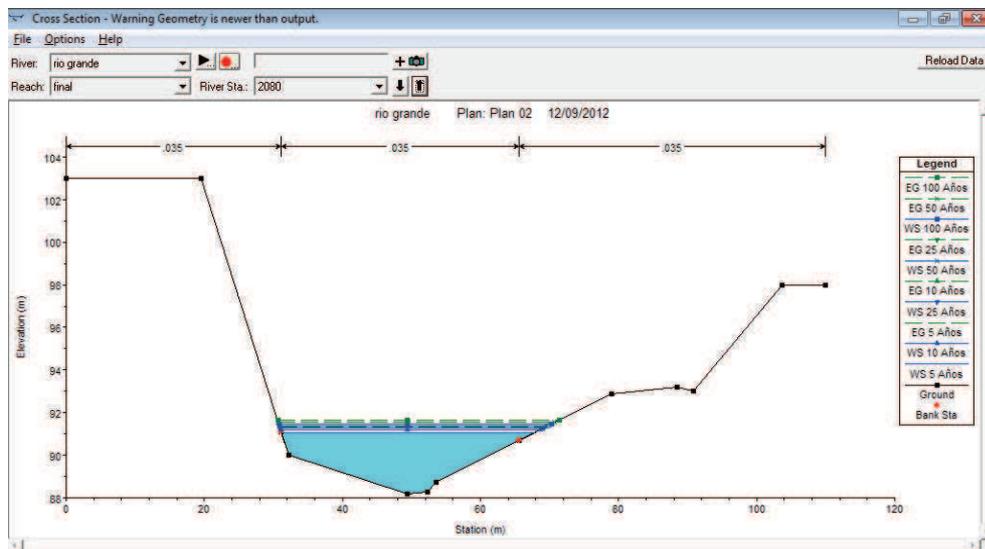
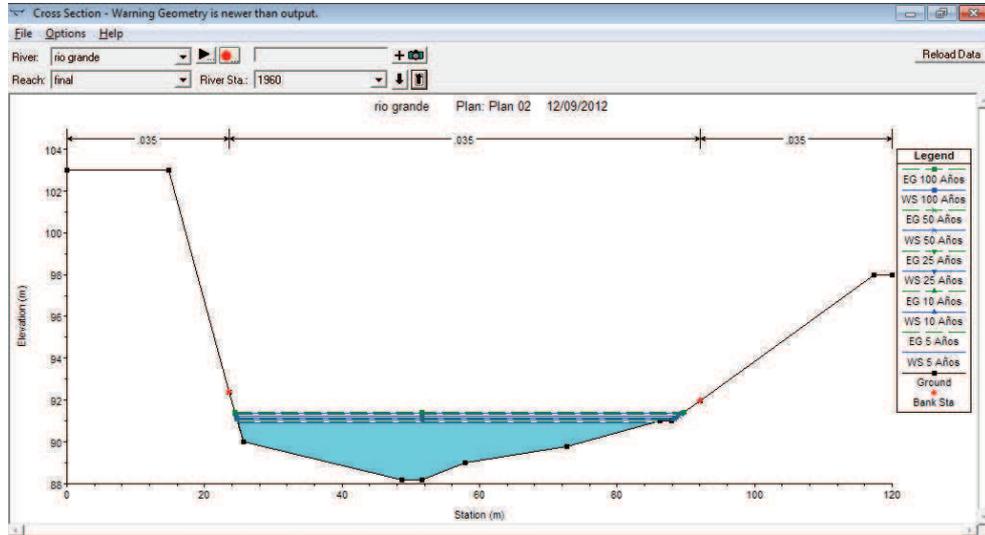
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



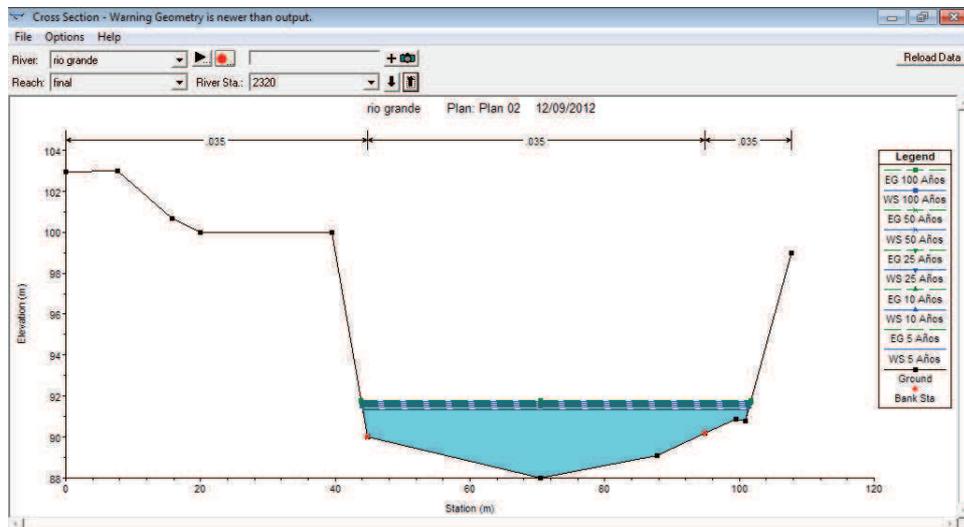
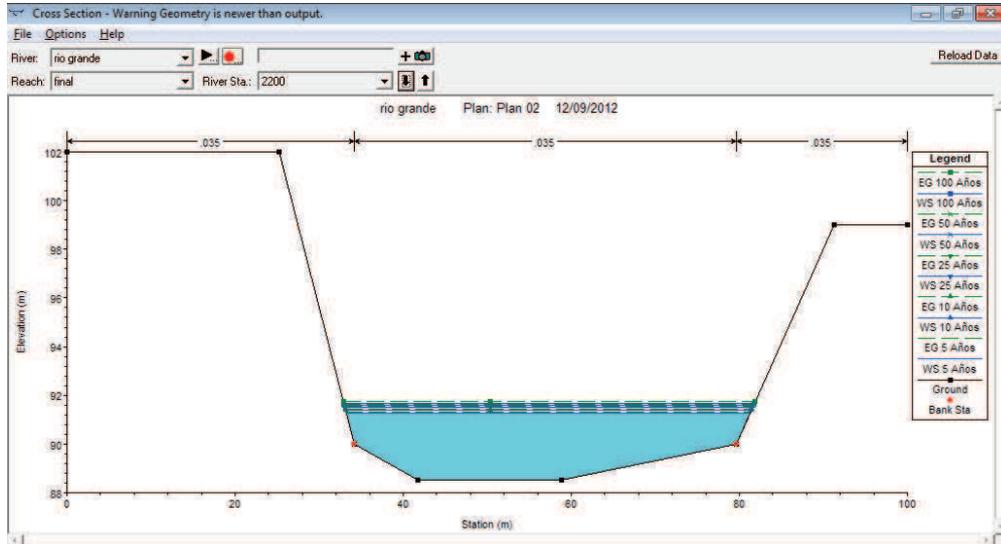
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



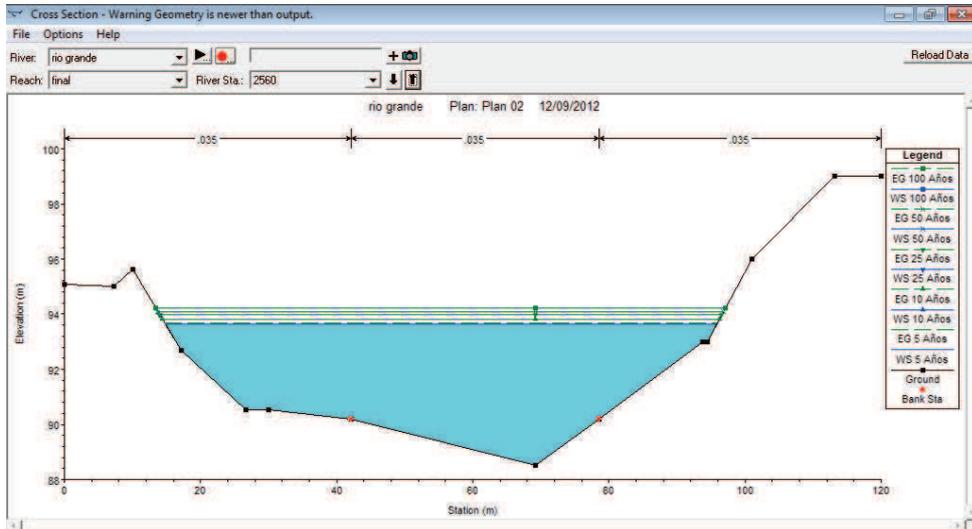
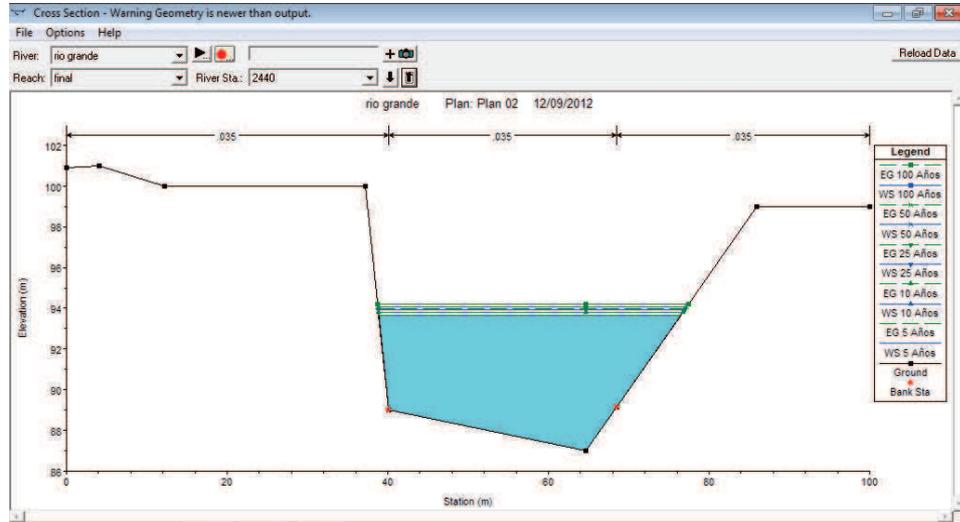
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



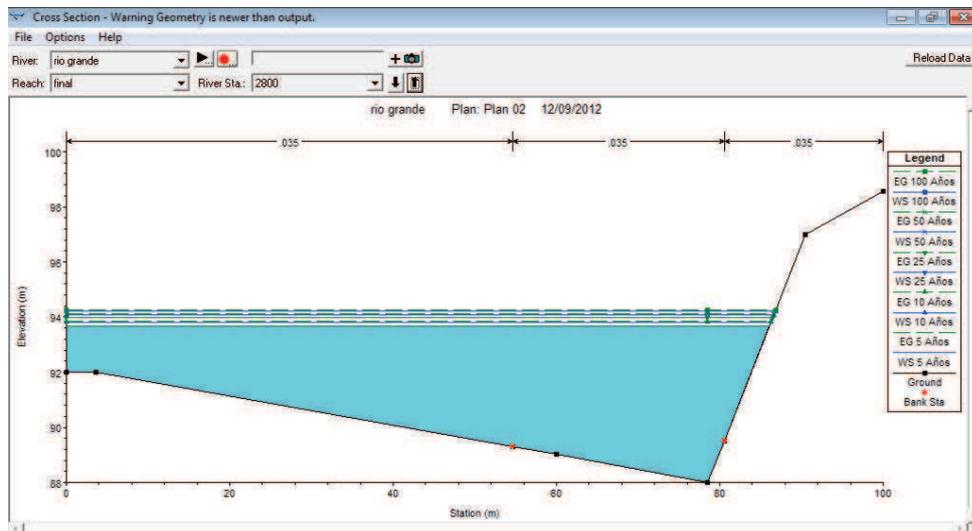
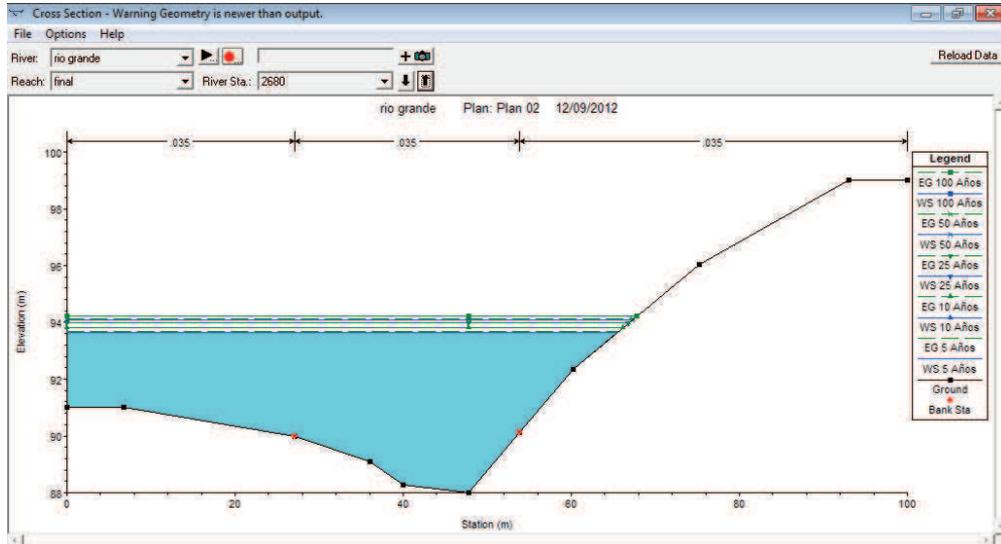
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



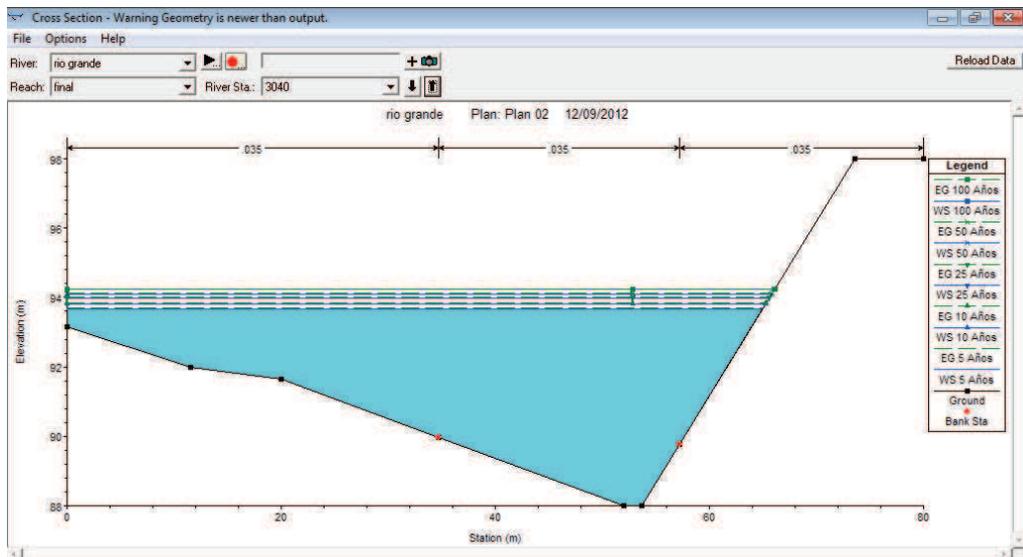
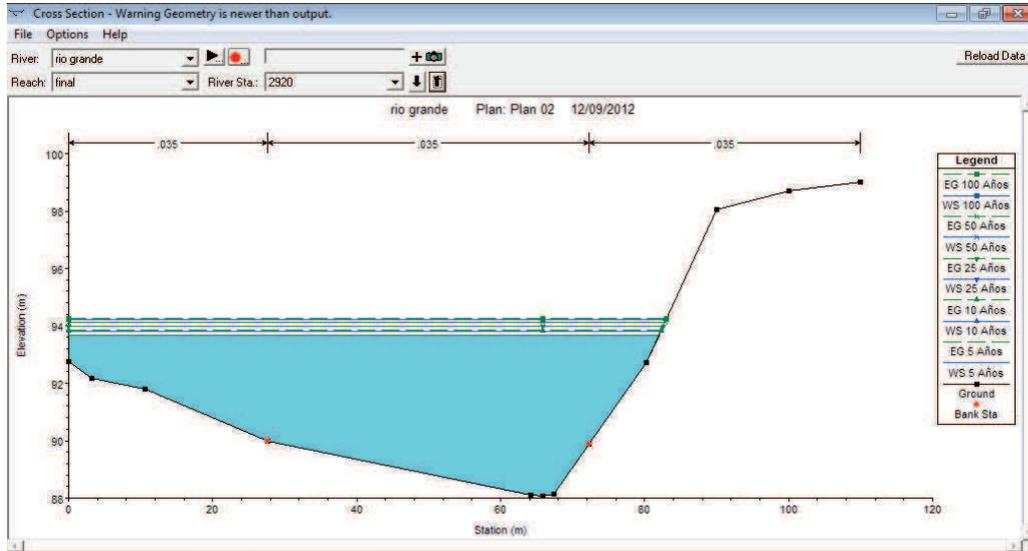
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



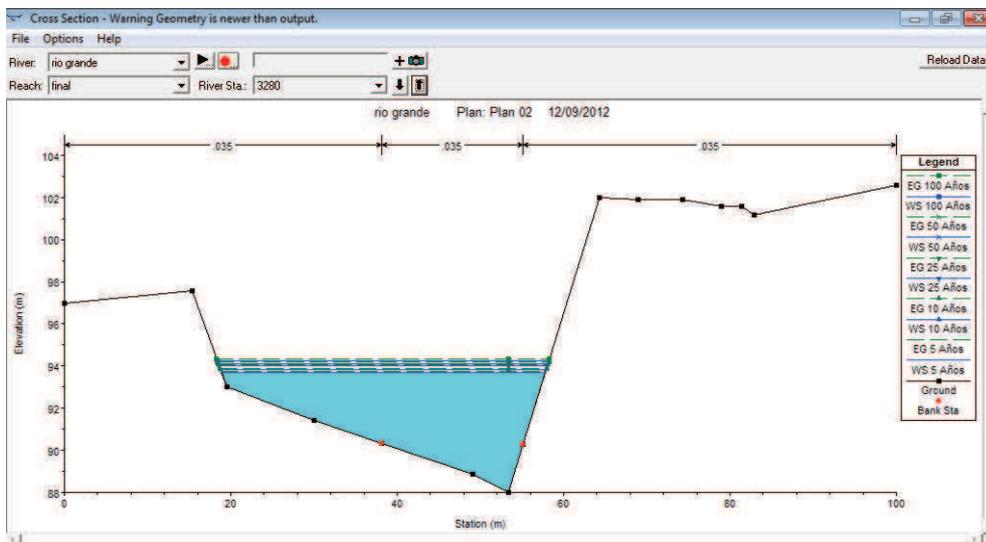
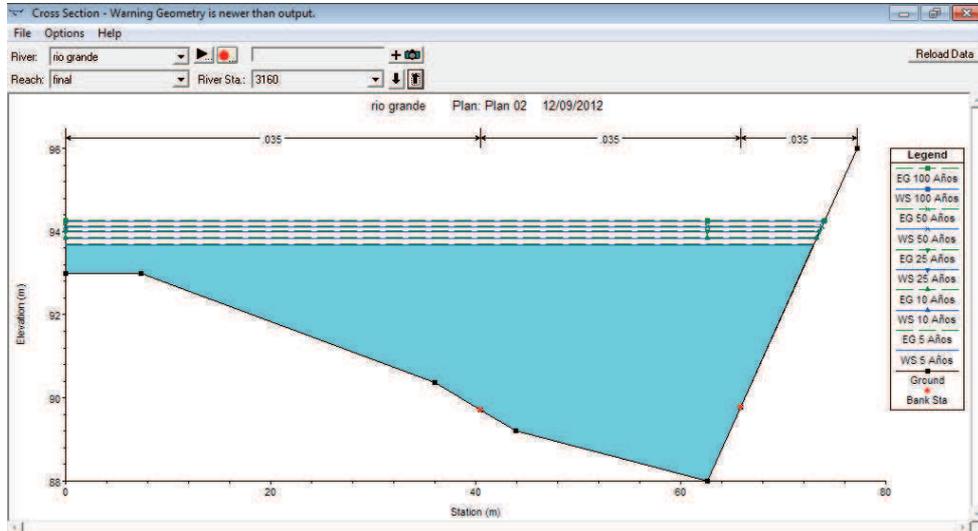
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



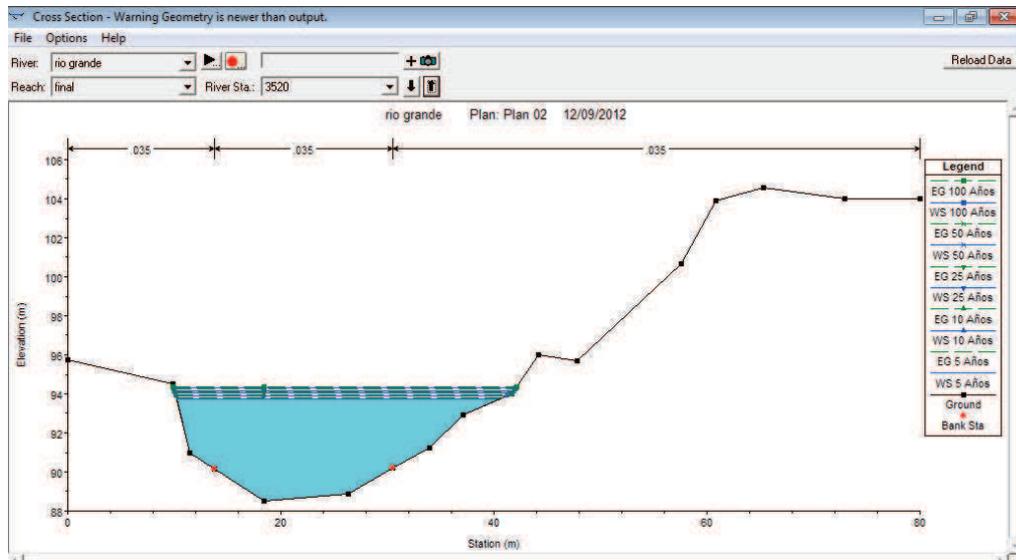
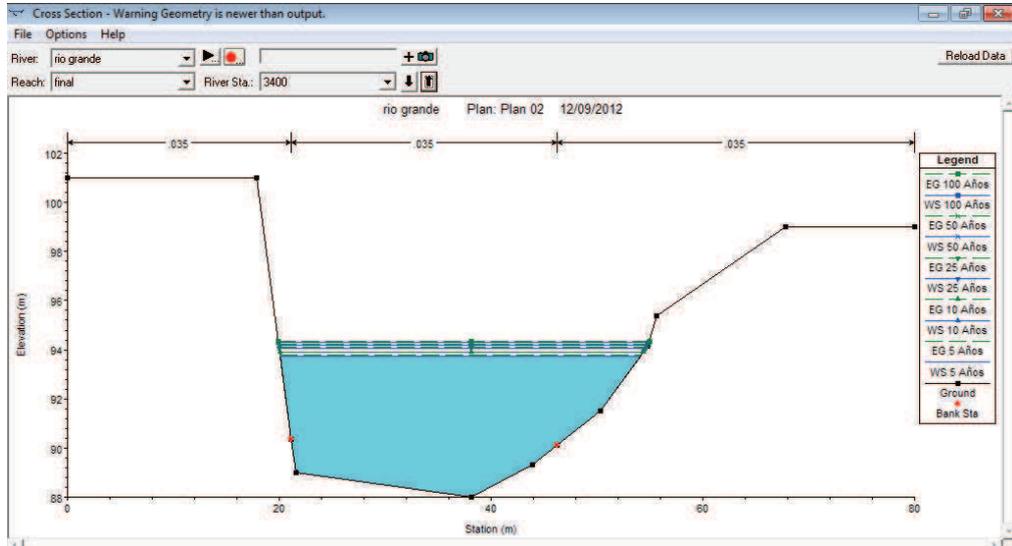
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



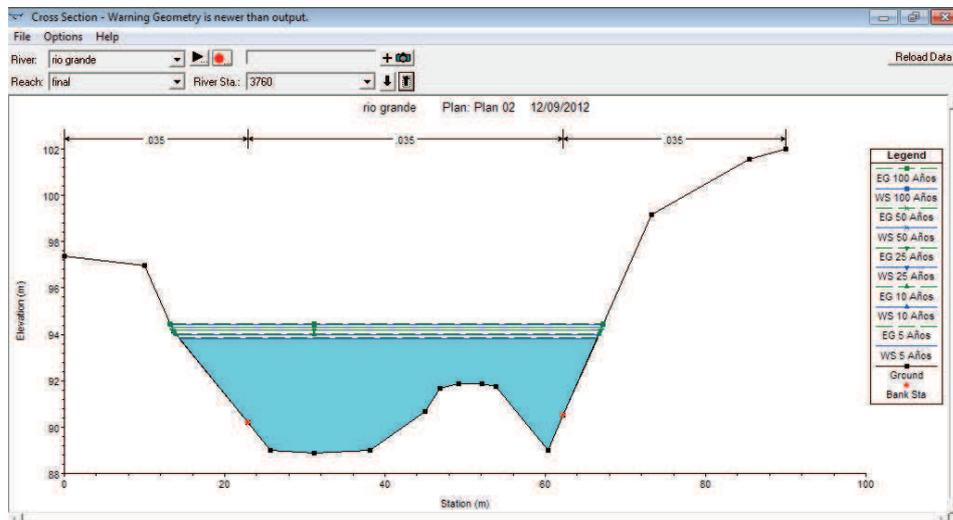
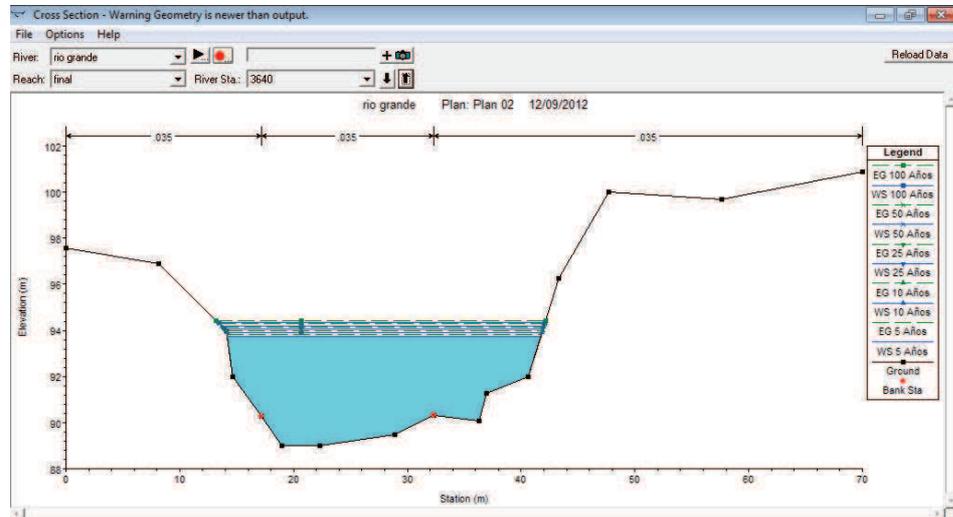
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



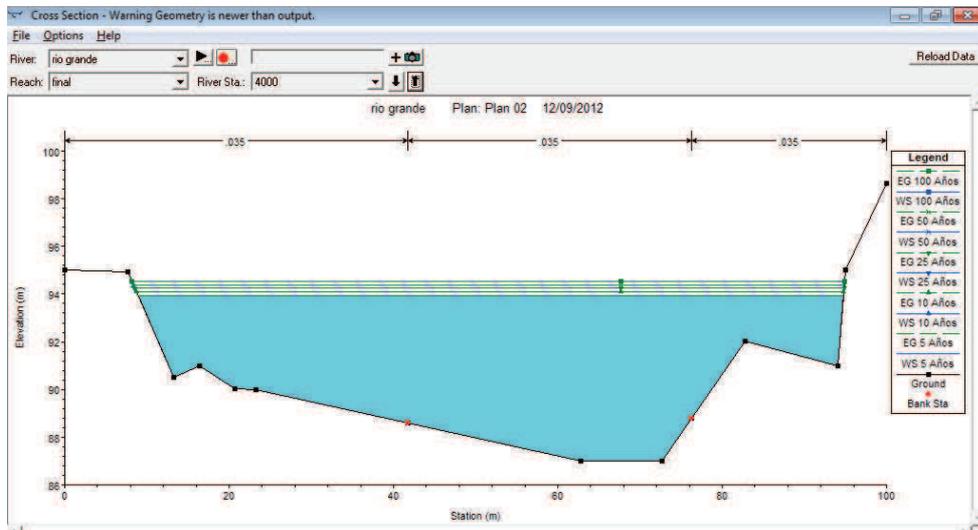
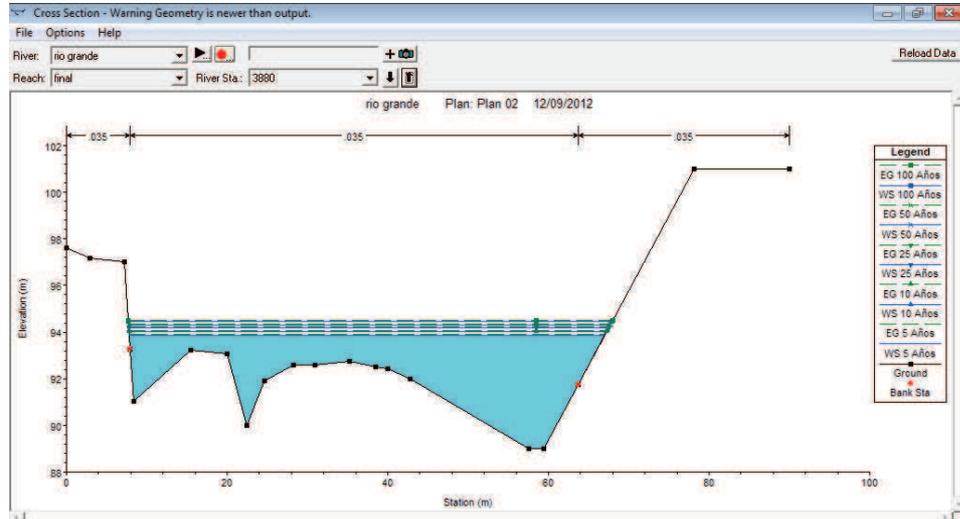
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



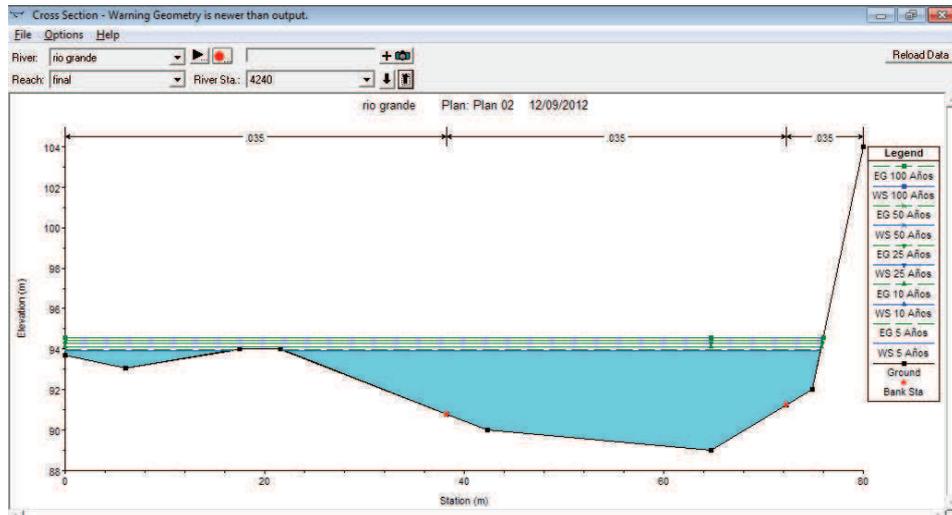
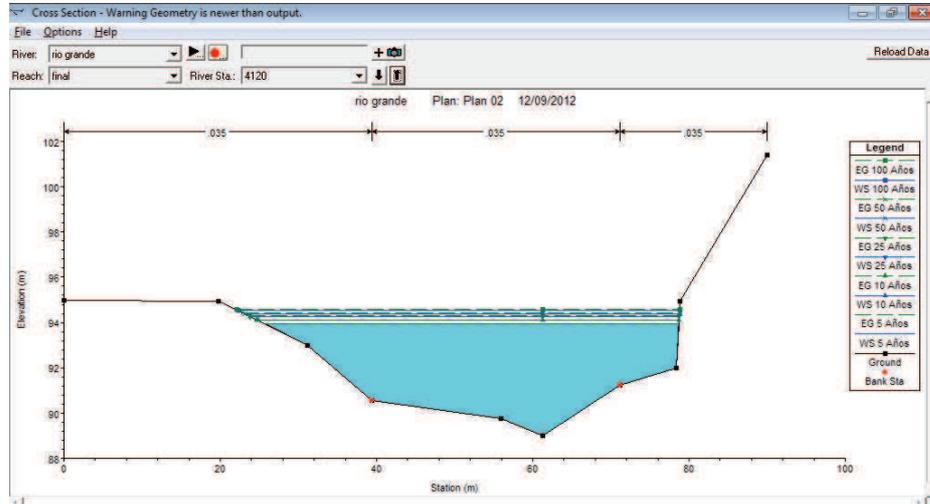
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



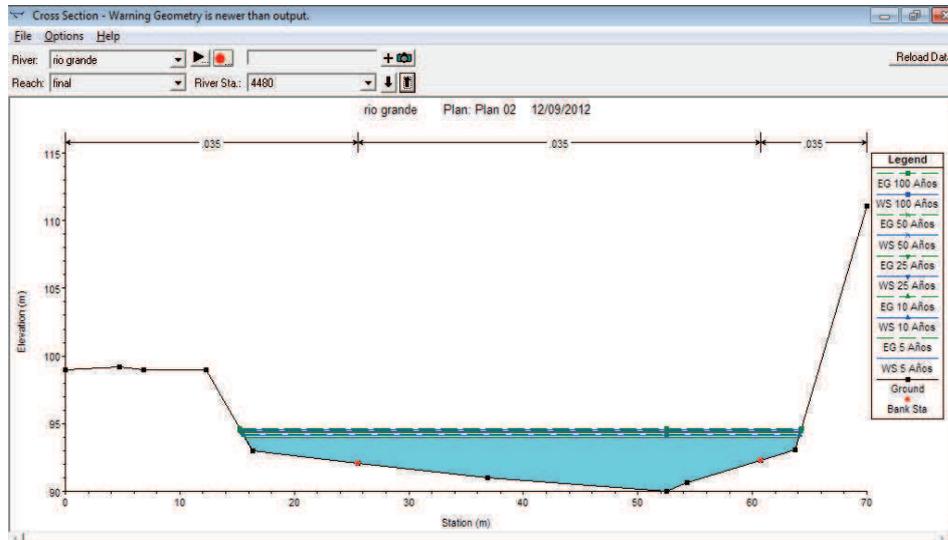
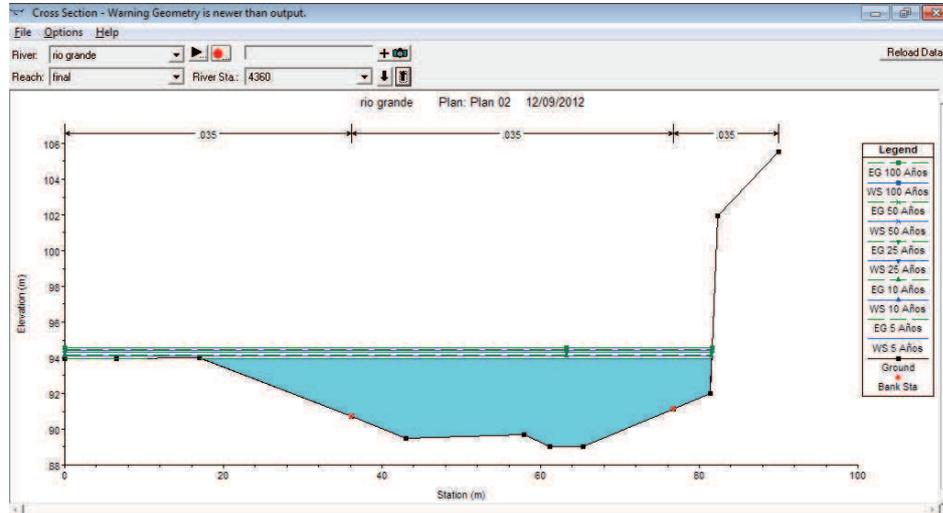
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



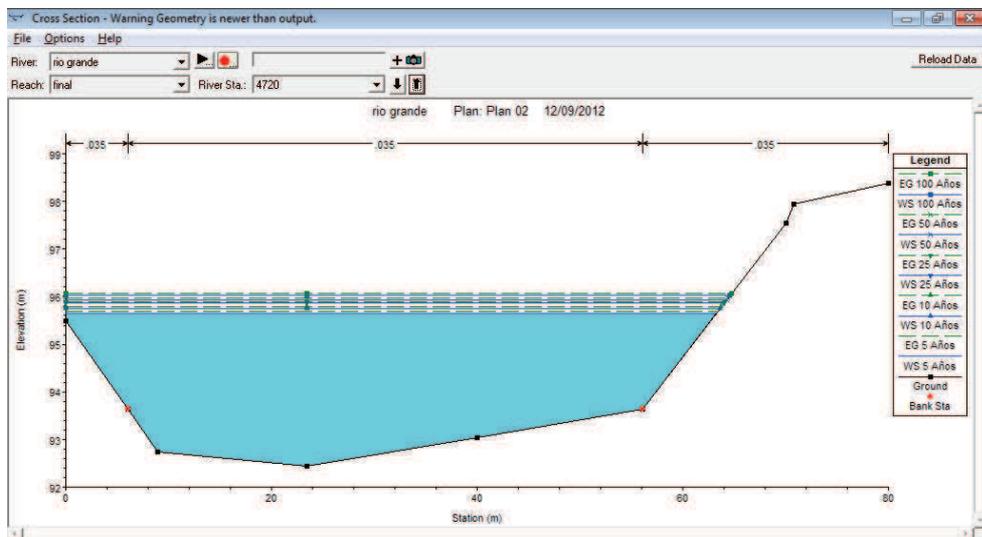
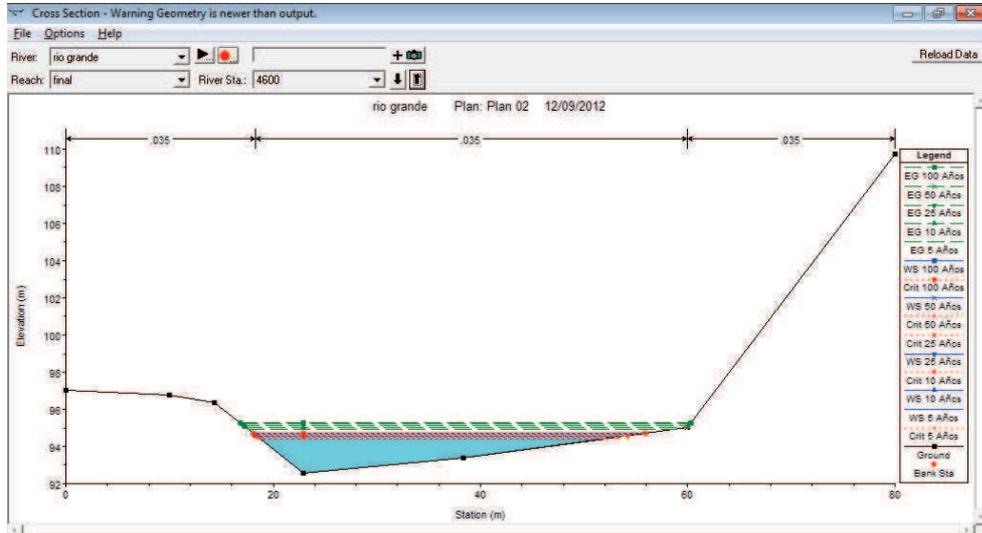
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



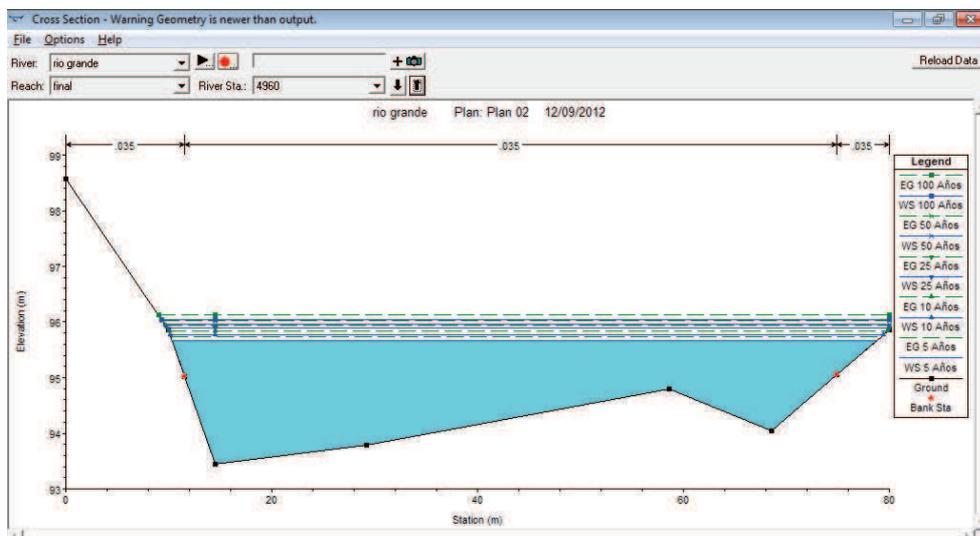
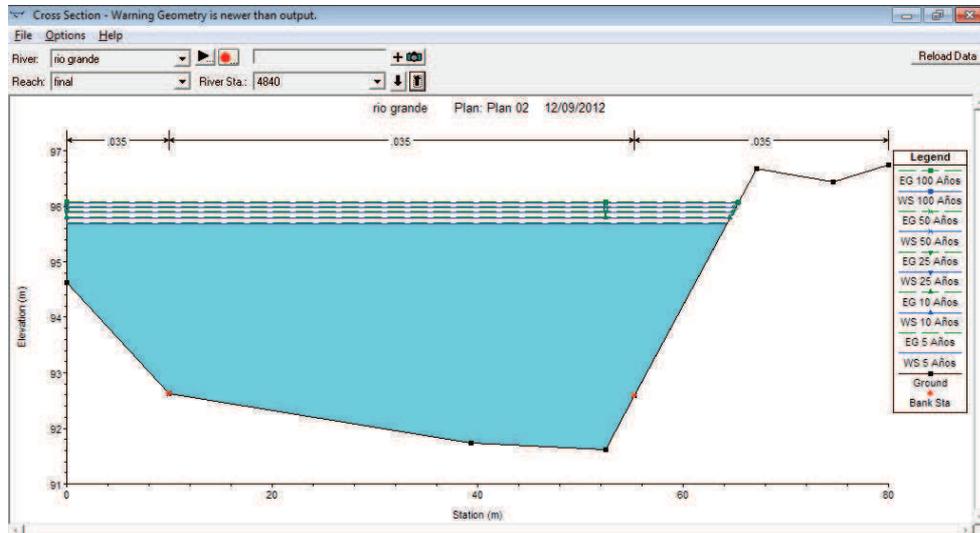
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



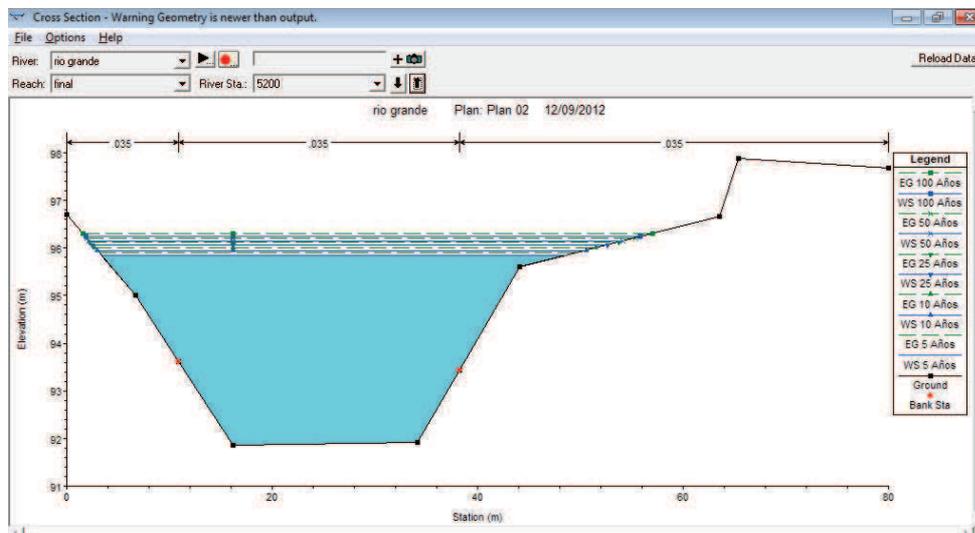
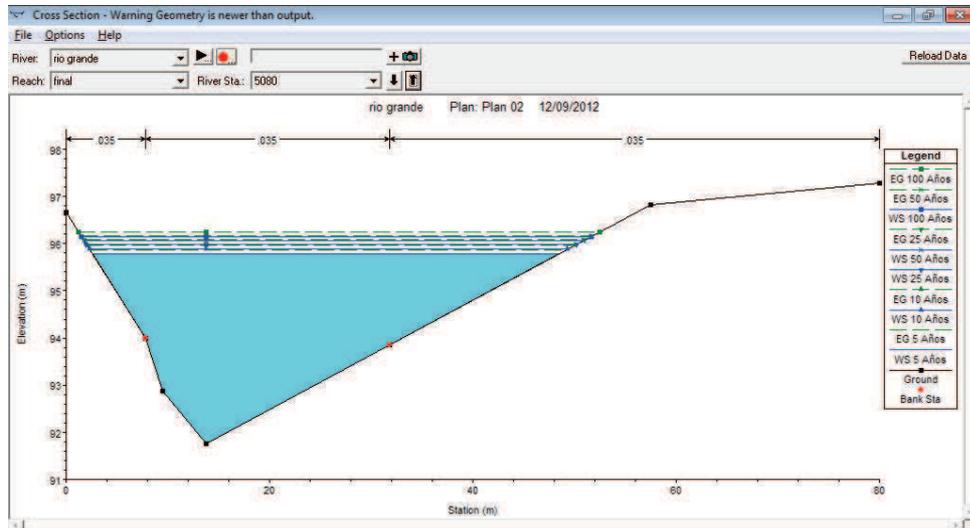
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



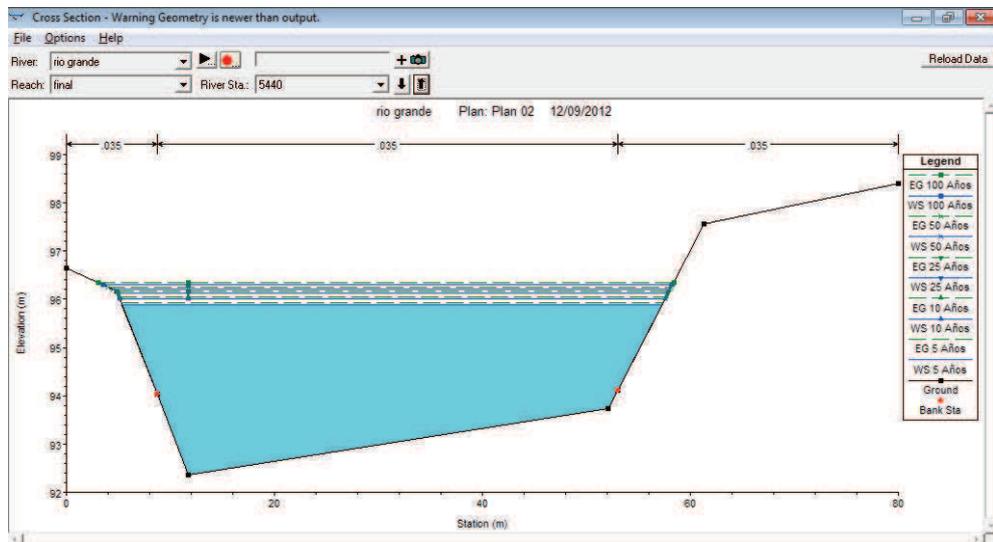
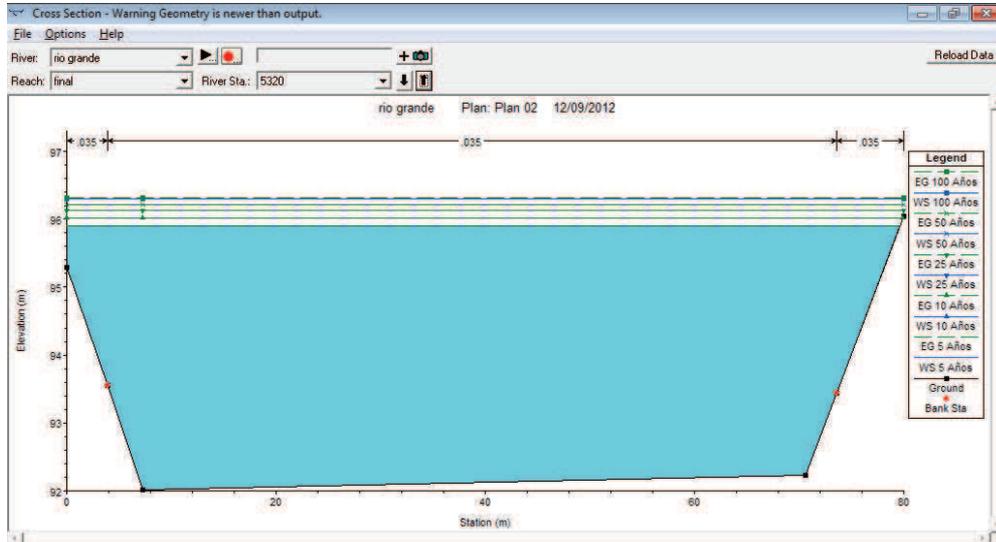
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



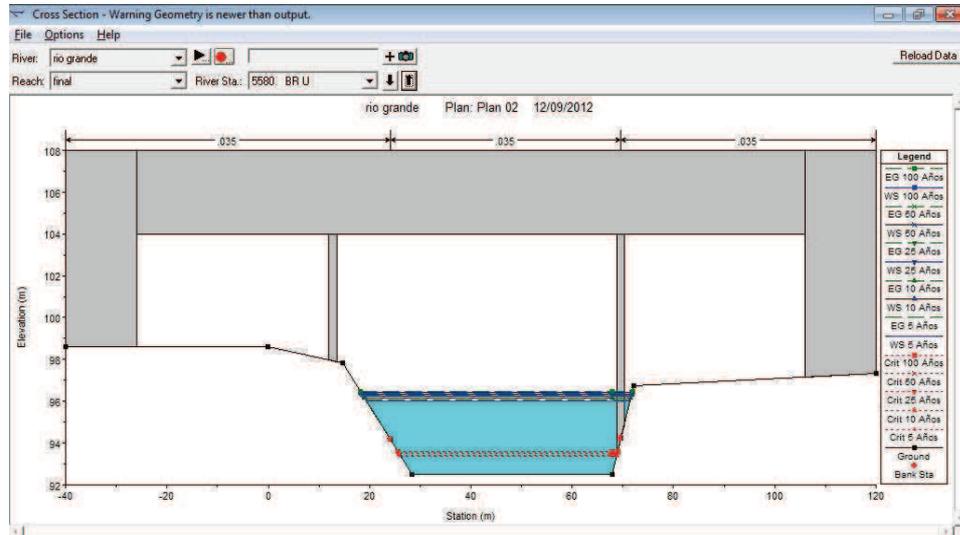
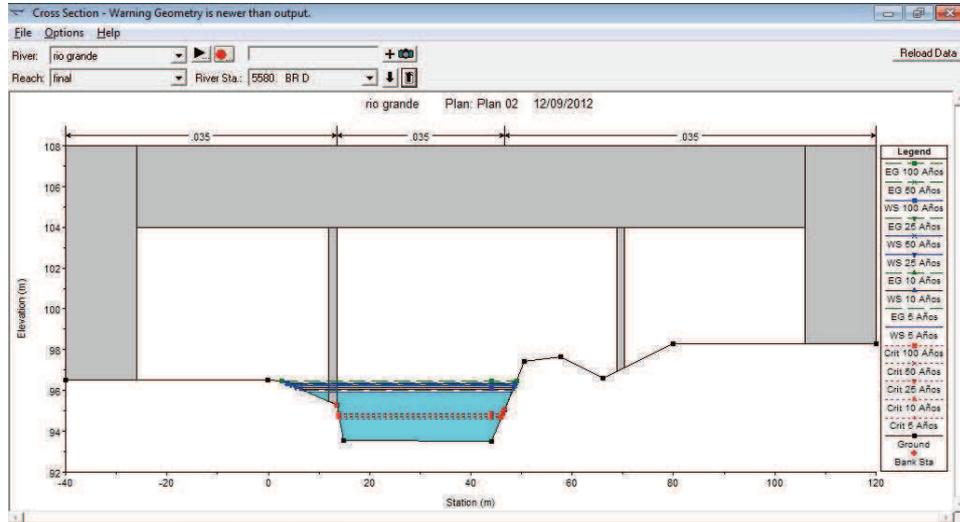
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



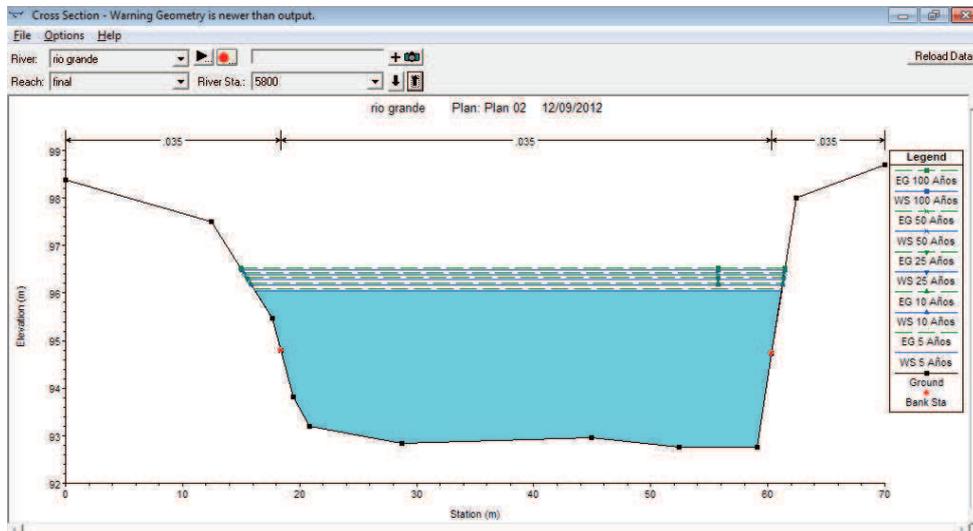
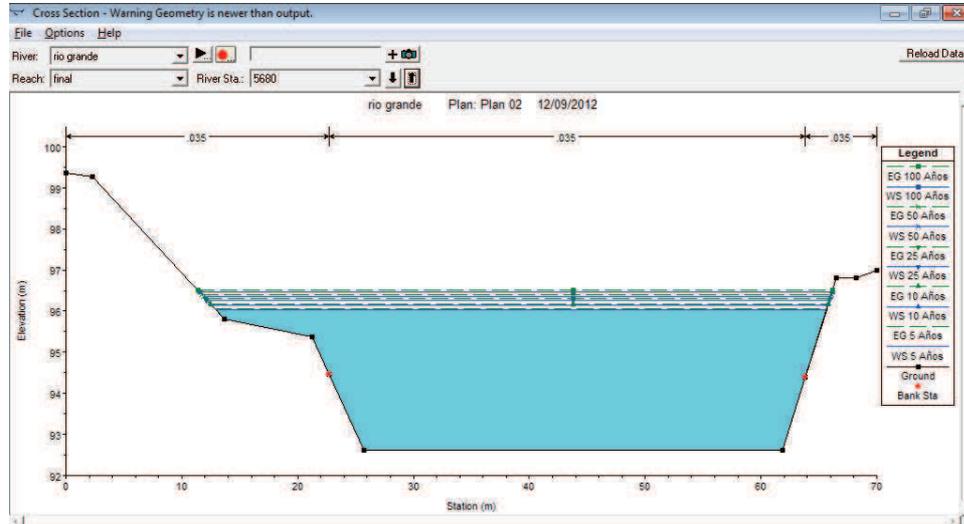
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



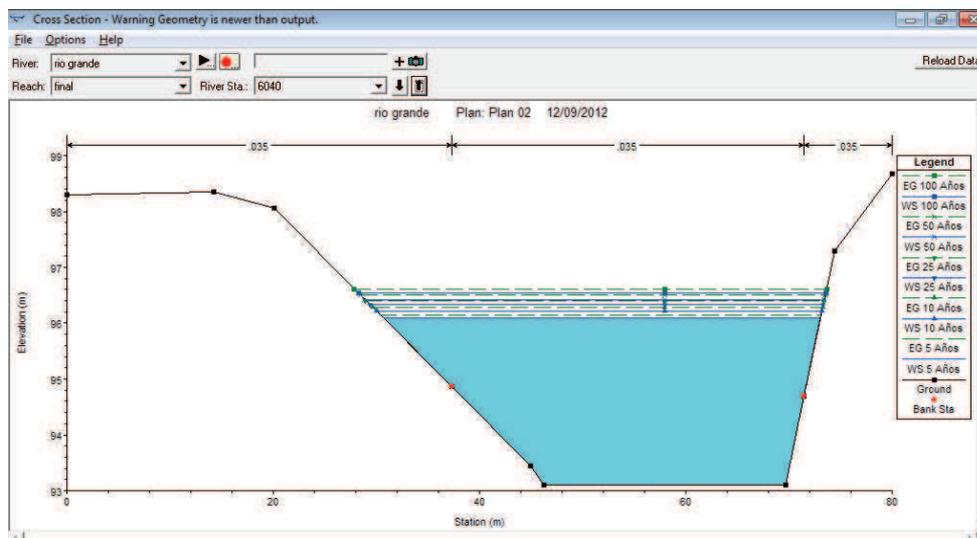
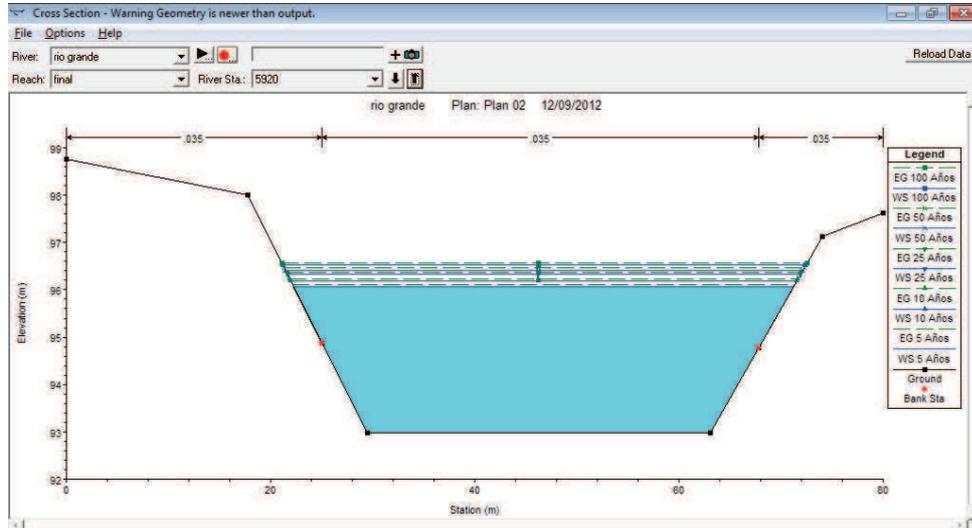
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



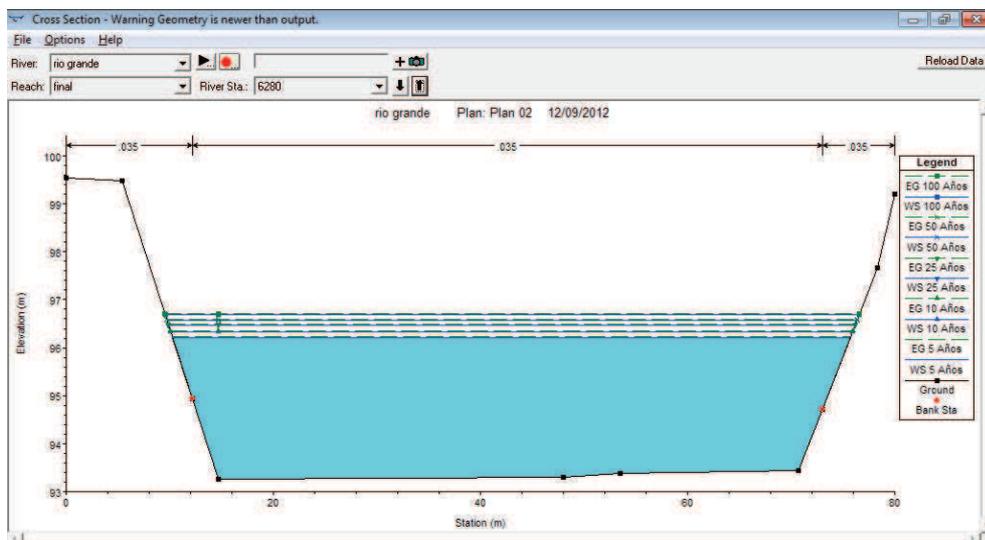
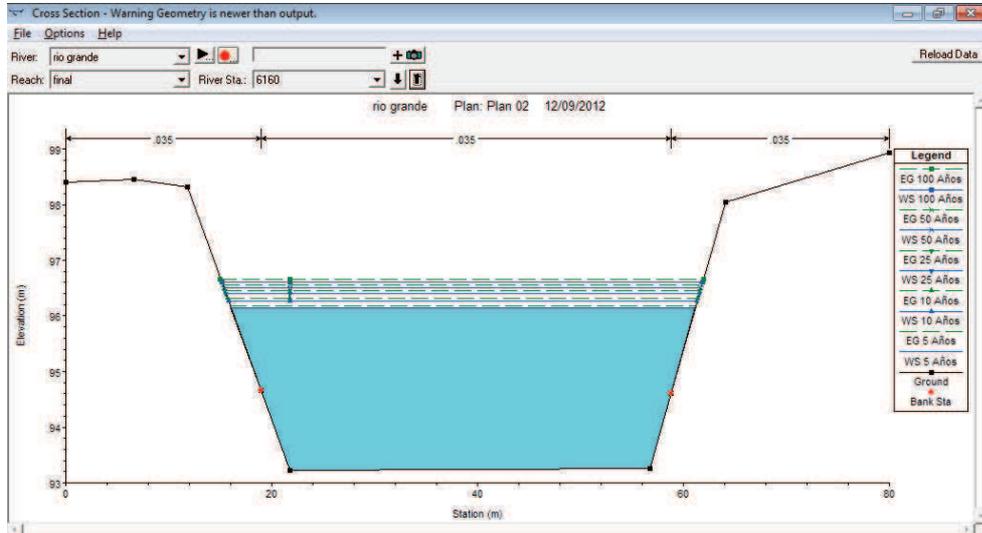
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



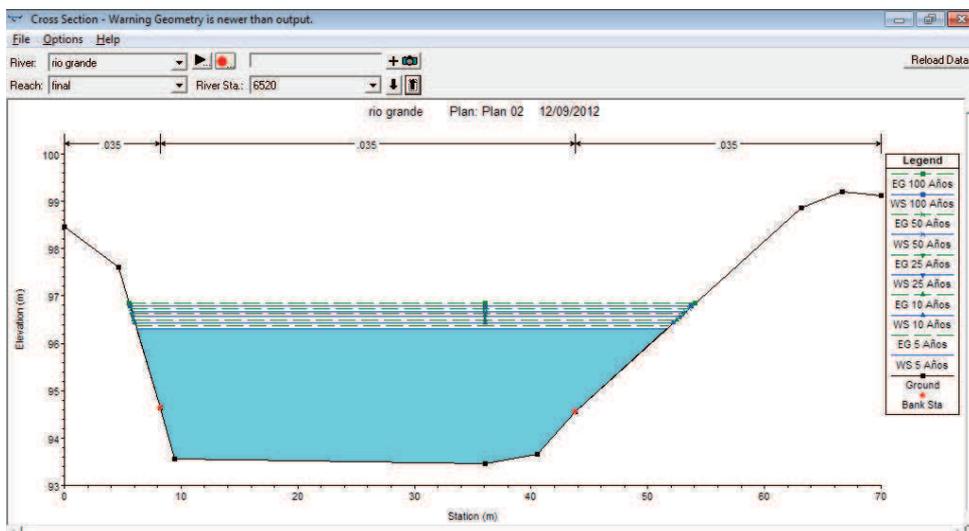
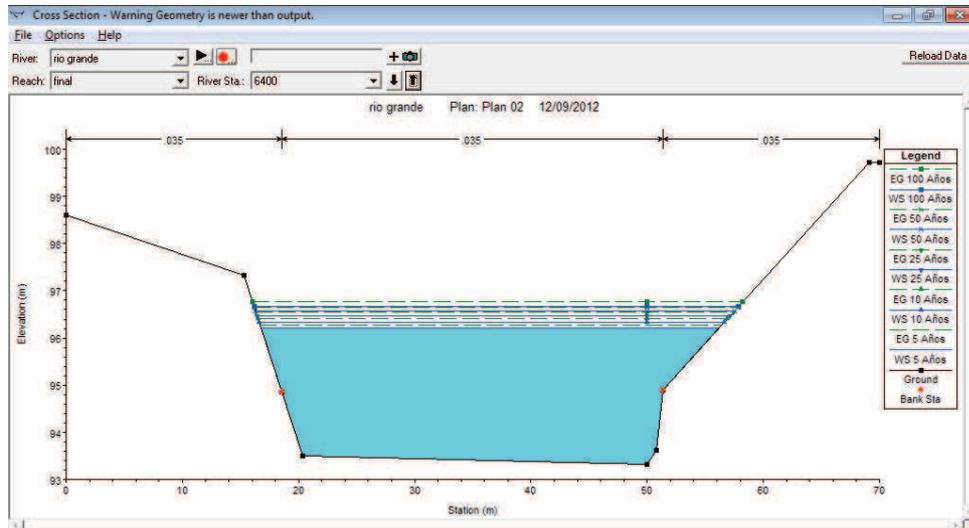
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



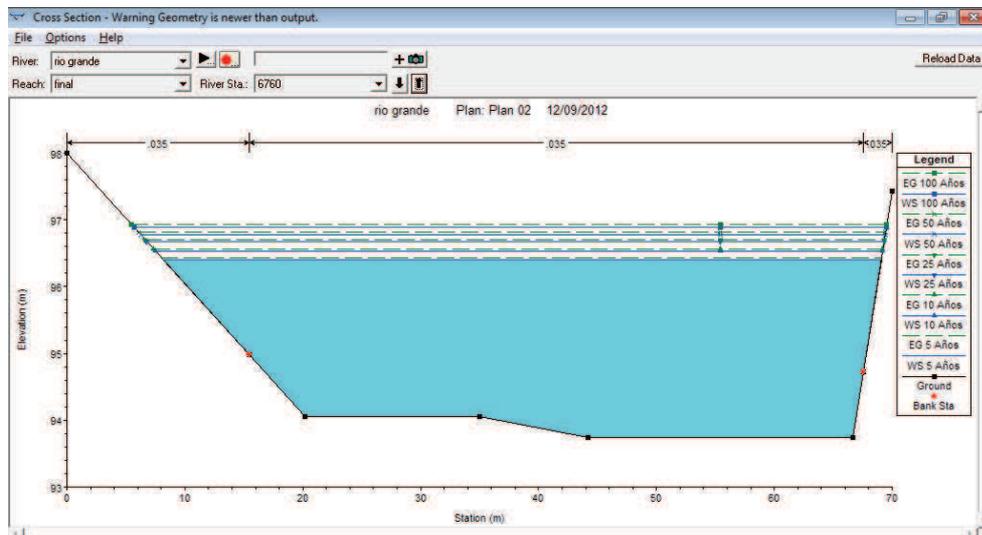
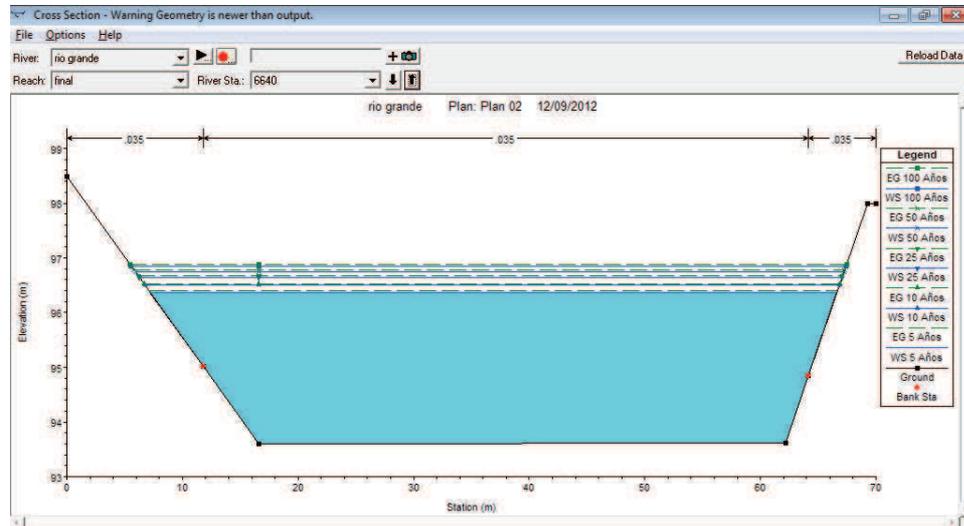
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



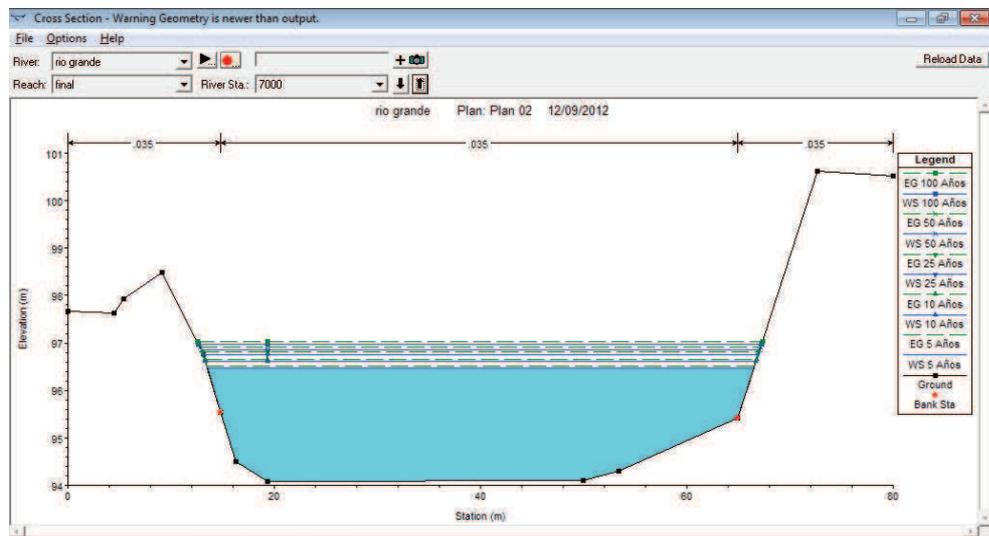
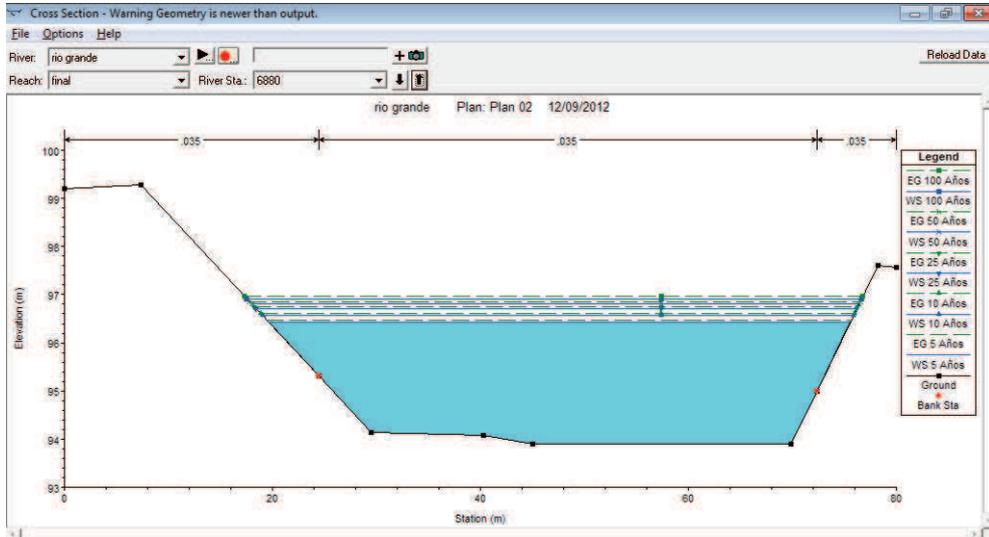
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



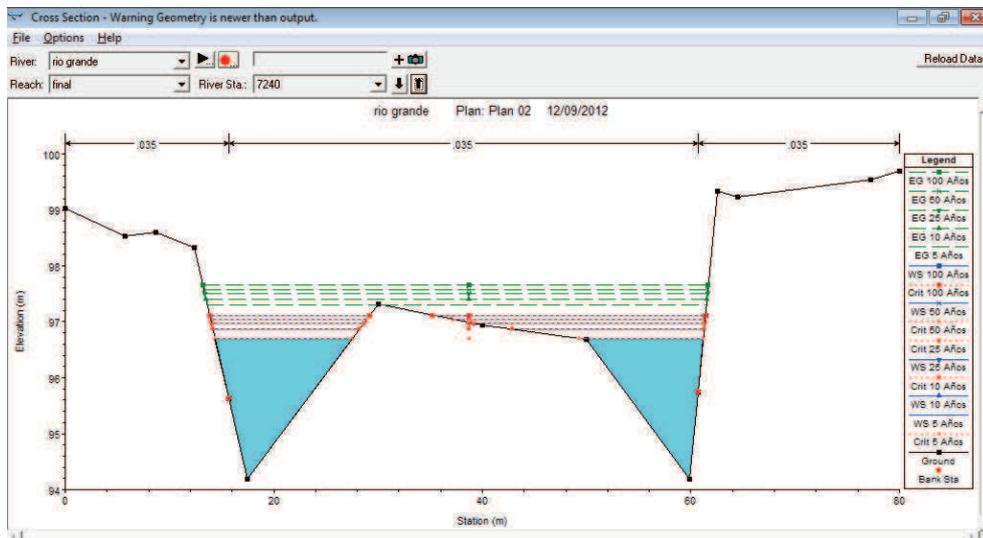
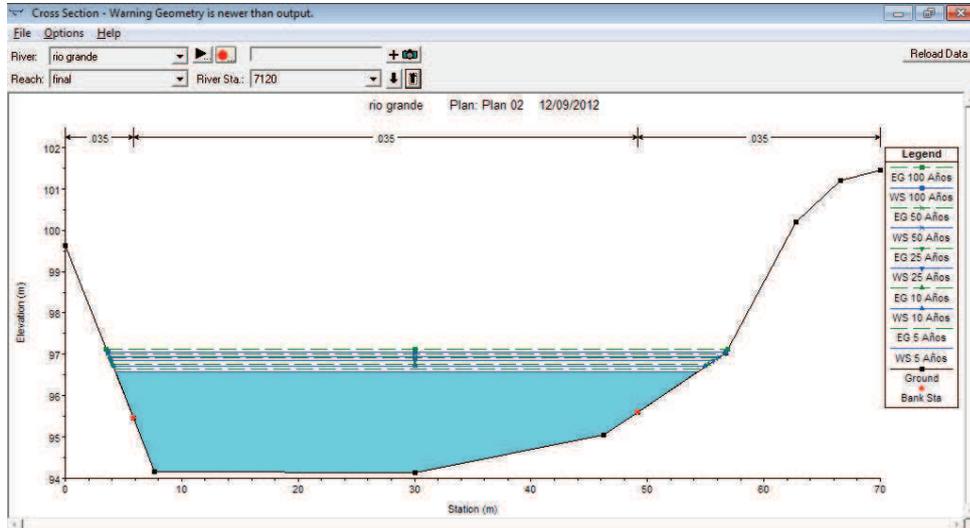
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



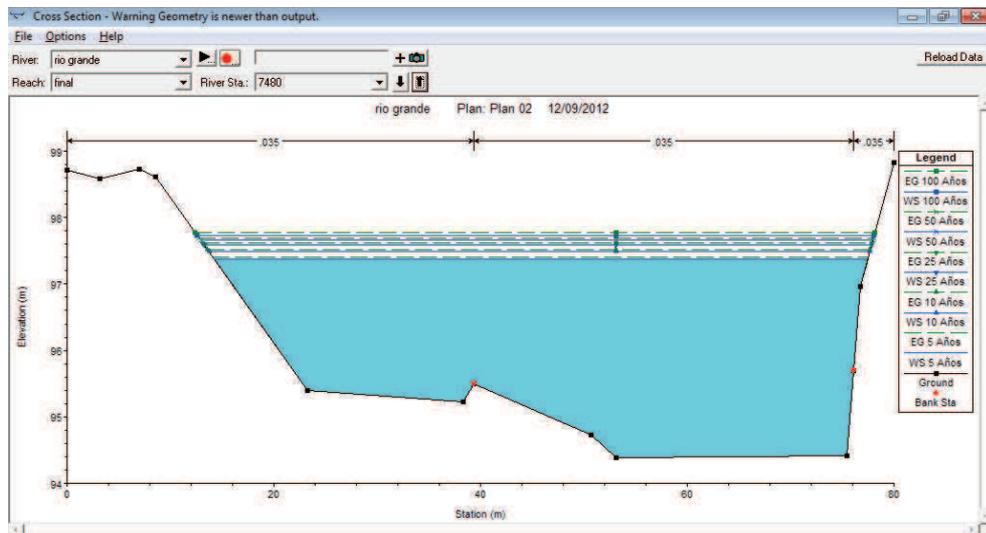
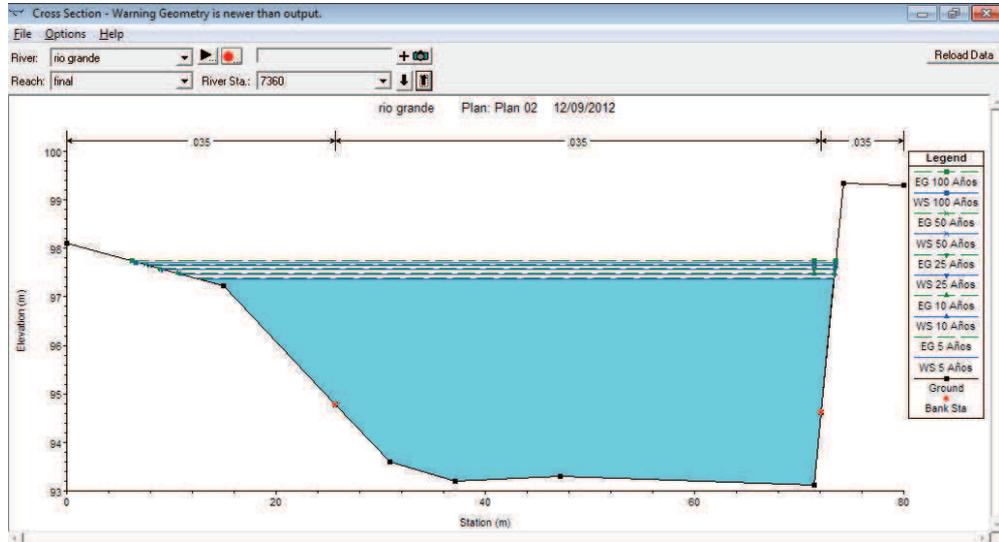
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



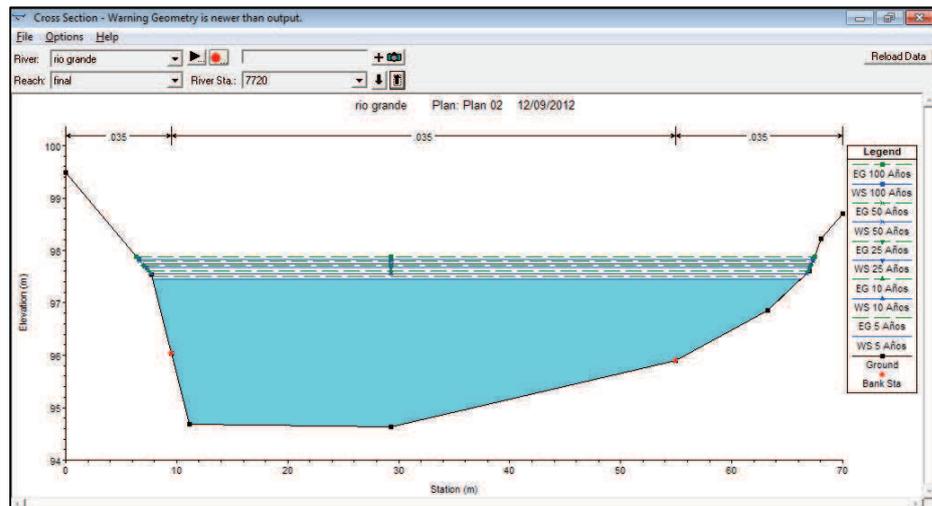
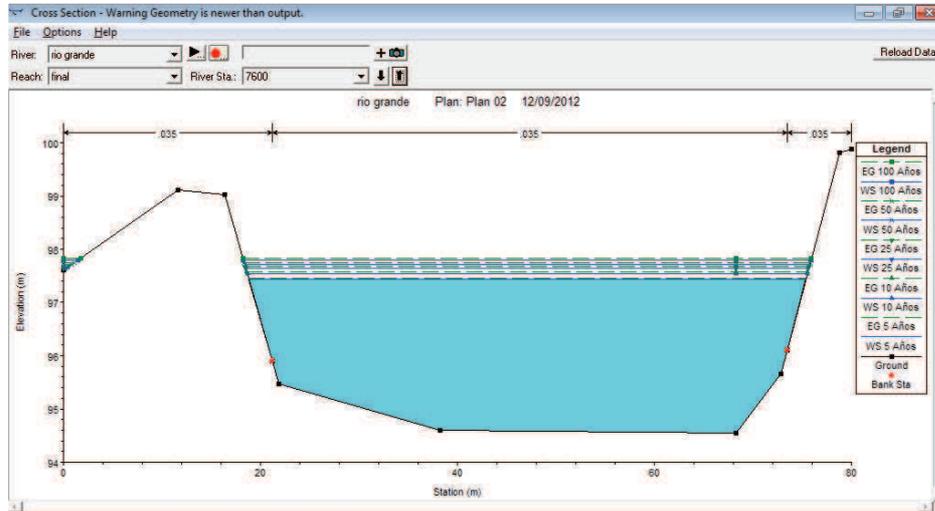
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



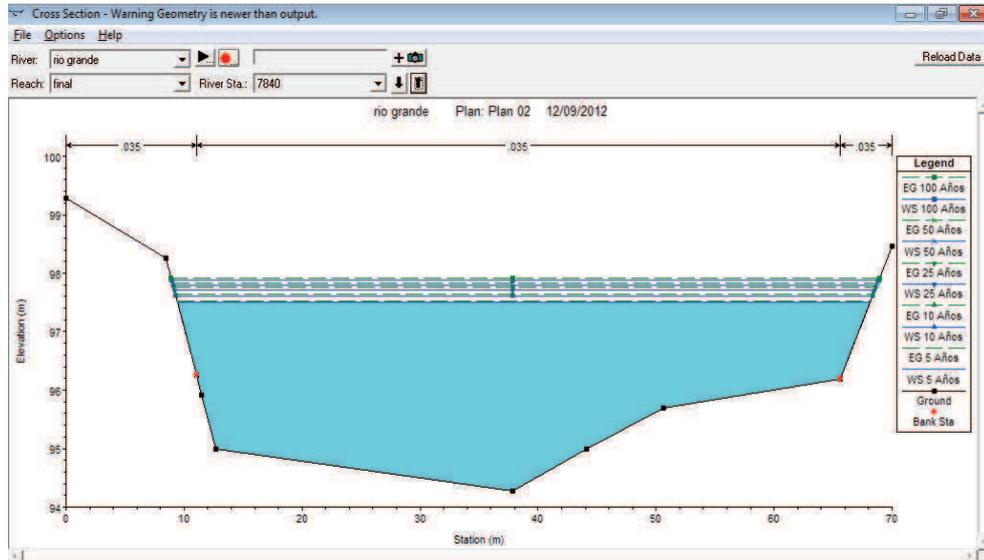
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



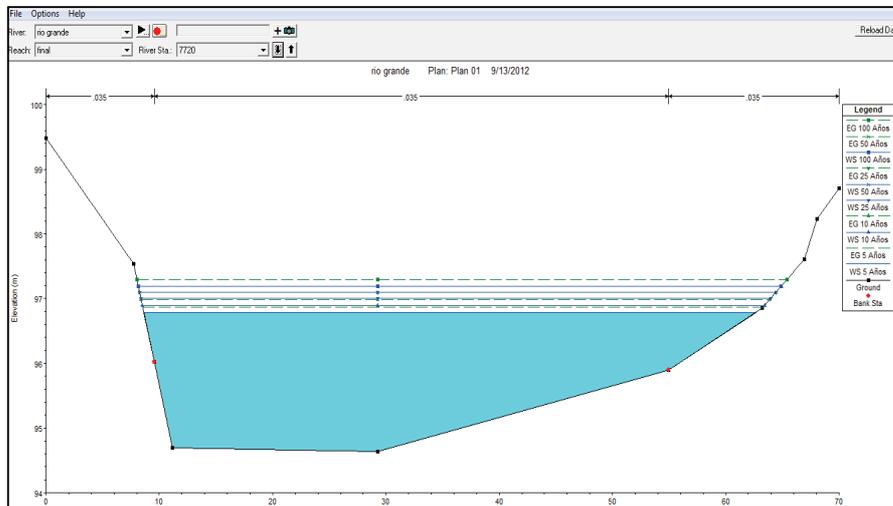
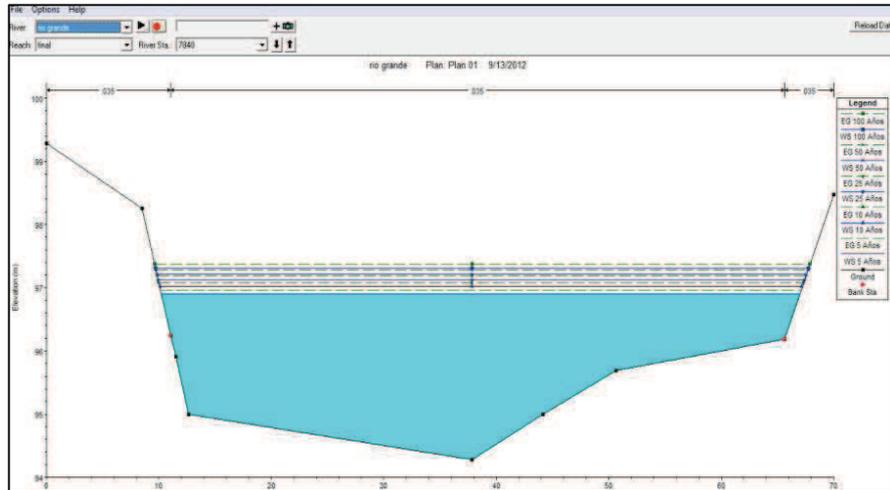
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



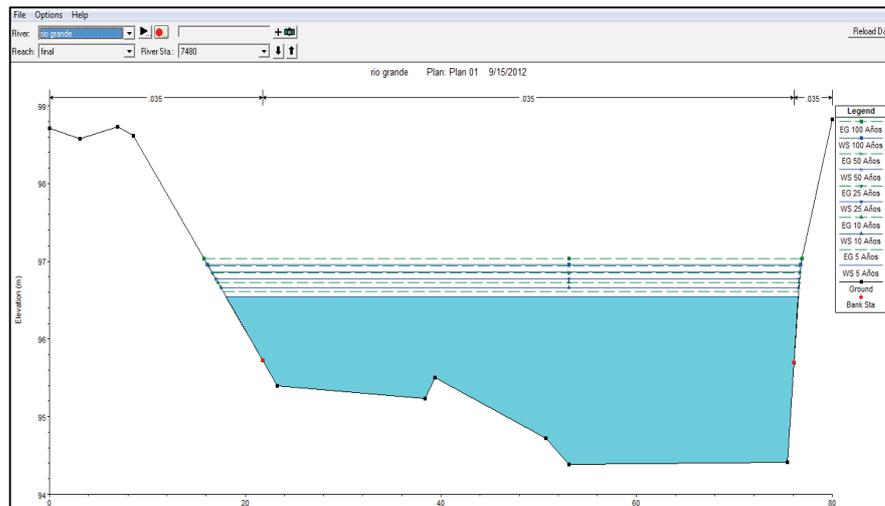
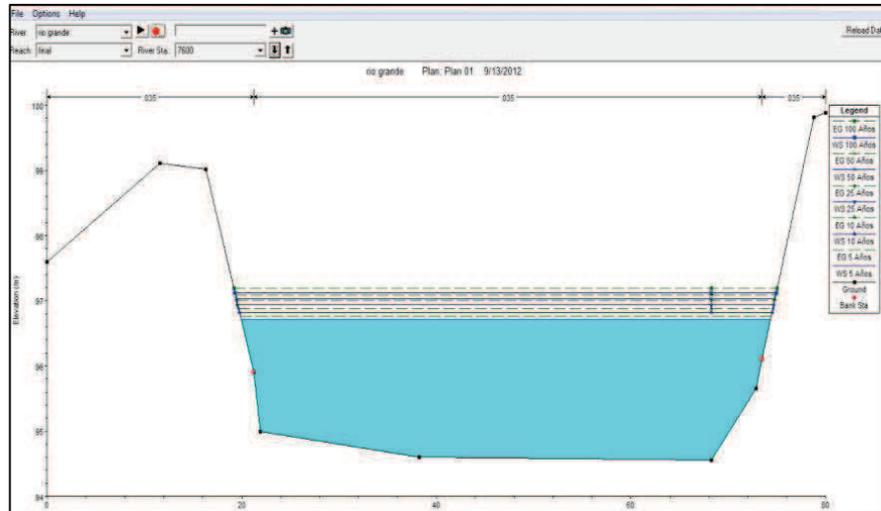
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



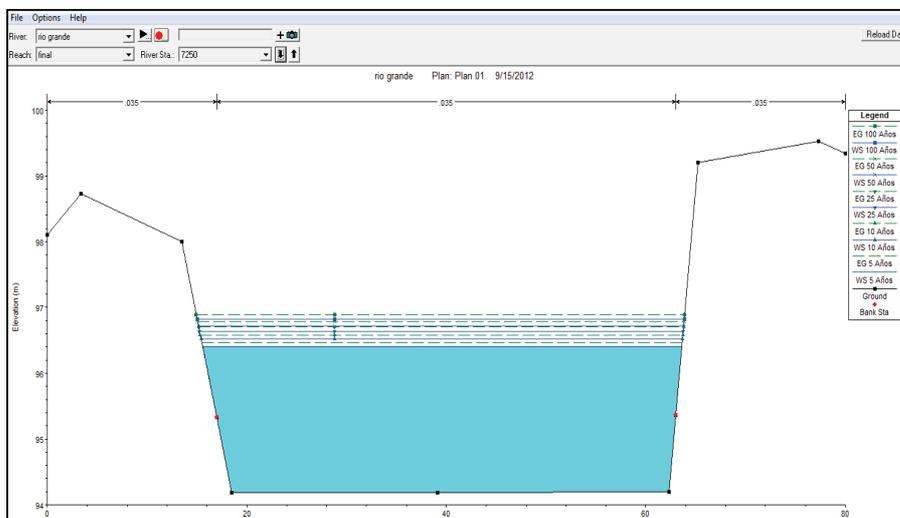
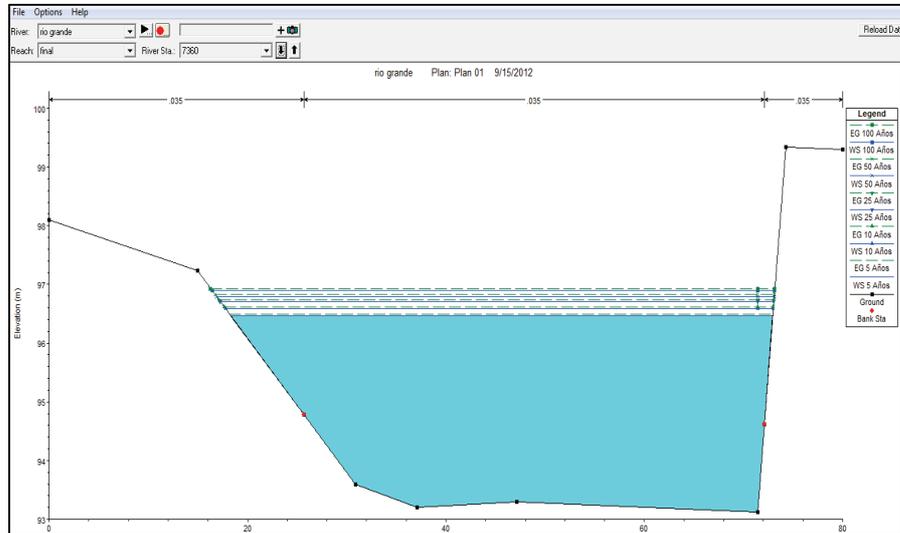
ANEXO 3: SECCIONES EVALUADAS EN HEC-RAS, ÁREA HIDRÁULICA AMPLIADA



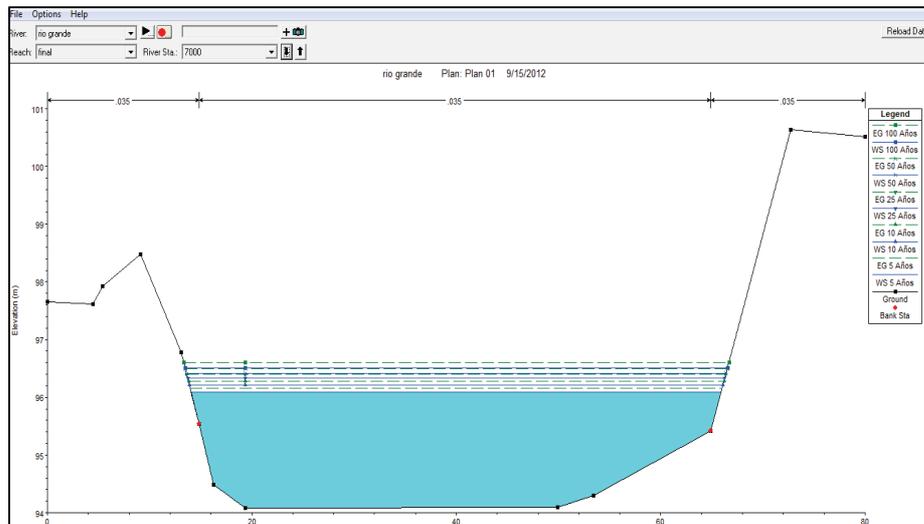
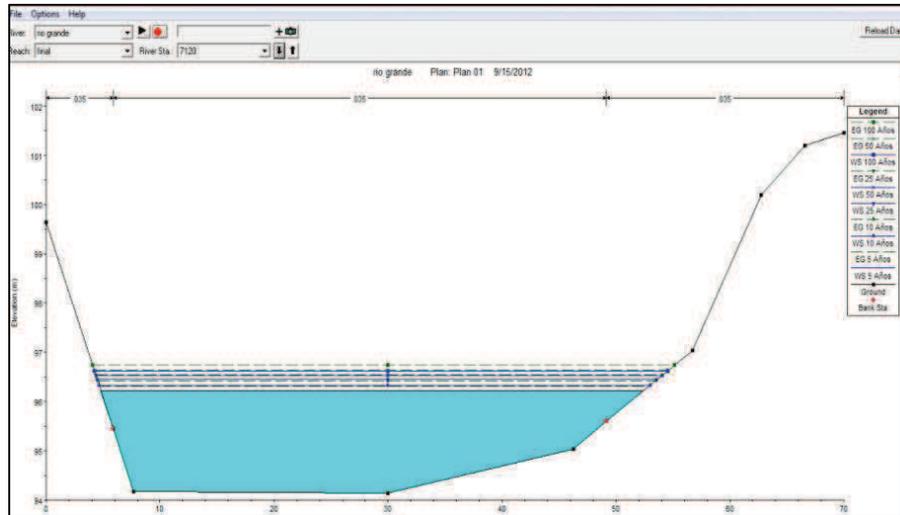
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



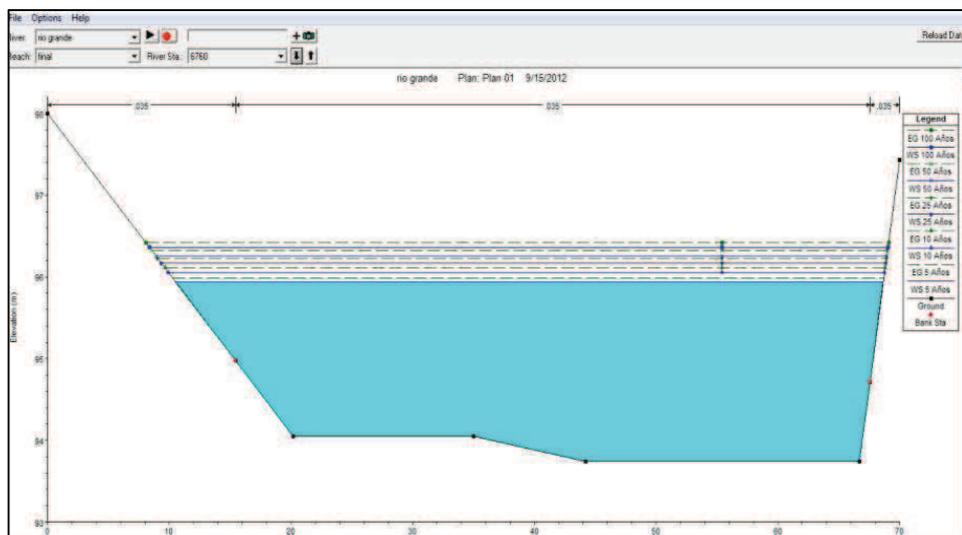
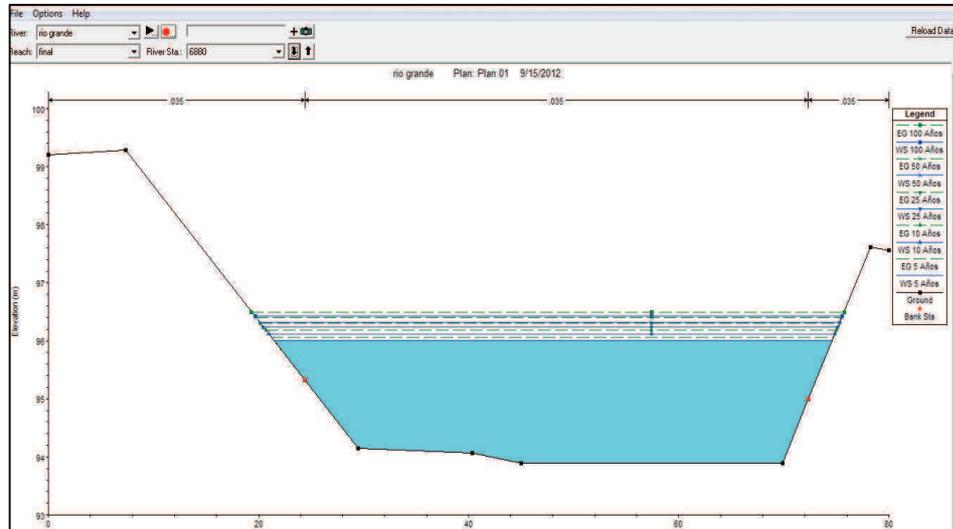
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



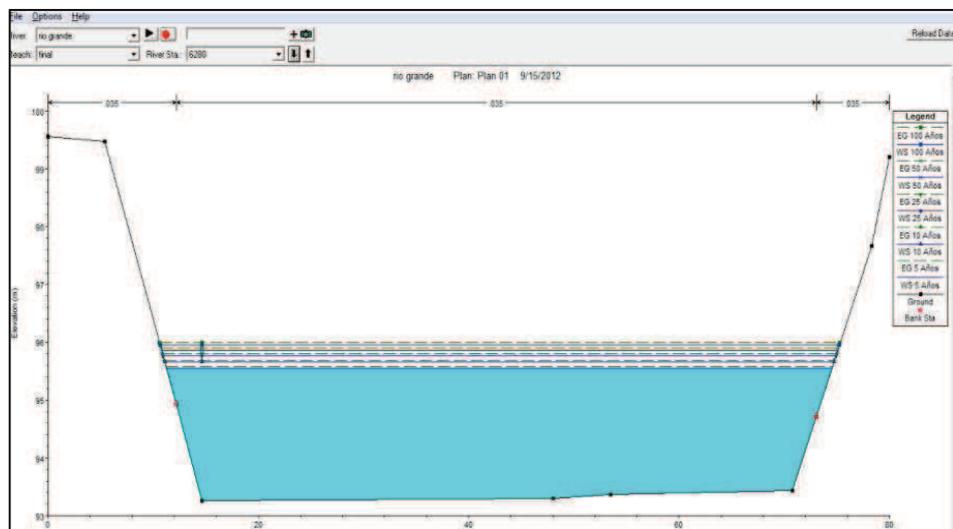
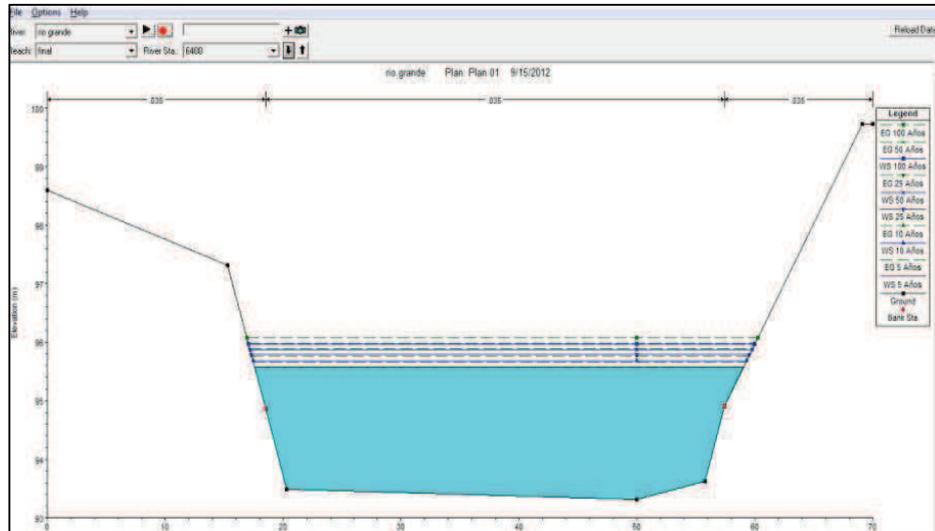
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



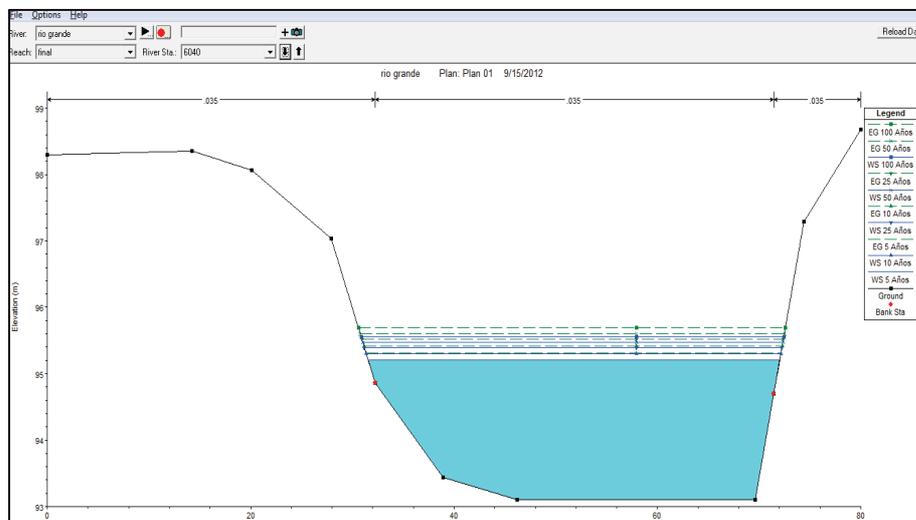
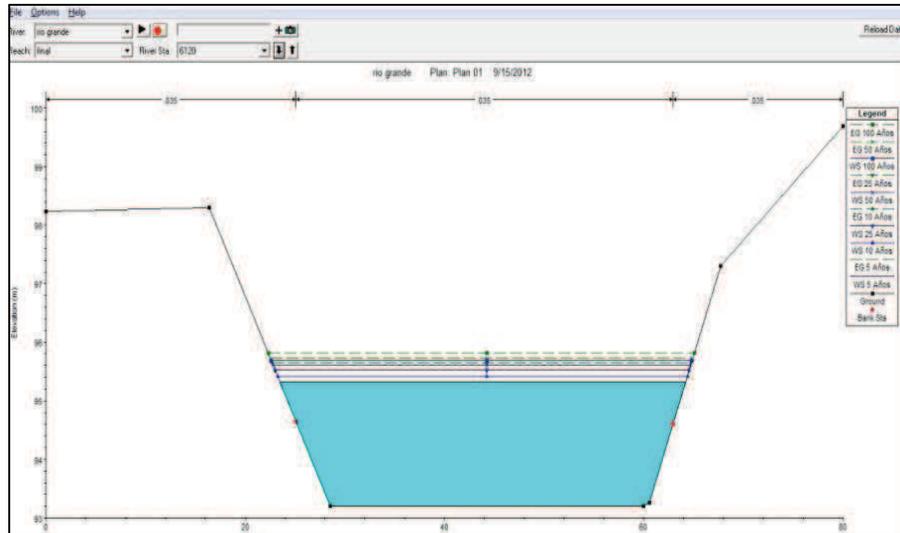
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



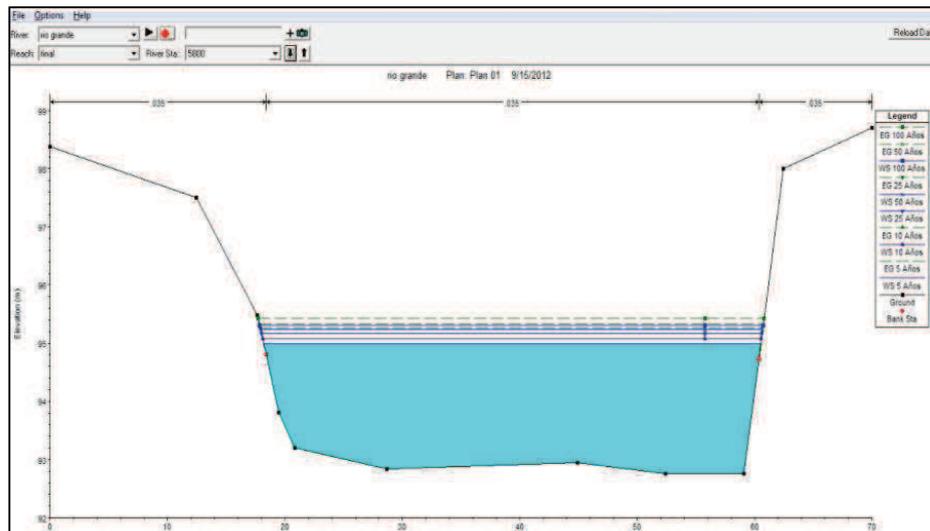
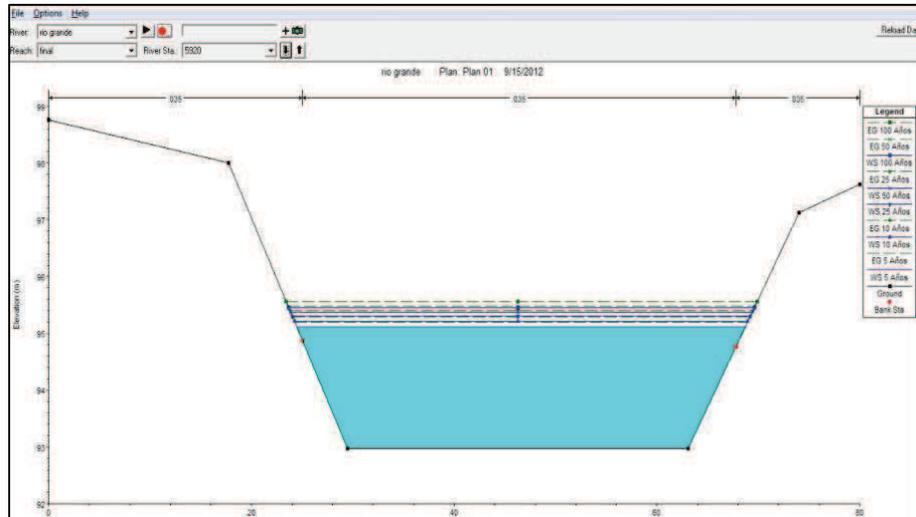
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



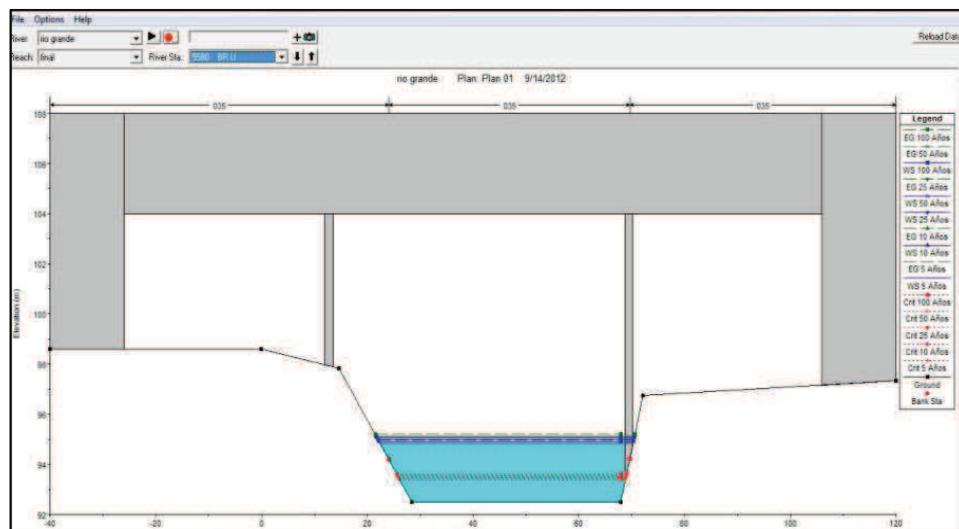
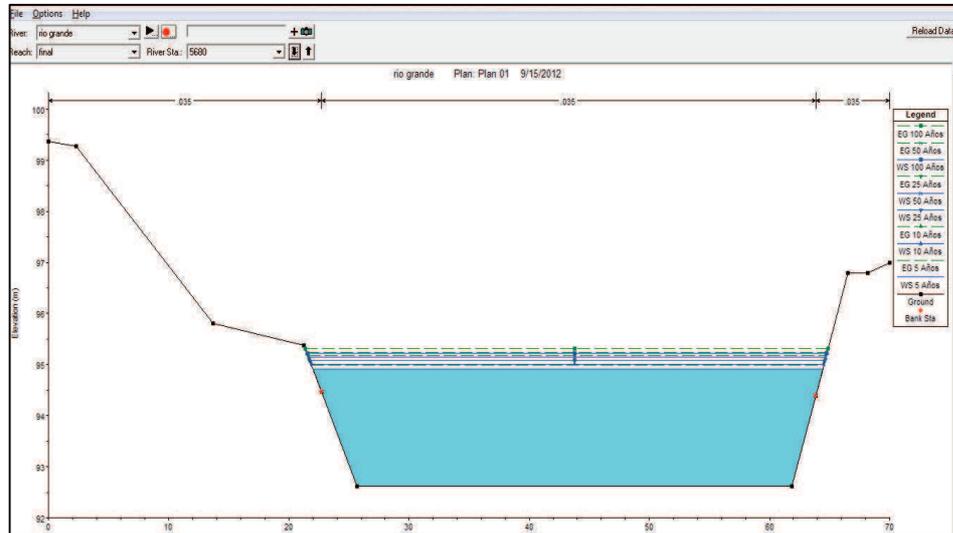
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



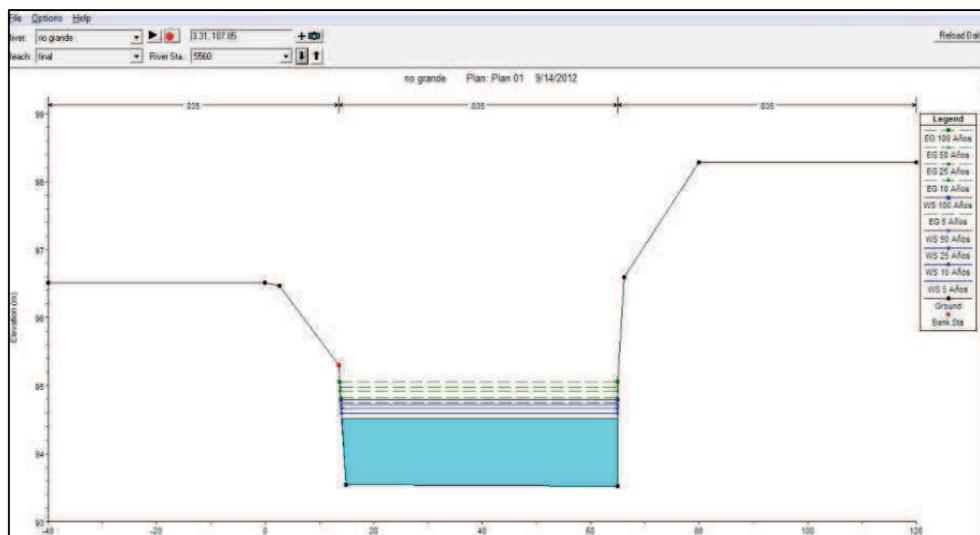
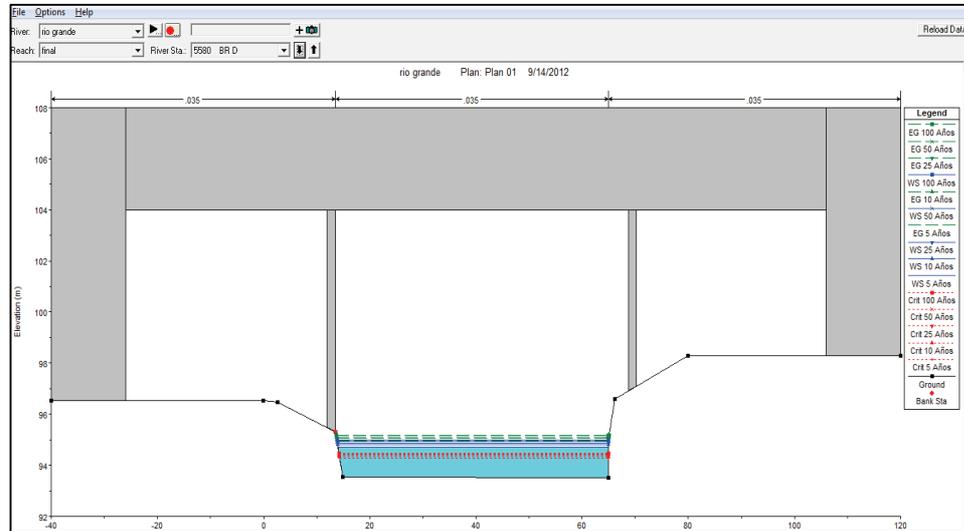
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



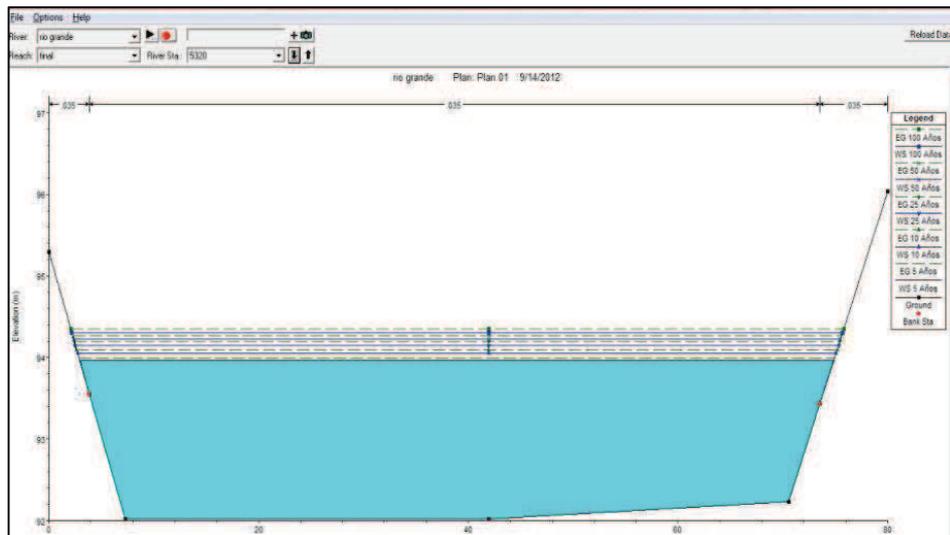
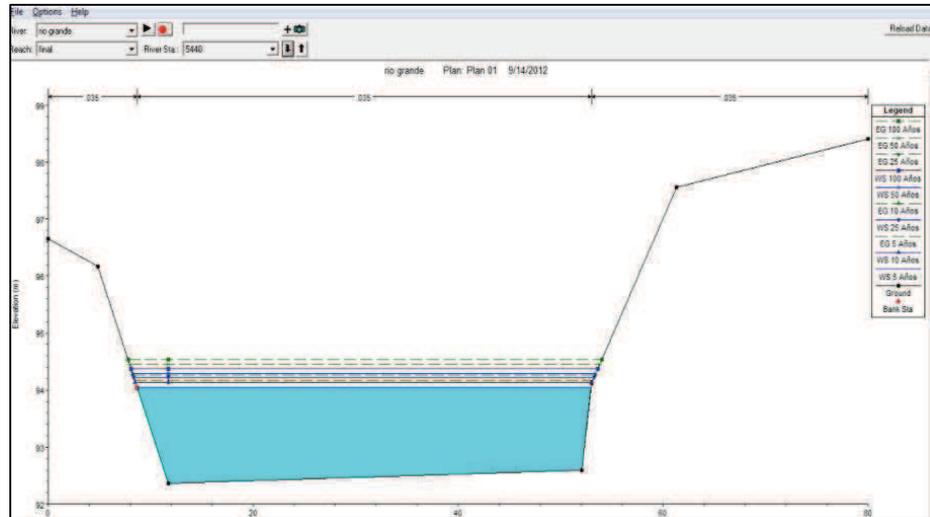
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



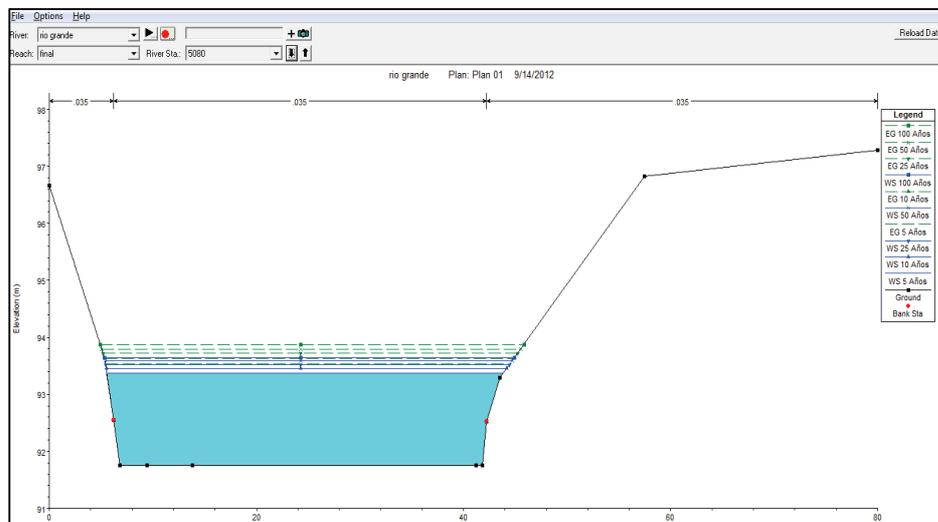
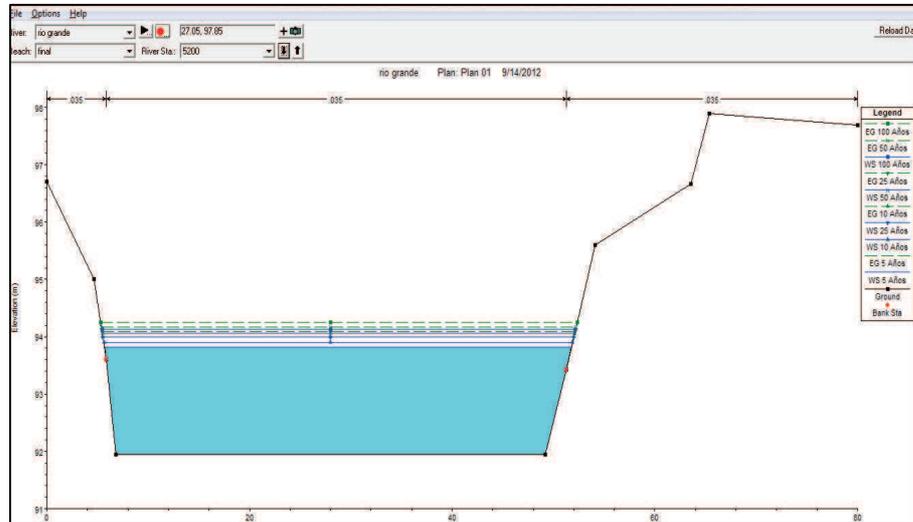
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



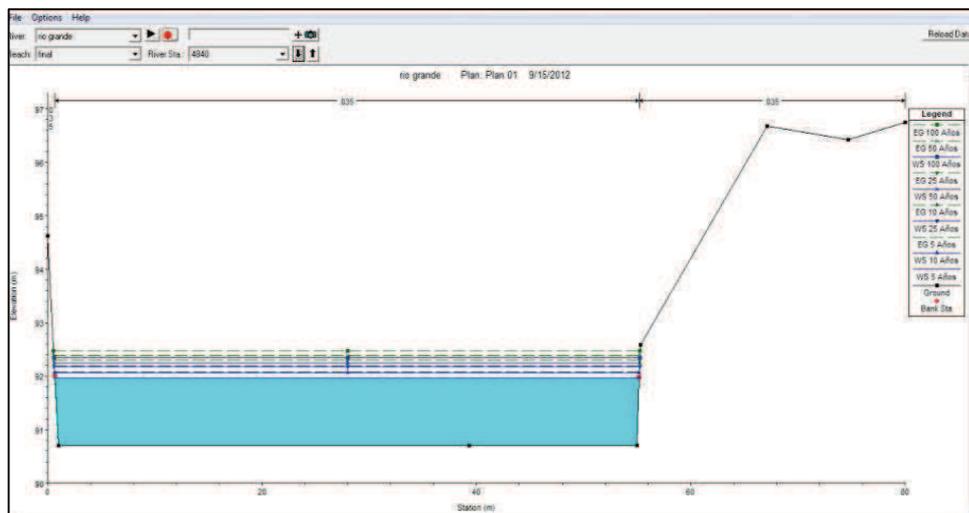
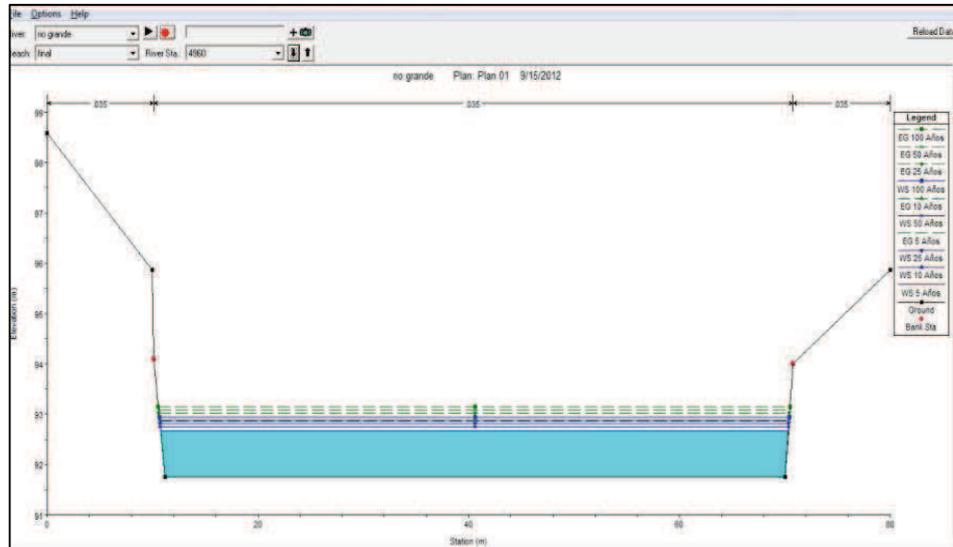
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



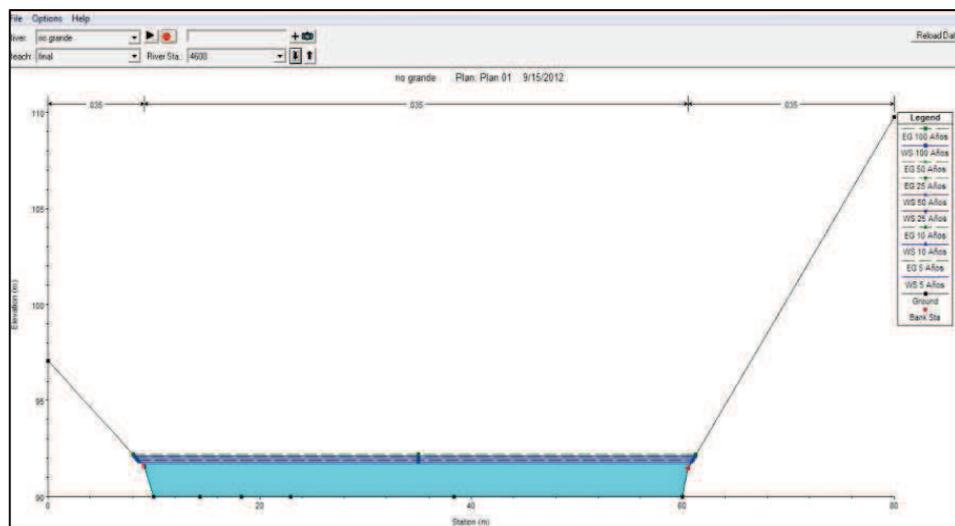
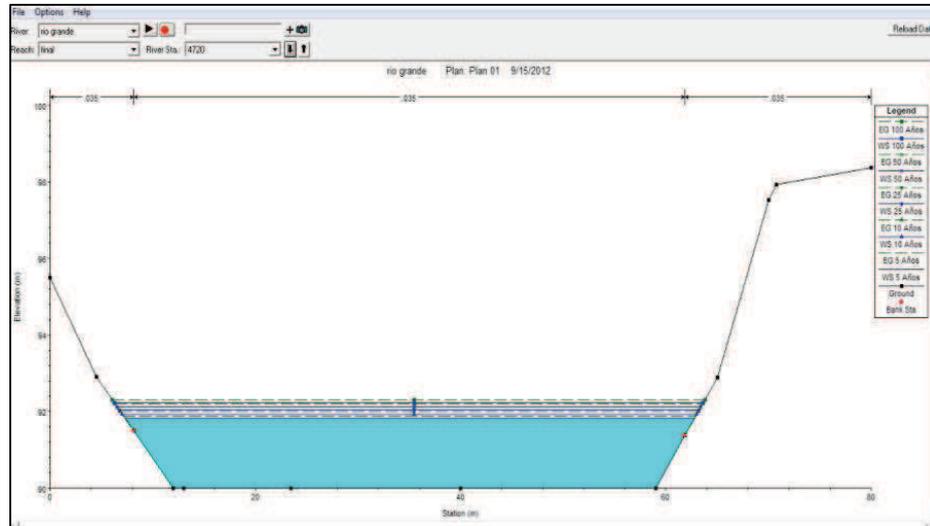
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



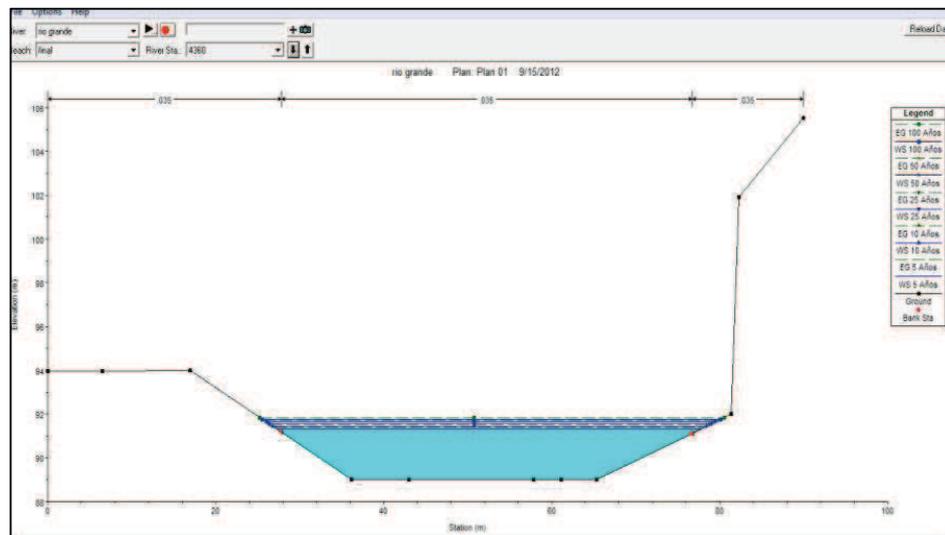
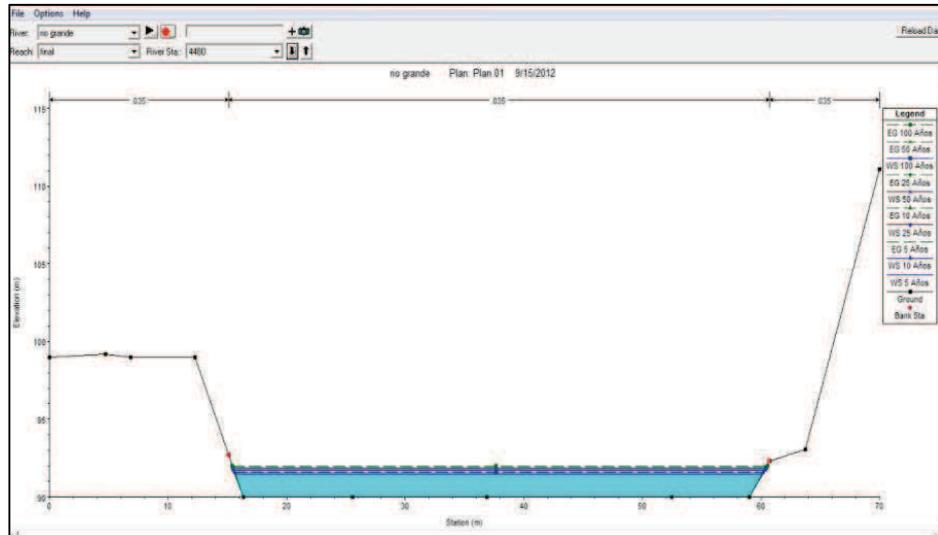
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



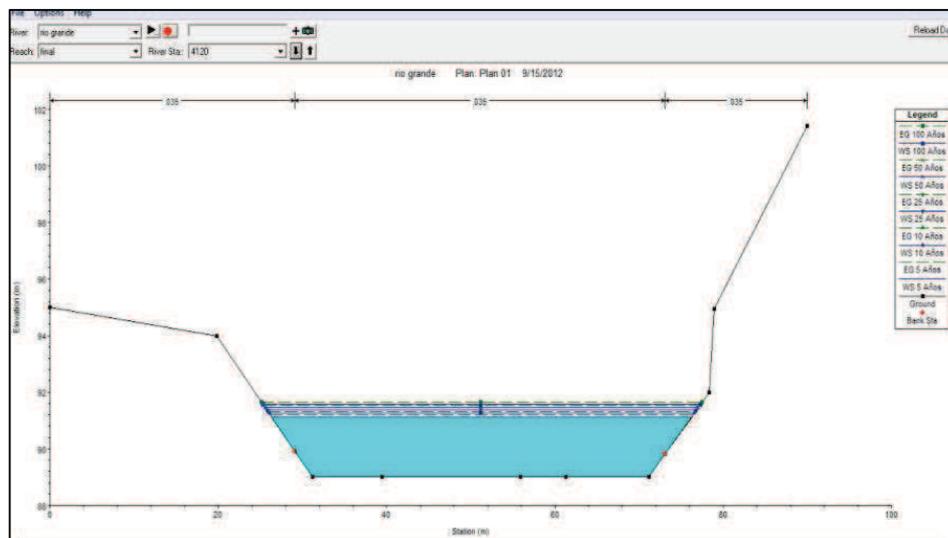
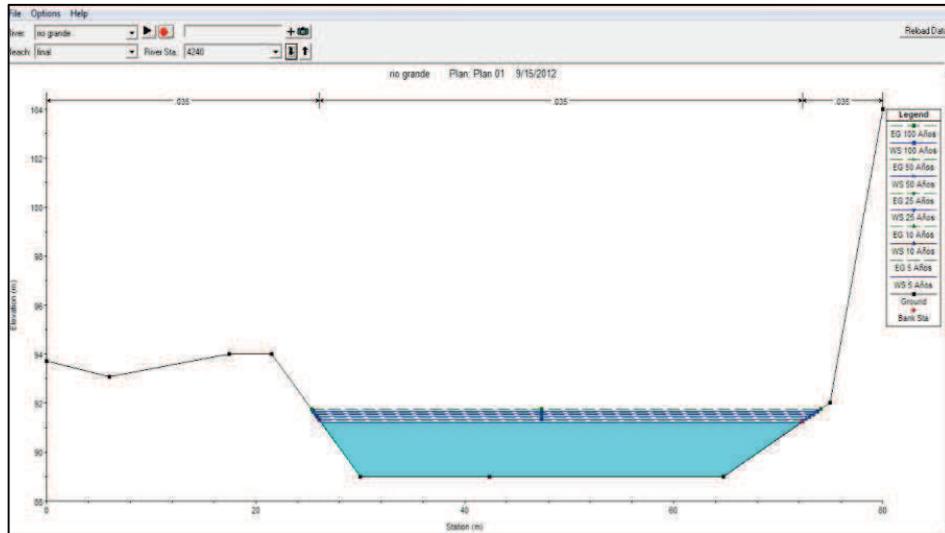
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



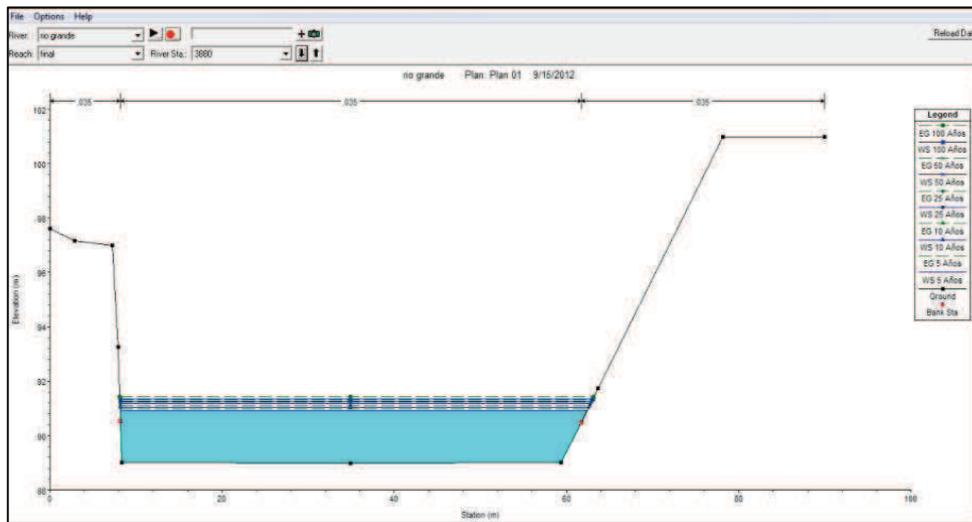
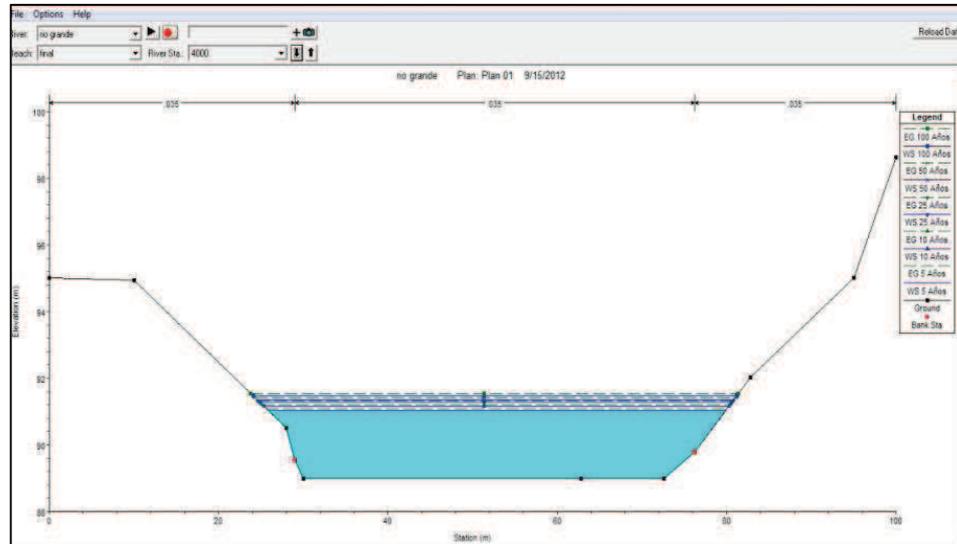
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



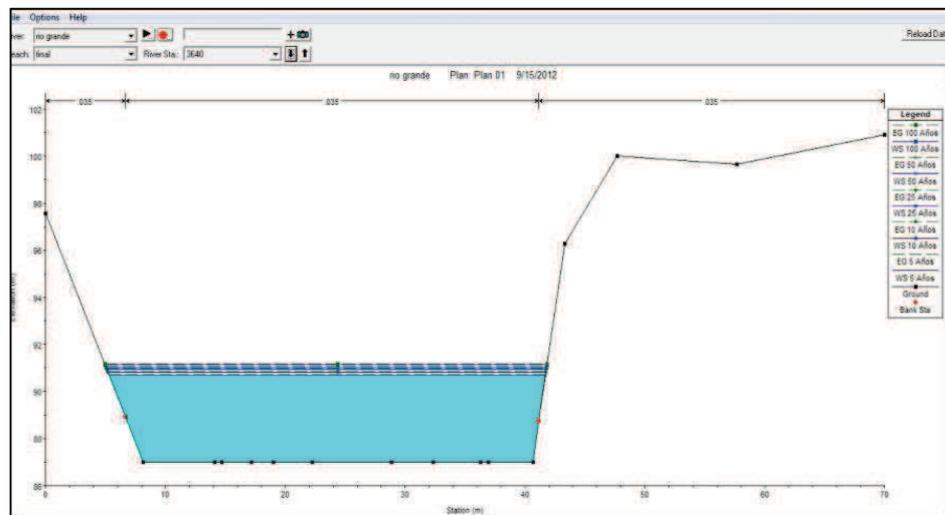
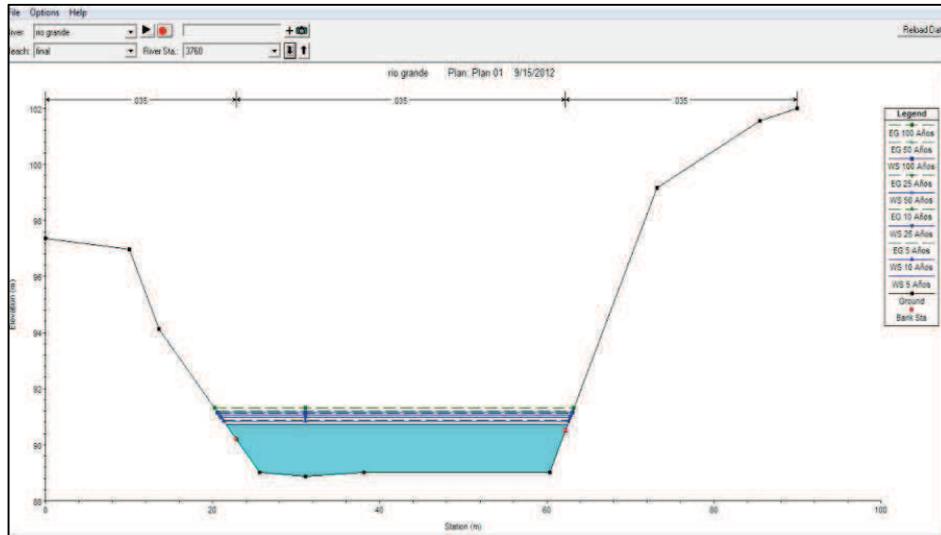
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



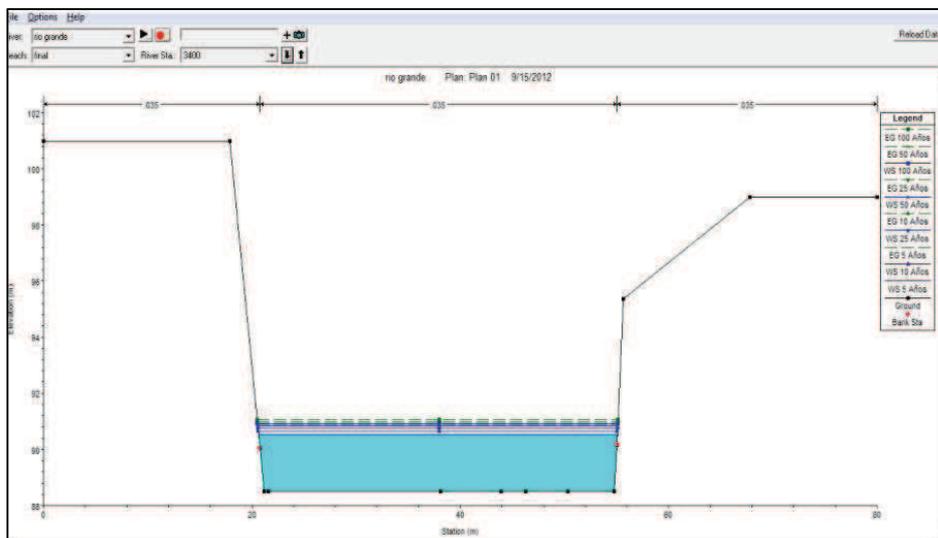
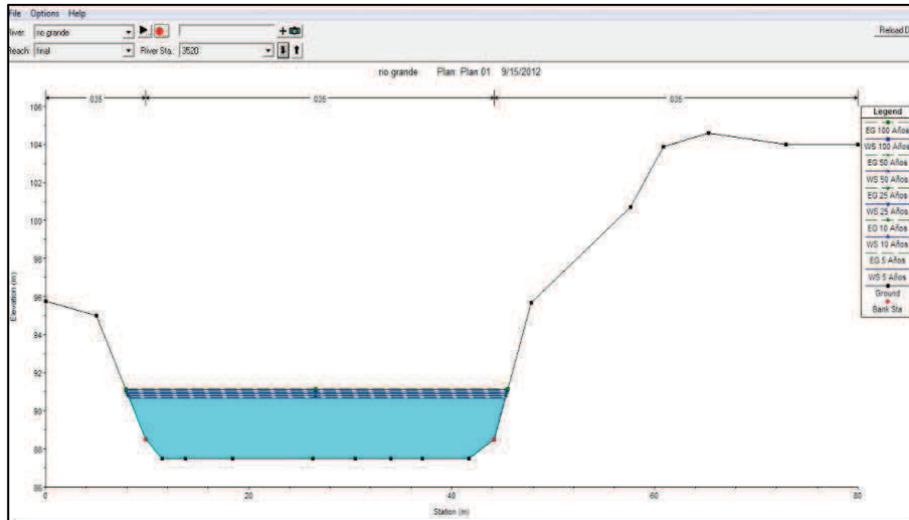
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



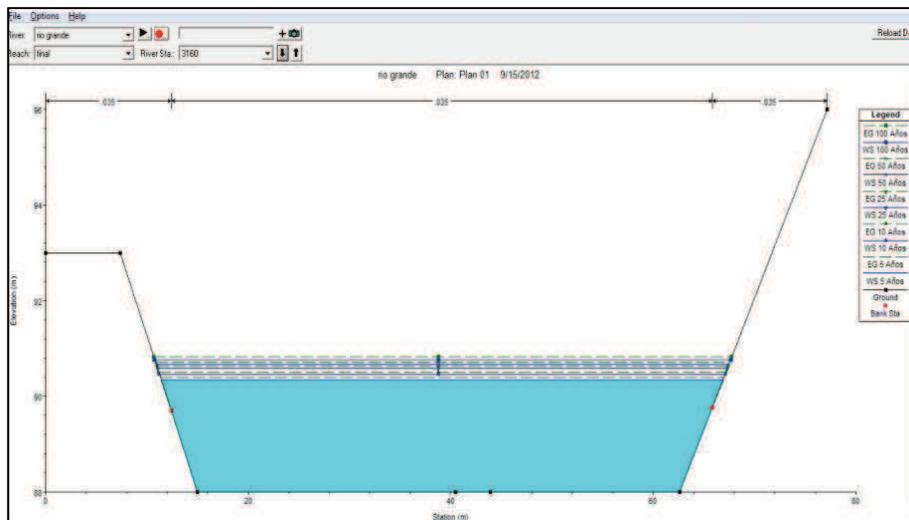
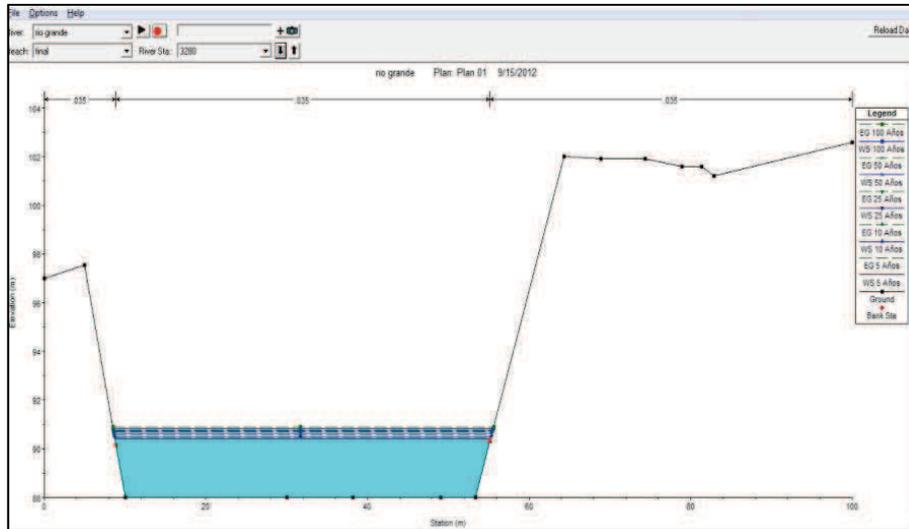
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



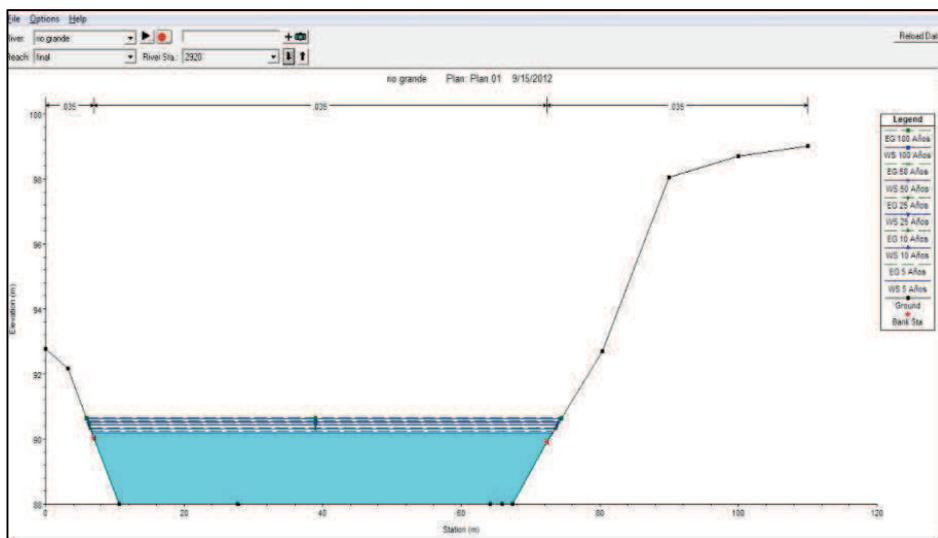
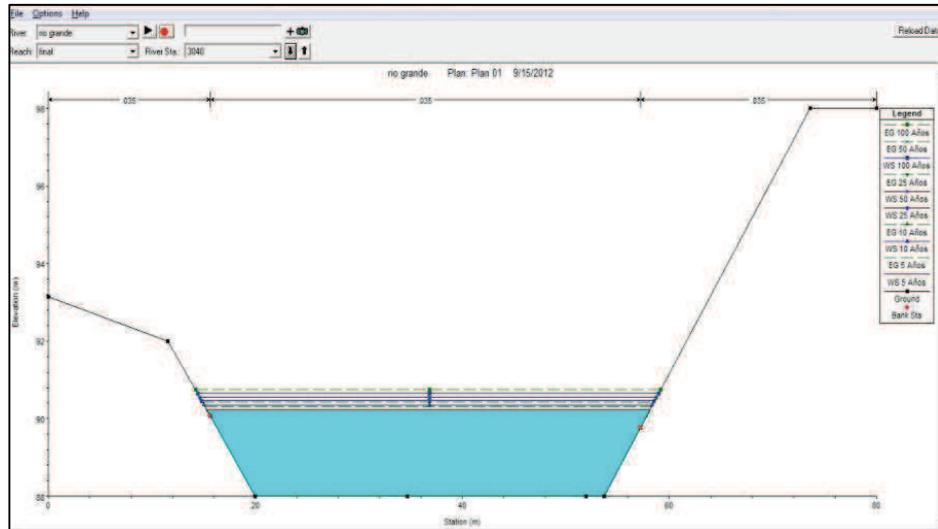
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



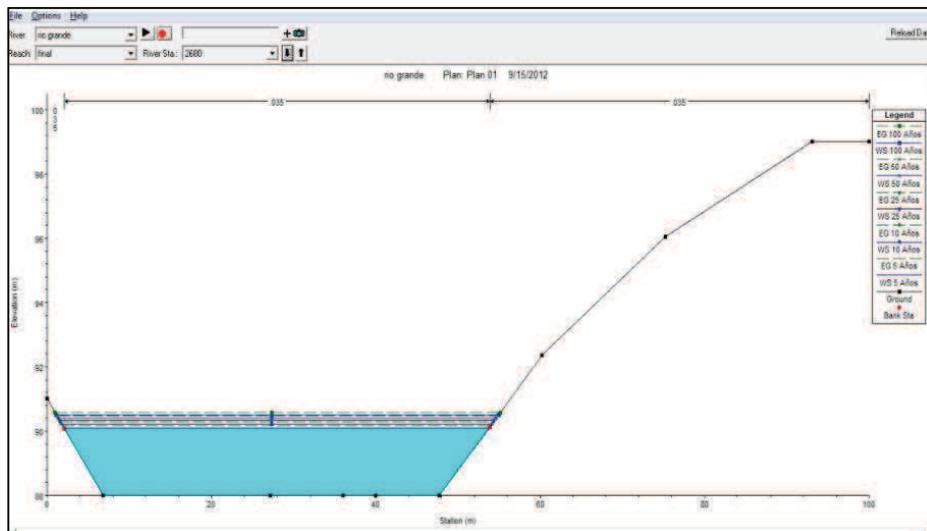
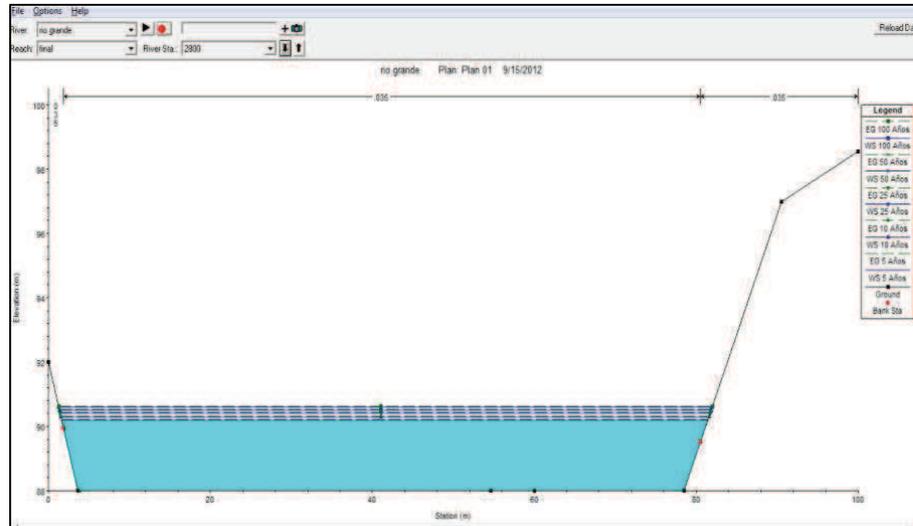
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



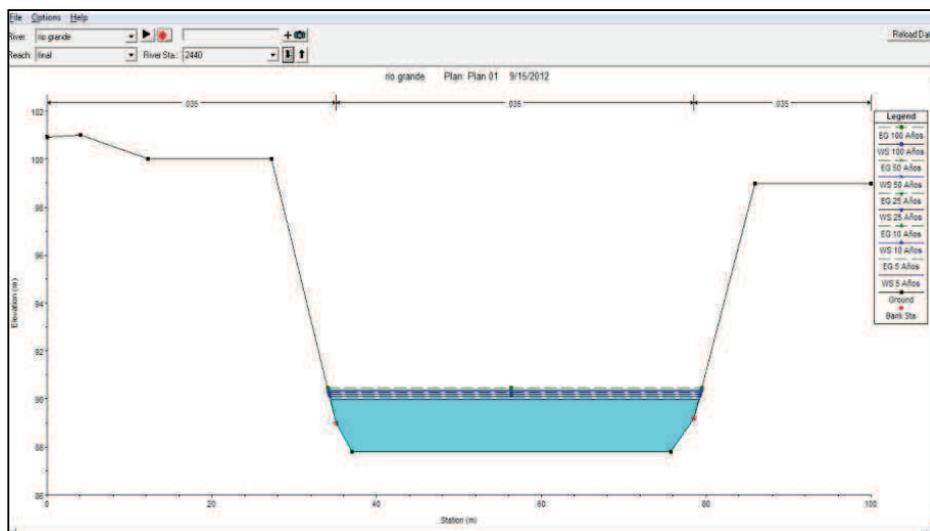
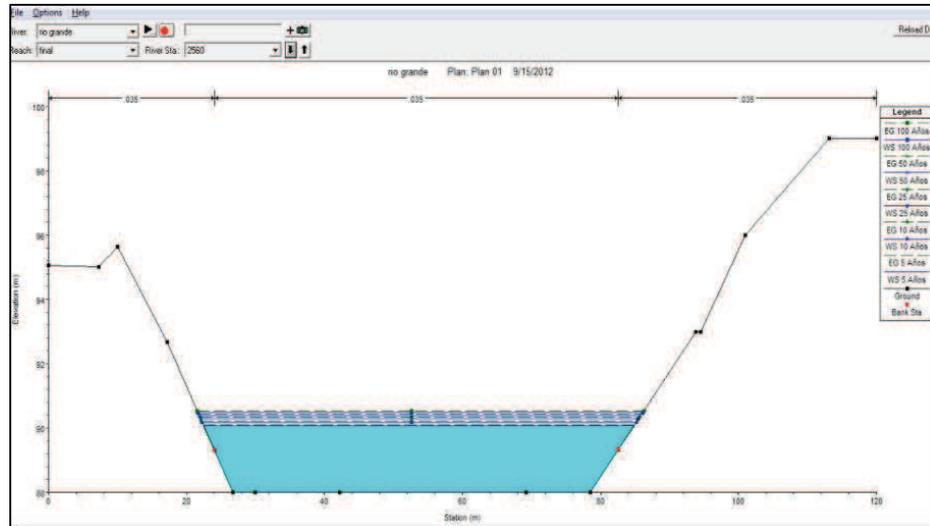
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



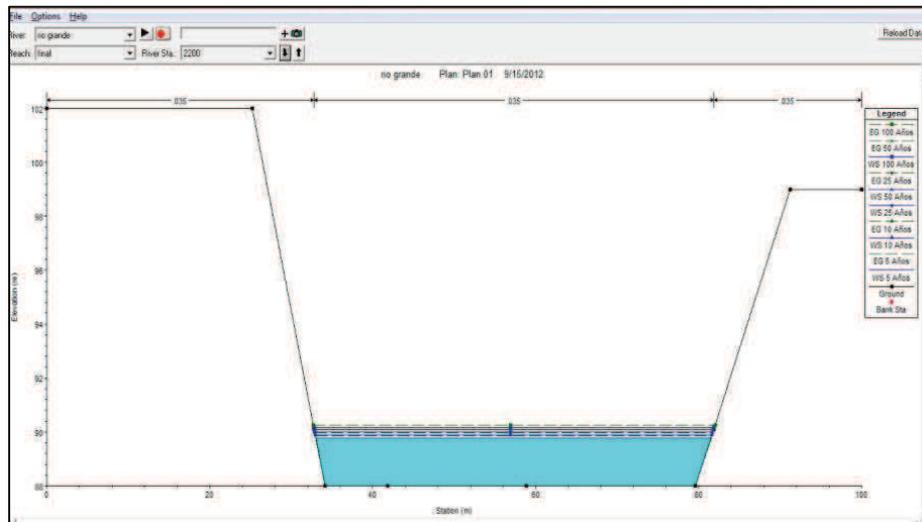
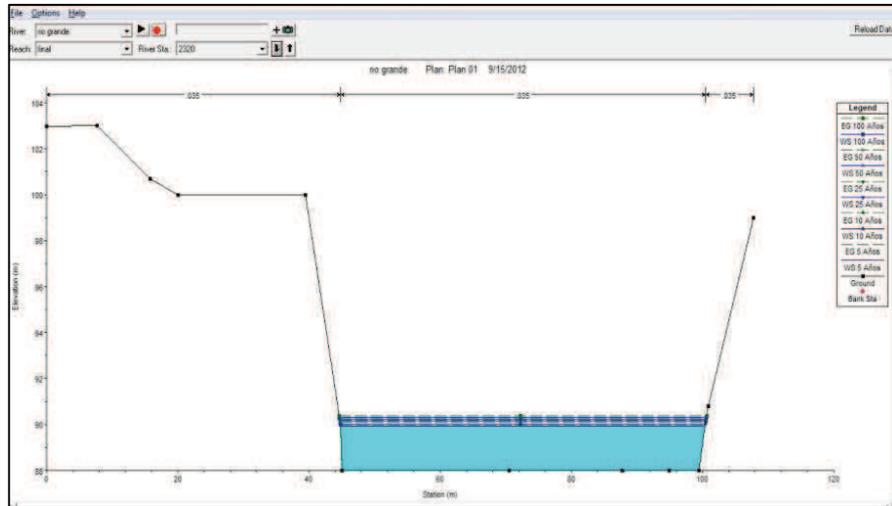
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



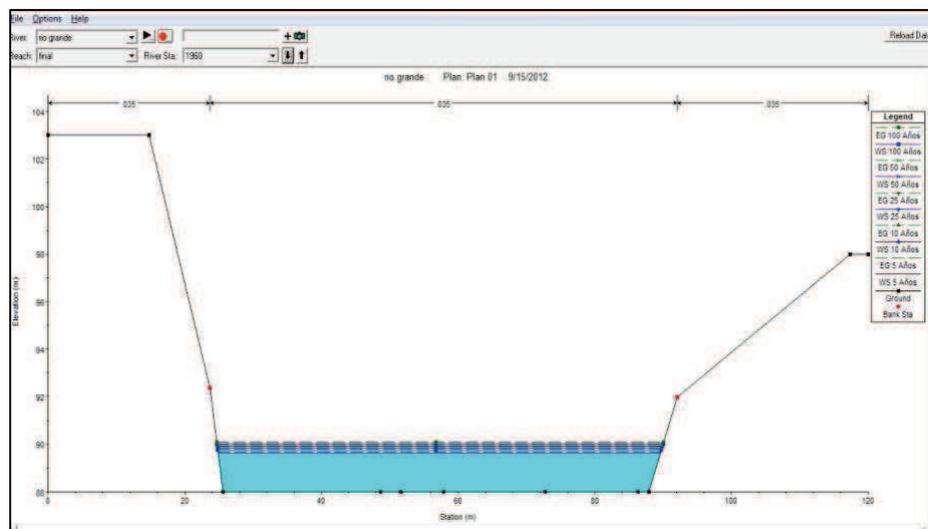
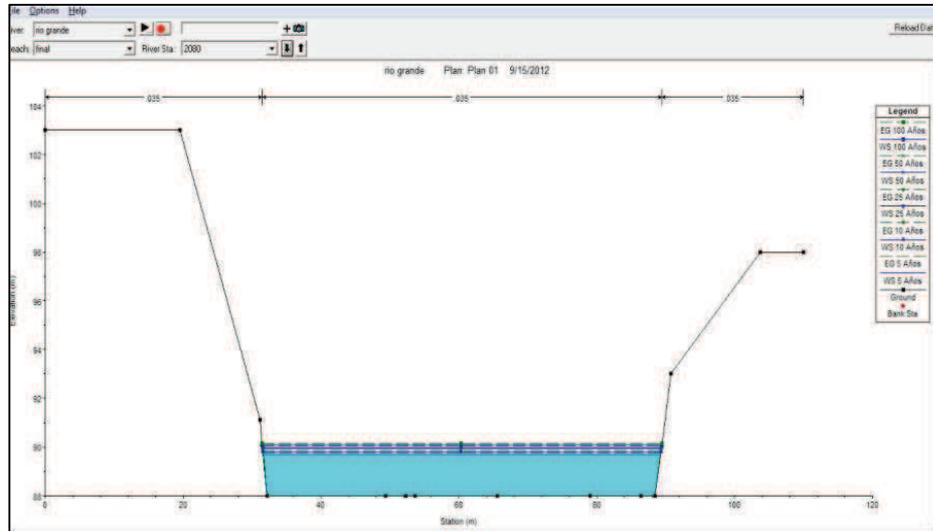
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



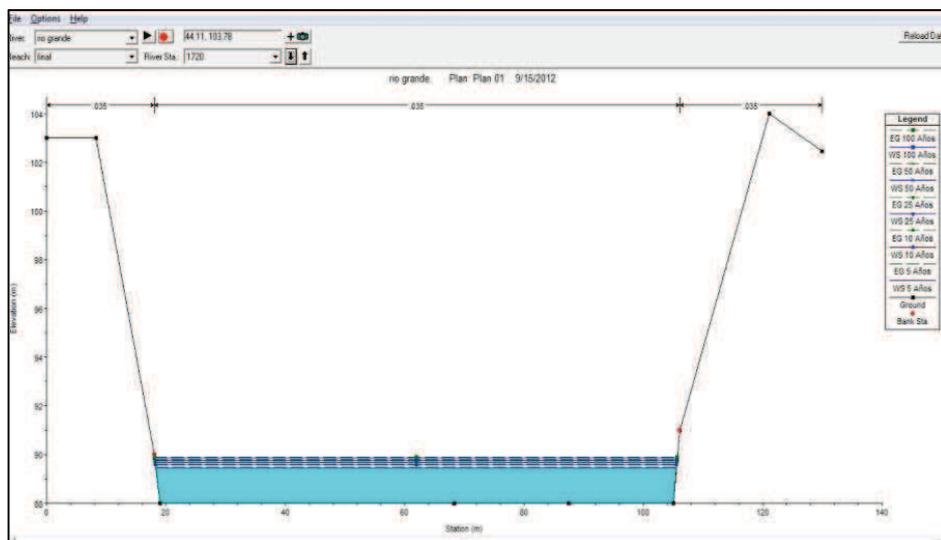
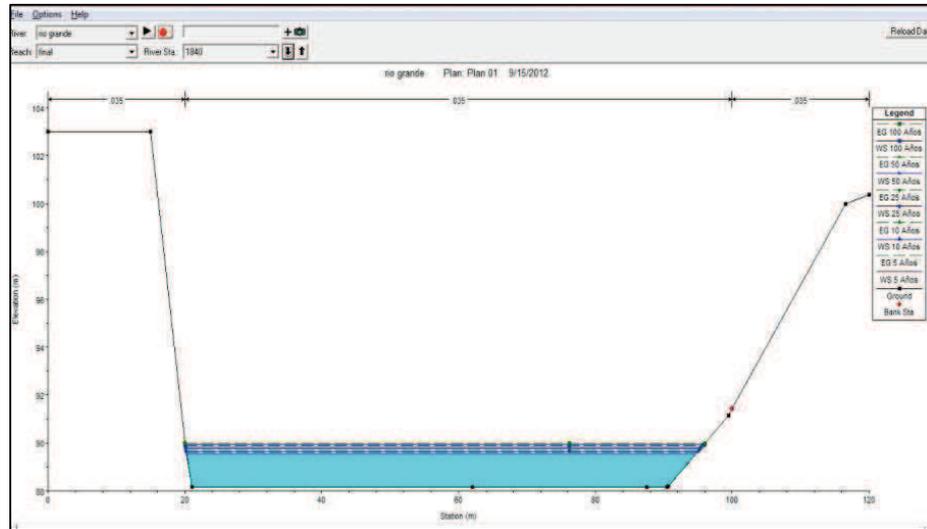
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



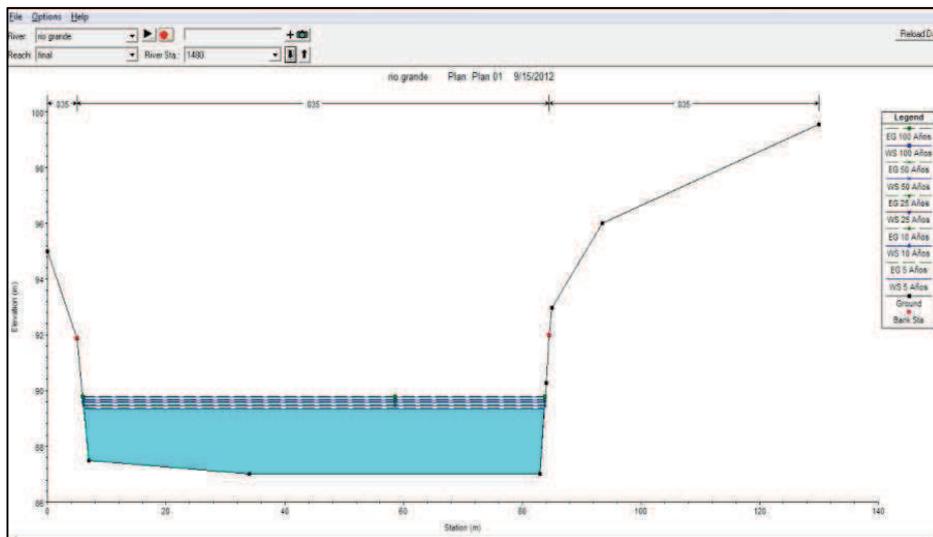
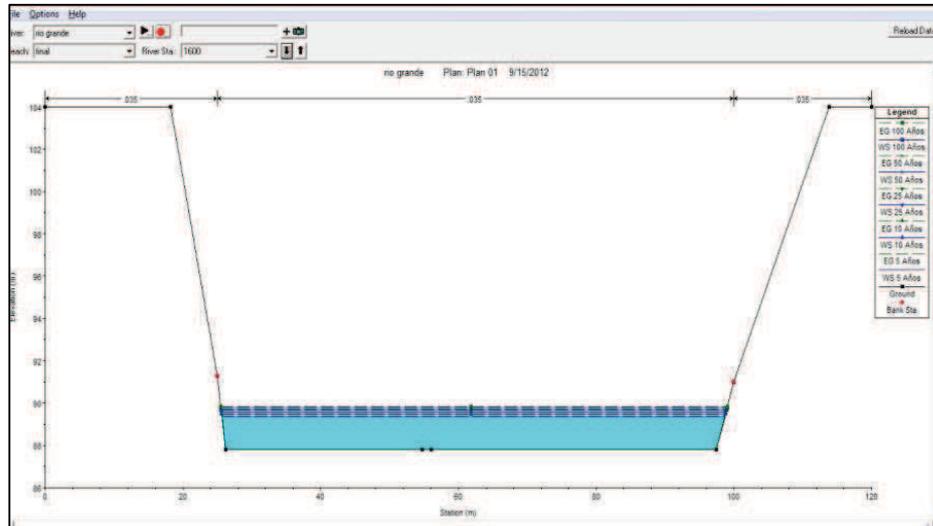
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



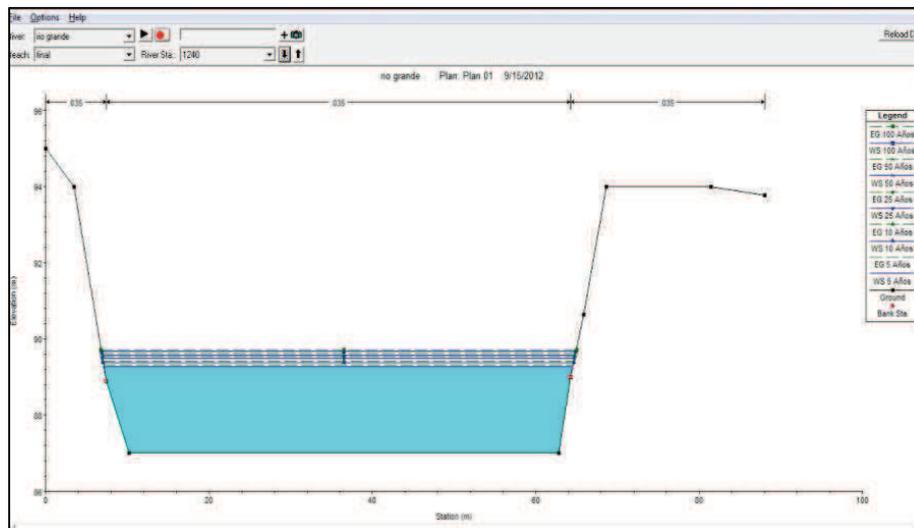
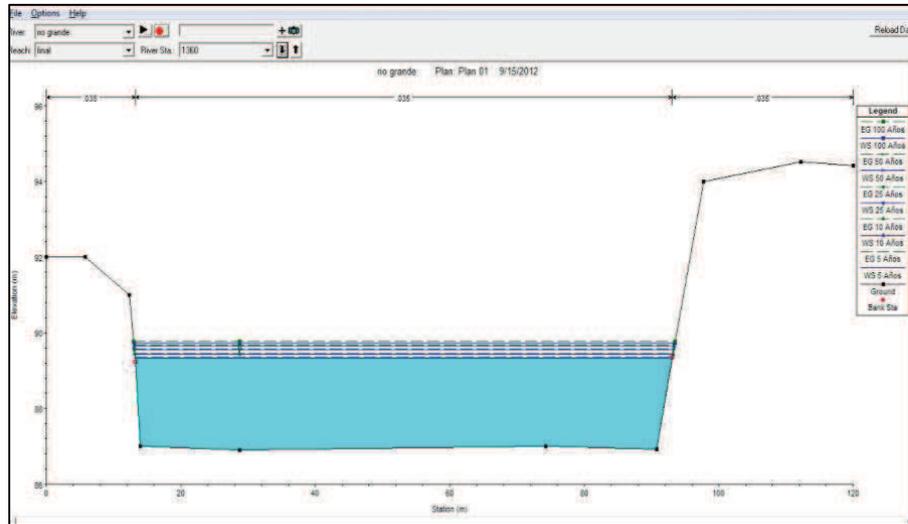
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



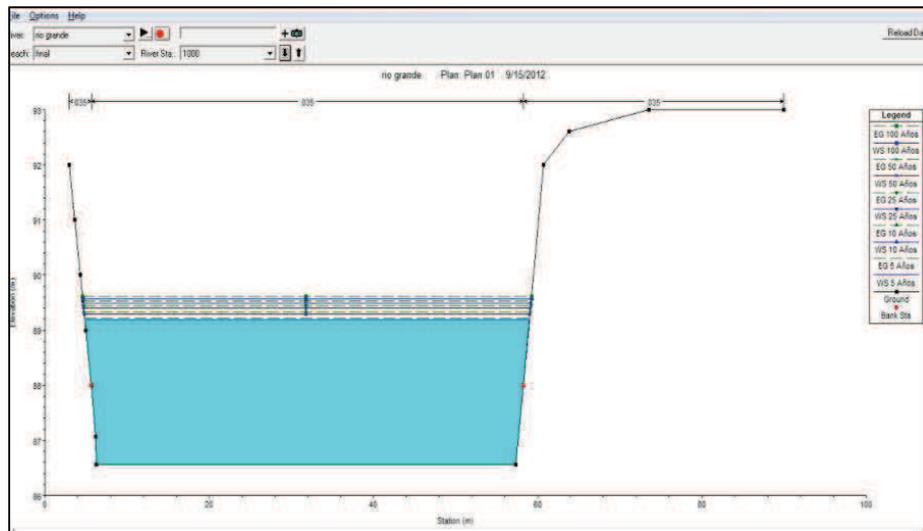
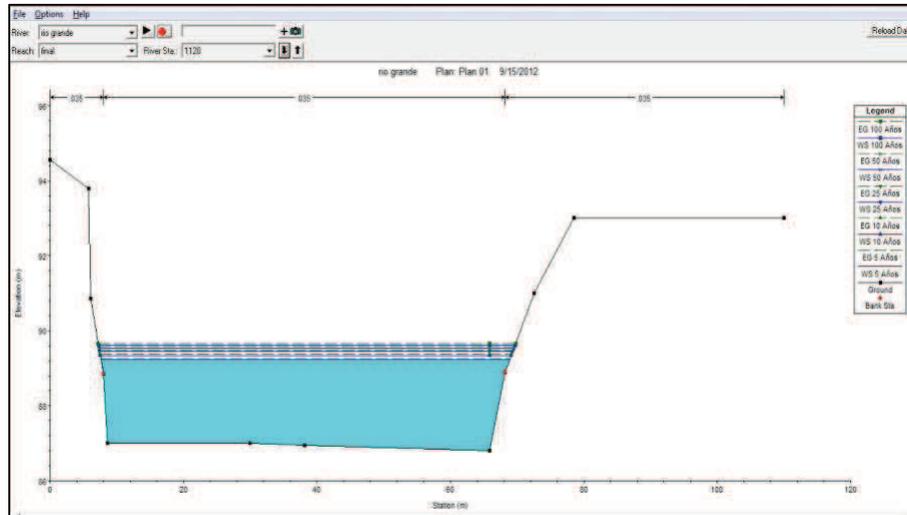
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



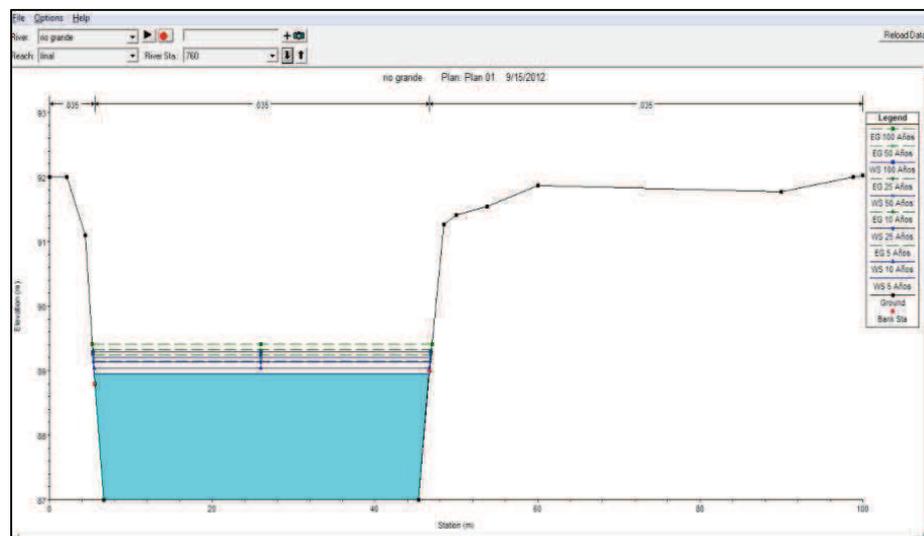
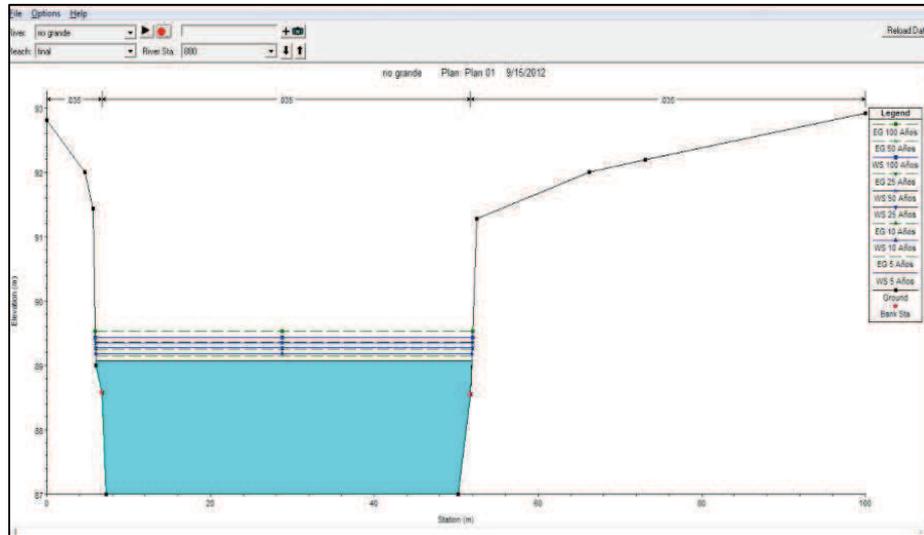
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



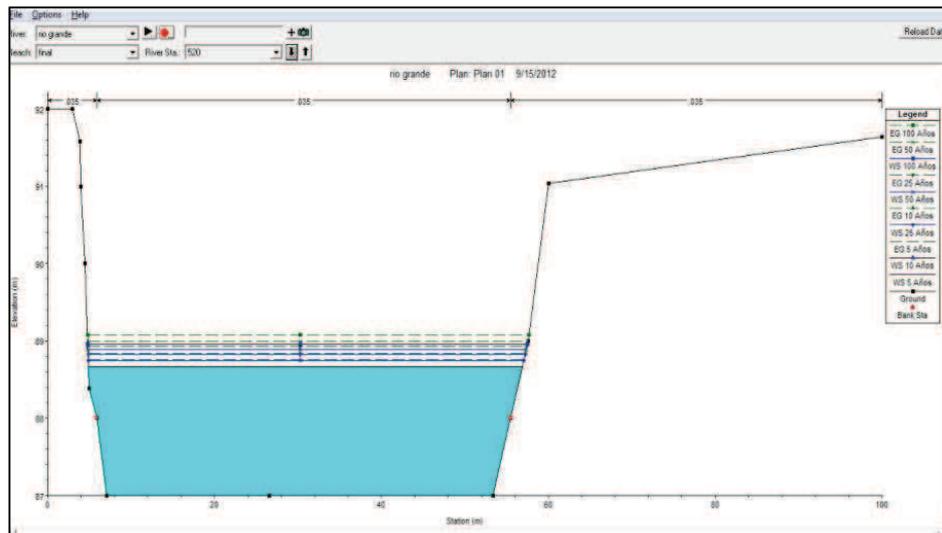
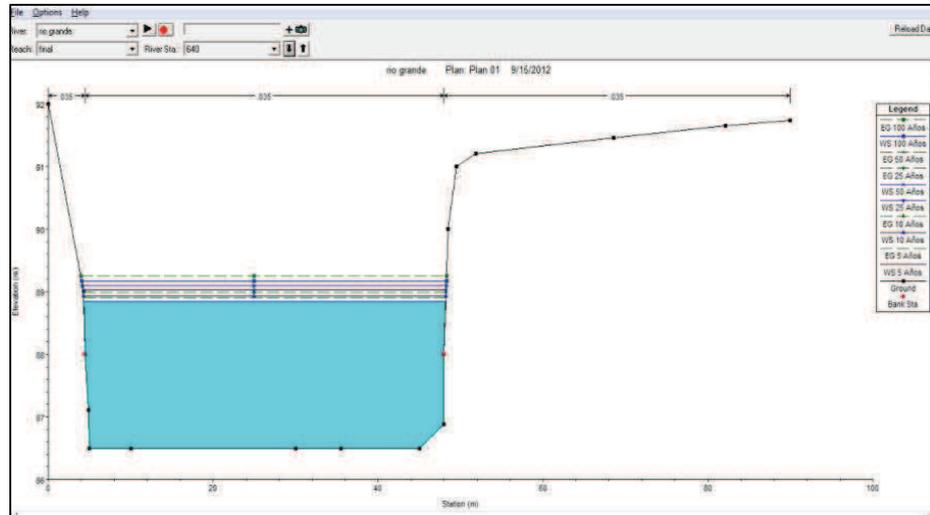
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



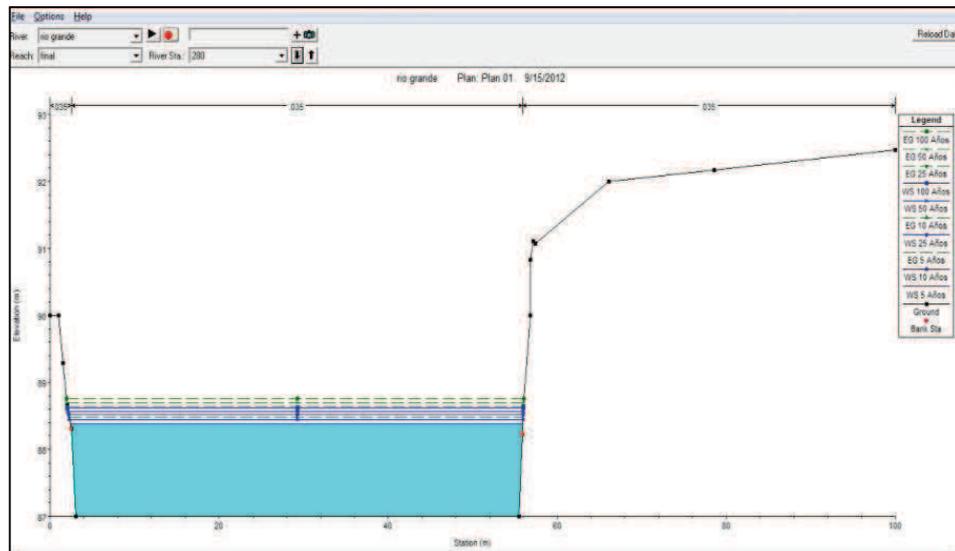
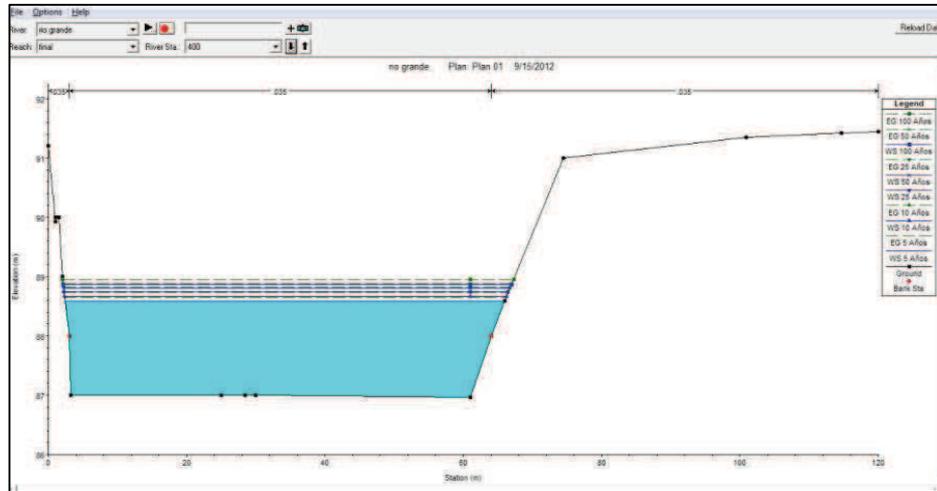
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



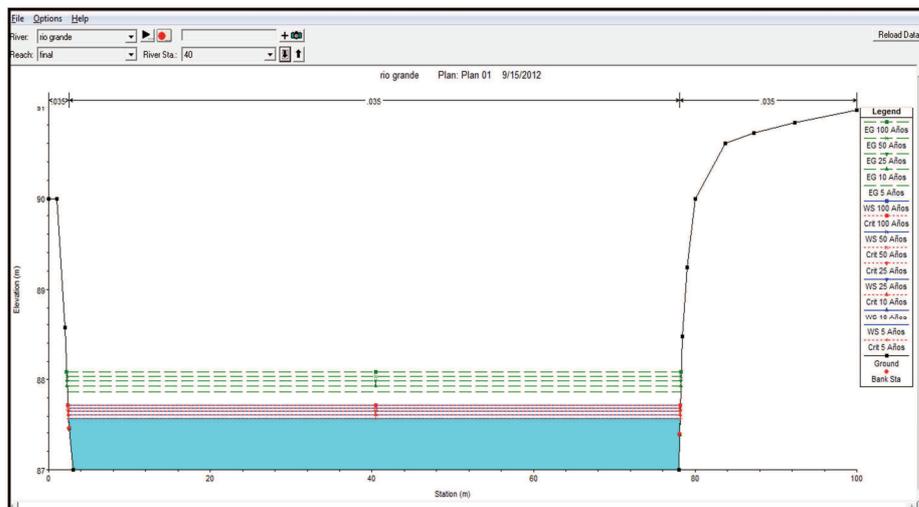
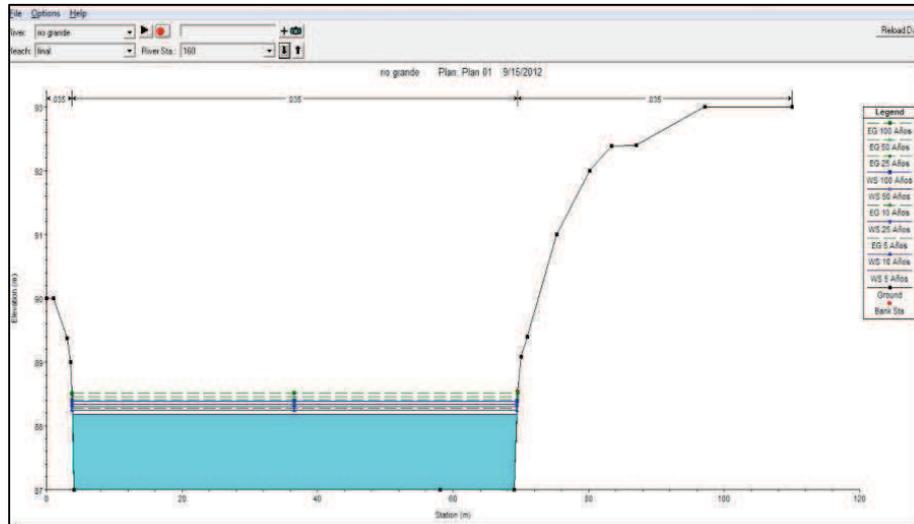
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



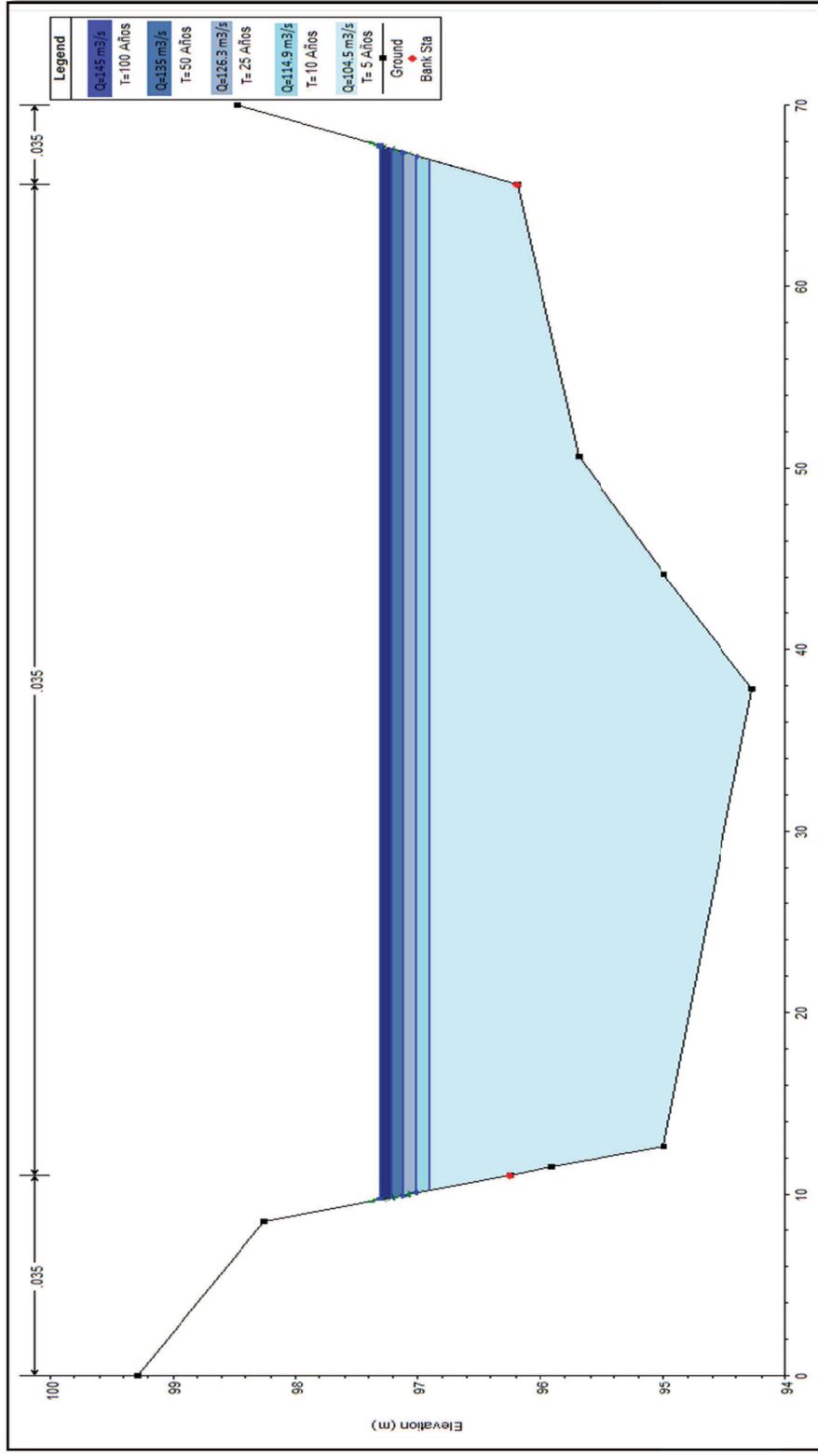
Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso



Evaluación Hidráulica para la Propuesta de Obras de Limpieza en un Tramo del Río Grande de San Miguel, 2,351m Aguas Arriba y 5,606m Aguas Abajo del Puente Don Luis de Moscoso

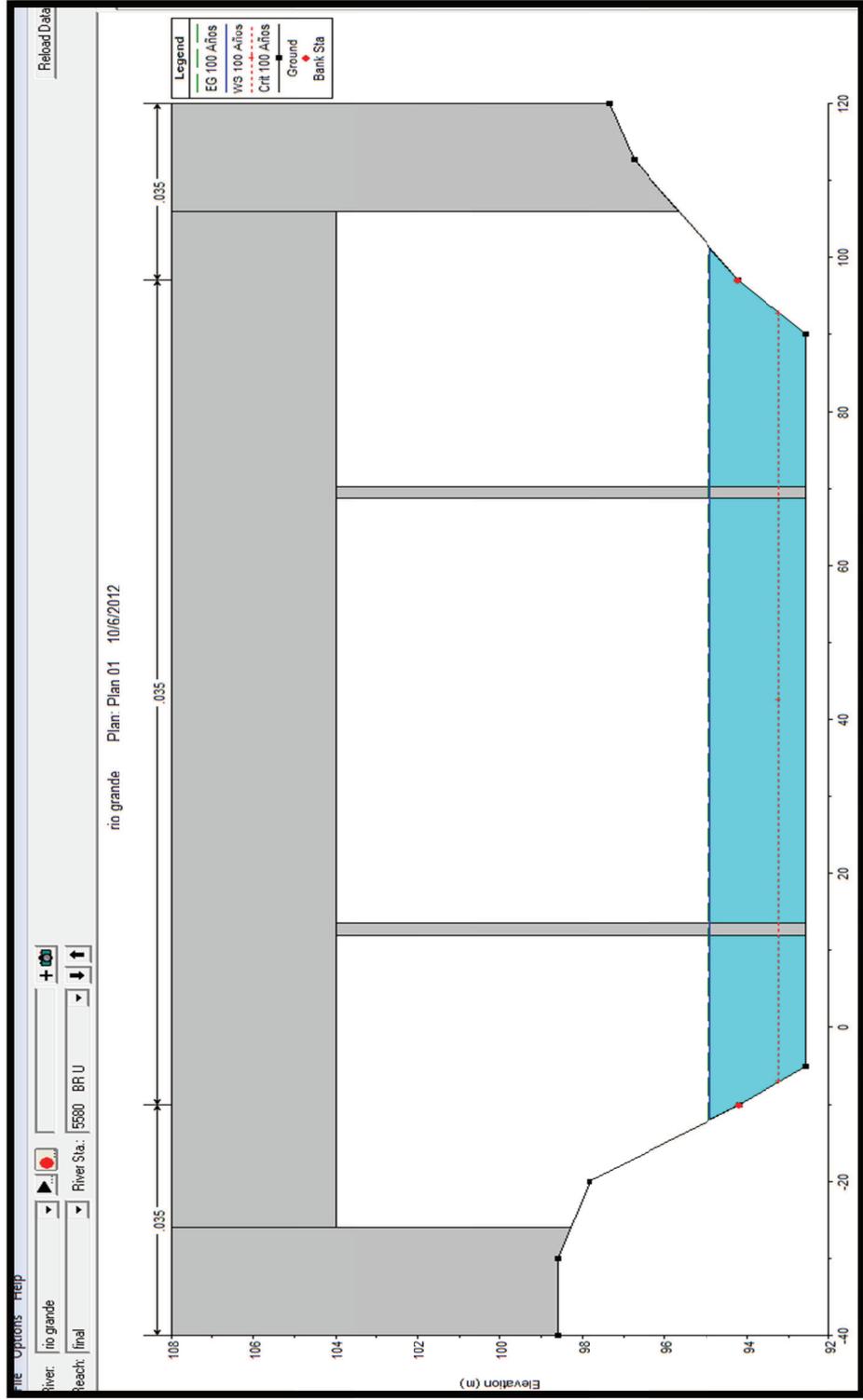


ANEXO 4: PERFIL DEMOSTRATIVO CON LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO



Niveles de caudales en los diferentes periodos de retornos

ANEXO 5 NIVEL MAXIMO DE CAUDAL EN PUENTE DON LUIS DE MOSCOSO



ANEXO 6 CARCAVA CERCANA A CALLE LITORAL

