

IMPACTOS DE CAMBIOS DE USO DE SUELO EN LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL ARENAL MONTSERRAT EN LA CIUDAD DE SAN SALVADOR EN EL PERIODO 1992-2009 – EL SALVADOR

MSc. Adriana María Erazo Ch. - Investigadora Hidróloga

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN / Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET – El Salvador

aerazo@marn.gob.sv, adrierazo@gmail.com

Marzo 2010

Resumen:

Se presenta un análisis de los impactos en la escorrentía superficial debido a cambios de uso de suelo desde 1992 hasta el 2009 en la cuenca del Arenal Montserrat hasta el sitio de ubicación del Mercado Belloso, la cual abarca la ciudad de San Salvador, capital de El Salvador, Centro América. Debido a la presión social y especialmente económica, la parte alta de la cuenca, se ve continuamente afectada por cambios de uso de suelo, modificando desde el año 1992 al 2009, un 19 % de una cobertura boscosa y cafetalera, a zonas impermeabilizadas en centros comerciales y nuevas zonas residenciales hasta el sitio denominado en el estudio “Desvió a Antiguo Cuscatlán”; Para el área total de análisis ese cambio ha sido de 5.52 Km², correspondientes al 10.32% del área. Esta modificación en el cambio de uso de suelo, unido a la no existencia hasta el momento de un Plan de Ordenamiento Territorial, la no exigencia de un Impacto de Hidrológico Nulo en Proyectos de Urbanizaciones, Construcciones y Lotificaciones, y a la construcción de obras de drenaje que aceleran la velocidad del cauce, ha inducido a que se generen nuevas zonas de inundación en la parte media y baja de la cuenca altamente poblada y han aumentado la escorrentía superficial hasta un 70% en el caudal punta, al mismo tiempo que se ha reducido el tiempo de llegada de la creciente hasta un 40 %. Igualmente el nivel y la velocidad del agua en diferentes tramos del cauce, ha presentado un aumento promedio de 20 % y 15% respectivamente. El análisis se realizó a través de modelación hidrológica con el modelo hidrometeorológico HEC- HMS y con modelación hidráulica a través de HEC – RAS en seis puntos ubicados a lo largo del cauce, teniendo como sitio de calibración la estación telemétrica existente en el mercado Belloso. La modelación se llevó a cabo para tres eventos específicos: el primero para una tormenta con un periodo de retorno de 1 año; el segundo, un evento ocurrido el 3 de Julio de 2008, el cual produjo desbordamiento en una zona en la cual no era frecuente que sucediera y el cual cobró la vida de 32 personas; y el últimos evento, fue el presentado el 7 de Noviembre de 2009 (combinación de huracán IDA en el Atlántico con baja presión en El Pacífico), en el cual una intensidad de lluvia con un periodo de retorno de 300 años para una duración de 3 horas, inundó varias zonas de la ciudad de San Salvador. Paralelamente al análisis, se ha realizado una inspección de campo en los cauces, actualizando en un mapa las zonas susceptibles a inundación, las cuales han sido clasificadas de baja, media y alta susceptibilidad, y se ha conformado la red de actores locales como parte de un sistema de alerta temprana en la cuenca.

1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La Ciudad de San Salvador, capital de El Salvador, se encuentra ubicada en las faldas del Volcán de San Salvador, en coordenadas 13°41'24.00''N y 89°11'24.01''O.

Su red hidrográfica es una combinación de una red radial de los ríos y quebradas que bajan del volcán en el sentido noroeste – este y de una red dendrítica, que recorre a ciudad en el sentido suroeste a noreste, con cinco cauces principales, los cuales confluyen aguas abajo en el rio Acelhuate: Quebrada Montserrat, Quebrada La Mascota, Quebrada El Garrobo, Arenal Tutunichapa y Arenal Mejicanos. La Figura 1 presenta una imagen de la ciudad, tomada de Google Earth, con algunos sitios de referencia espacial, junto con la red hidrográfica.

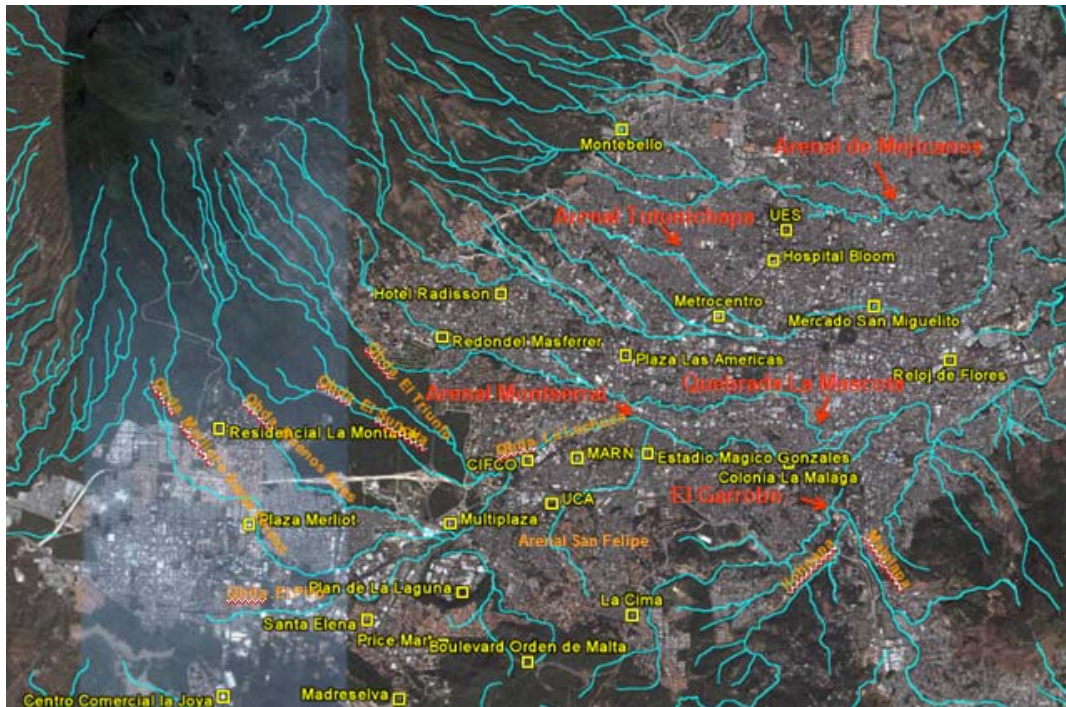


FIGURA 1. RED HIDROGRAFICA DE LA CIUDAD DE SAN SALVADOR.

El área de estudio cubre la cuenca del Arenal Montserrat, hasta el sitio de ubicación del Mercado Belloso, sitio en el cual se encuentra una estación telemétrica hidrométrica del mismo nombre, la cual ha sido utilizada para calibración hidrológica (Área de análisis 53.47 Km²). Dentro del área de análisis se encuentran tres municipios: San Salvador, Santa Tecla y Antiguo Cuscatlán. La Figura 2 presenta la delimitación de la cuenca de estudio, junto con la división municipal.

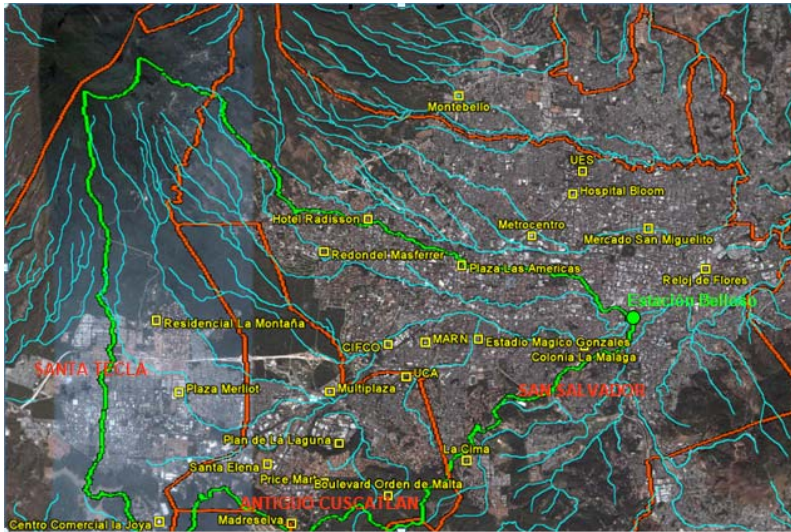


FIGURA 2. DELIMITACION DE LA CUENCA DE ESTUDIO Y DIVISION MUNICIPAL.

La población de los tres municipios ha ido cambiando a través del tiempo, evidenciando un incremento de la misma en los municipios de Santa Tecla y Antigua Cuscatlán aproximadamente del 325% y 435% respectivamente entre los años 1950 y 2007, de acuerdo a información de Censos Nacionales de la DIGESTYC (Dirección General de Estadísticas y Censos); sin embargo en el municipio de San Salvador, el comportamiento ha sido diferente, con incremento desde 1950 a 1992 de 150% y decrecimiento desde ese año al 2007 de 24%, tal como se puede observar en la Figura 3. De acuerdo a esta información pareciera que el cambio de uso de suelo en el área de análisis no solo estaría vinculado a un incremento poblacional en los municipios de Santa Tecla y Antigua Cuscatlán, sino que también se puede deber a un desplazamiento territorial de la población del municipio de San Salvador, esto aunado al crecimiento económico de la zona, evidenciado en construcción de Centros Comerciales en los últimos años y zonas residenciales. Sin embargo esta hipótesis debe ser analizada desde un ámbito integral involucrando disciplinas sociales y económicas, las cuales salen de la competencia del presente estudio, el cual se enfoca en la respuesta hidrológica de la cuenca de acuerdo a los cambios de uso del suelo.

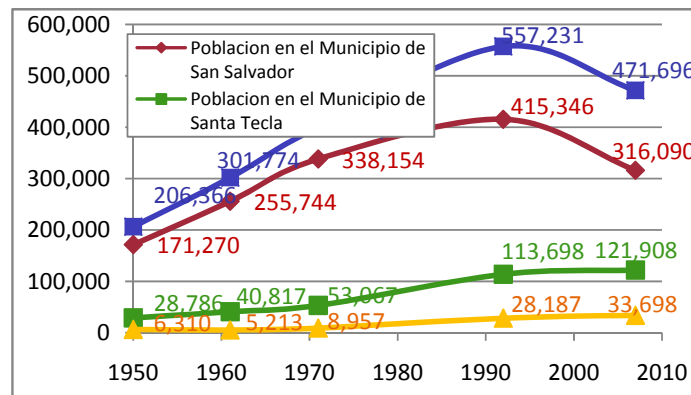


FIGURA 3. INFORMACION POBLACIONAL DE LOS MUNICIPIOS DE SAN SALVADOR, SANTA TECLA Y ANTIGUO CUSCATLAN. Fuente DIGESTYC.

El mapa pedológico de la cuenca, es decir el mapa que indica los tipos de suelo existentes en la misma, indica que en la cuenca del Arenal Montserrat existen suelos Litosoles y Andisoles como puede observarse en la Figura 4.

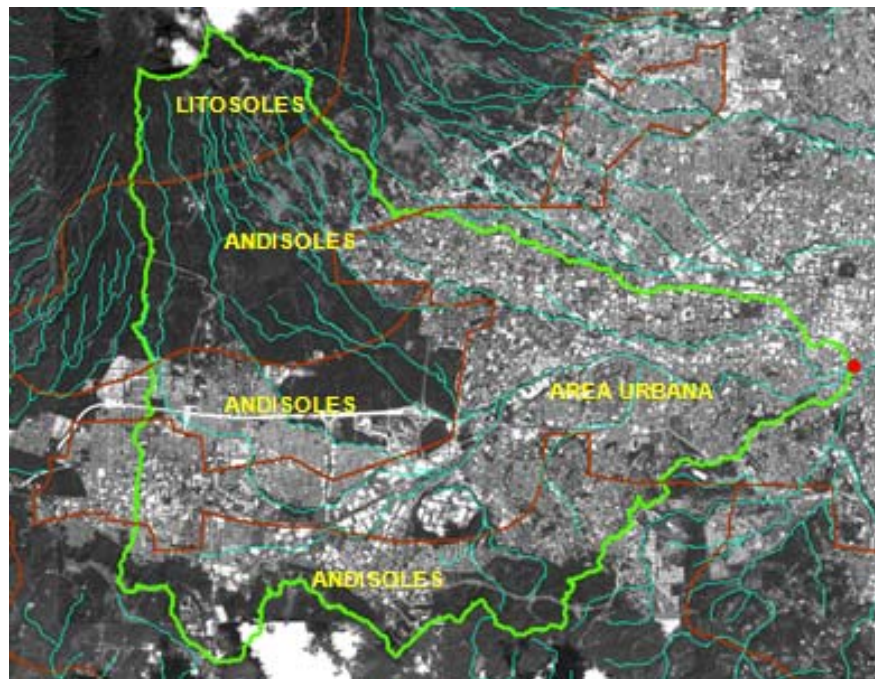


FIGURA 4. MAPA PEDOLOGICO EN EL AREA DE ANALISIS

Los Litosoles de acuerdo a descripción dada en el Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial (PNODT 2002) son suelos muy superficiales, pedregosos y de poco o ningún desarrollo sobre roca dura. Están constituidas por gravas, piedras y materiales rocosos de diferentes tamaños. Los Andisoles de acuerdo a descripción en el mismo documento, son suelos jóvenes derivados de materiales volcánicos. Debido a la presencia de altos contenidos de compuestos organominerales estables, especialmente en el horizonte superficial, los Andisoles resultan ser suelos muy bien estructurados que propician el buen drenaje, pero a su vez, presentan una buena retención de humedad; son suelos con permeabilidad y porosidad muy elevada.

El mapa agrológico el cual indica la capacidad de uso del suelo (Uso Potencial), y que se muestra en la Figura 5, indica que en la cuenca, la capacidad de uso es de las clases II, III, IV, VI y VII, cuya descripción se da a continuación, de acuerdo a información tomada del PNODT:

CLASE II: tierras muy productivas pero que requieren prácticas cuidadosas de manejo, así como de conservación de suelos o de drenaje.

CLASE III: tierras productivas que requieren prácticas agronómicas para el mantenimiento de su capacidad productiva.

CLASE IV: tierras productivas pero de difícil manejo que requieren de trabajo de conservación de suelos, mantenimiento, mejoramiento de drenaje, selección cuidadosa de cultivos.

CLASE VI: tierras que presentan limitación severa que las hacen inadecuadas para el cultivo intensivo, pero que permiten uso agrícola con cultivos permanentes como cafetales, frutales, bosques.

CLASE VII: tierras que deben dedicarse al mantenimiento de una cobertura vegetal permanente

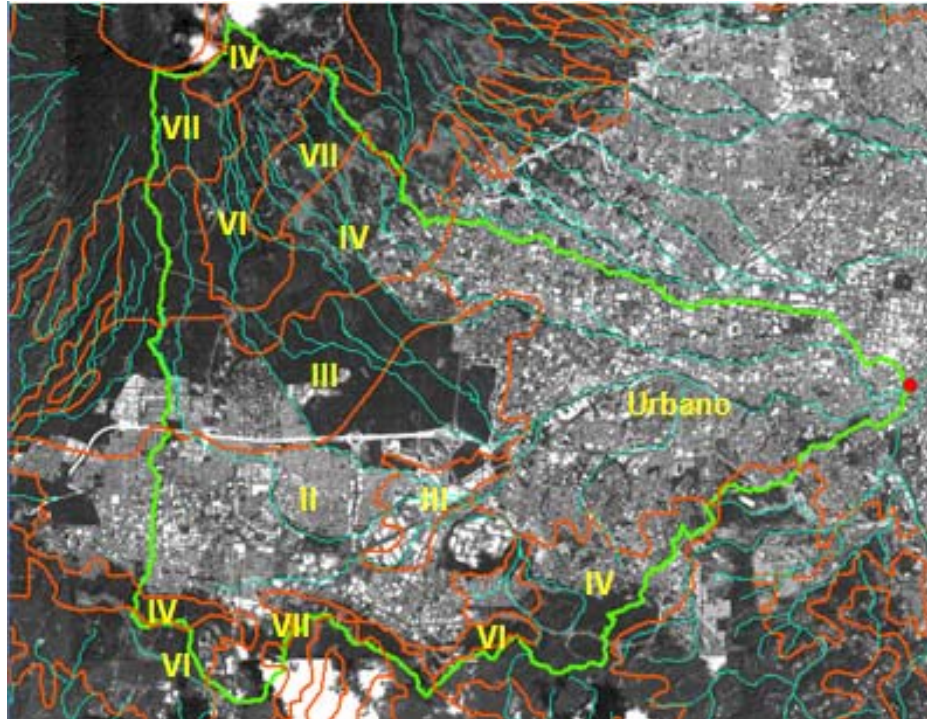


FIGURA 5. MAPA AGROLOGICO EN EL AREA DE ANALISIS.

2. CAMBIOS DE USO DE SUELO DEL AREA DE ESTUDIO EN EL ARENAL MONTSERRAT EN EL PERIODO 1992 A 2009

En el área de estudio en la cuenca del Arenal Montserrat se ha ido modificando el uso de suelo, cambiando áreas de cobertura boscosa y cafetalera a tejido urbano, en el periodo 1992 a 2009, lo cual se evidencia en las imágenes de satélite que se presentan en las Figuras 6, 7, 8 y 9 para los años 1992, 1998, 2001 y 2009 respectivamente. En cada una de las imágenes se ha resaltado el cambio que ha ido sufriendo la cuenca (en rojo los cambios a 1998, en amarillo cambios a 2001, en aguamarina cambios a 2009), y se ha colocado el nombre de la Colonia, Residencial, Construcción u Obra por la cual se ha ido cambiando el uso del suelo. El año base de comparación es 1992, presentado en la Figura 6.

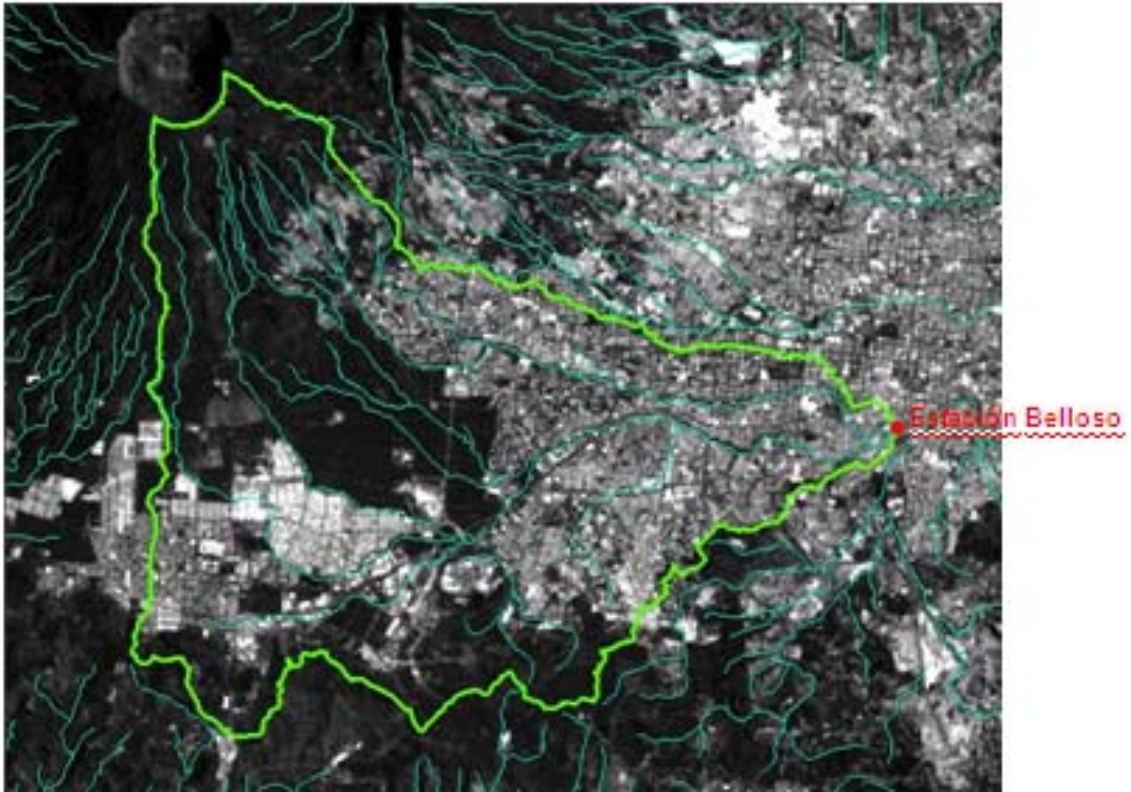


FIGURA 6. IMAGEN DE SATELITE DEL AÑO 1992 EN EL AREA DE ANALISIS

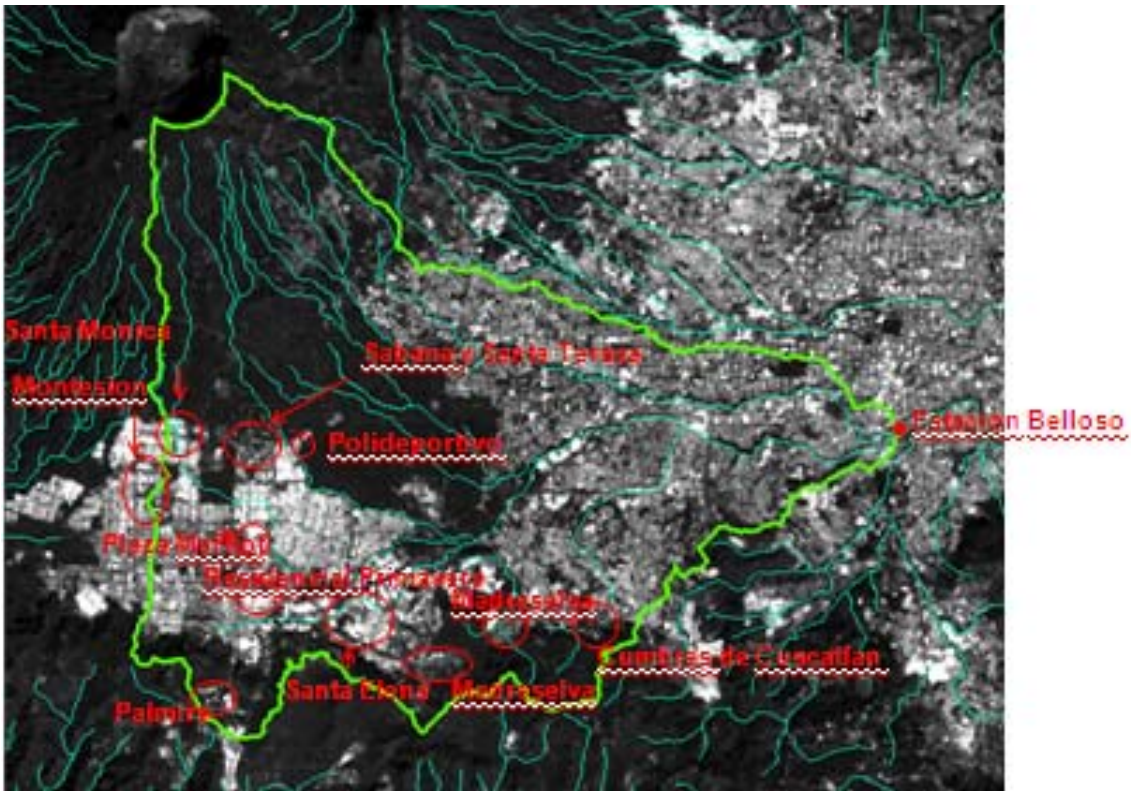


FIGURA 7. IMAGEN DE SATELITE DEL AÑO 1998 EN EL AREA DE ANALISIS

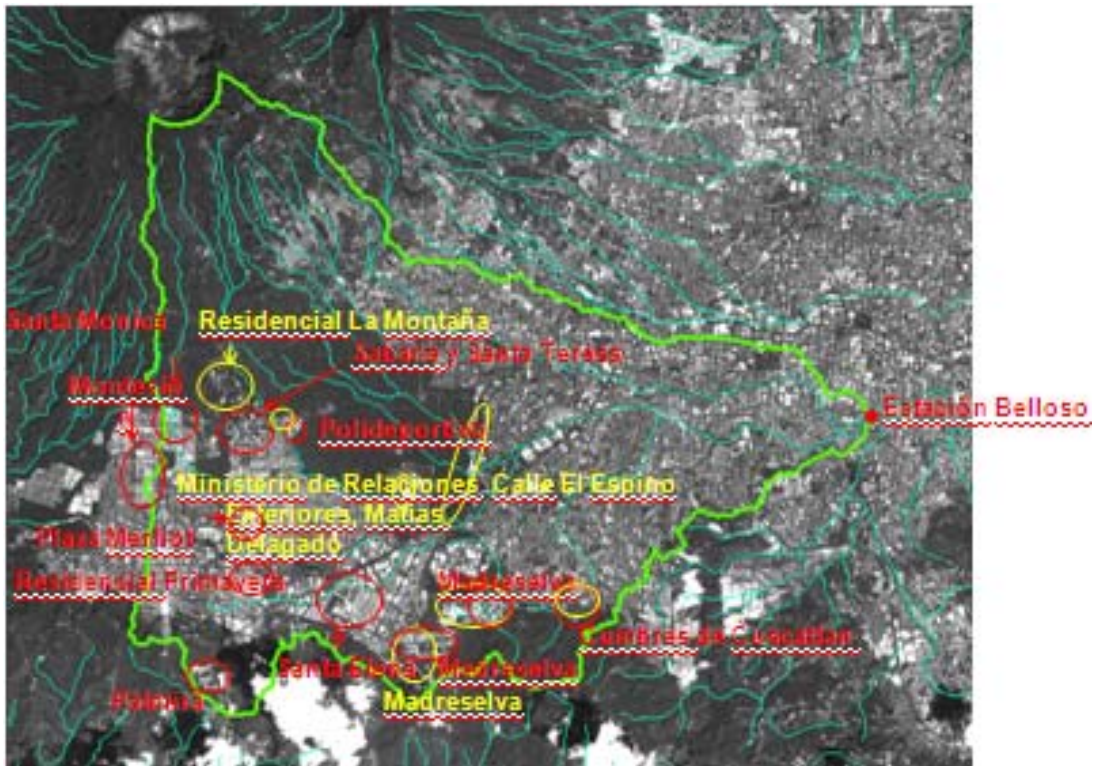


FIGURA 8. IMAGEN DE SATELITE DEL AÑO 2001 EN EL AREA DE ANALISIS

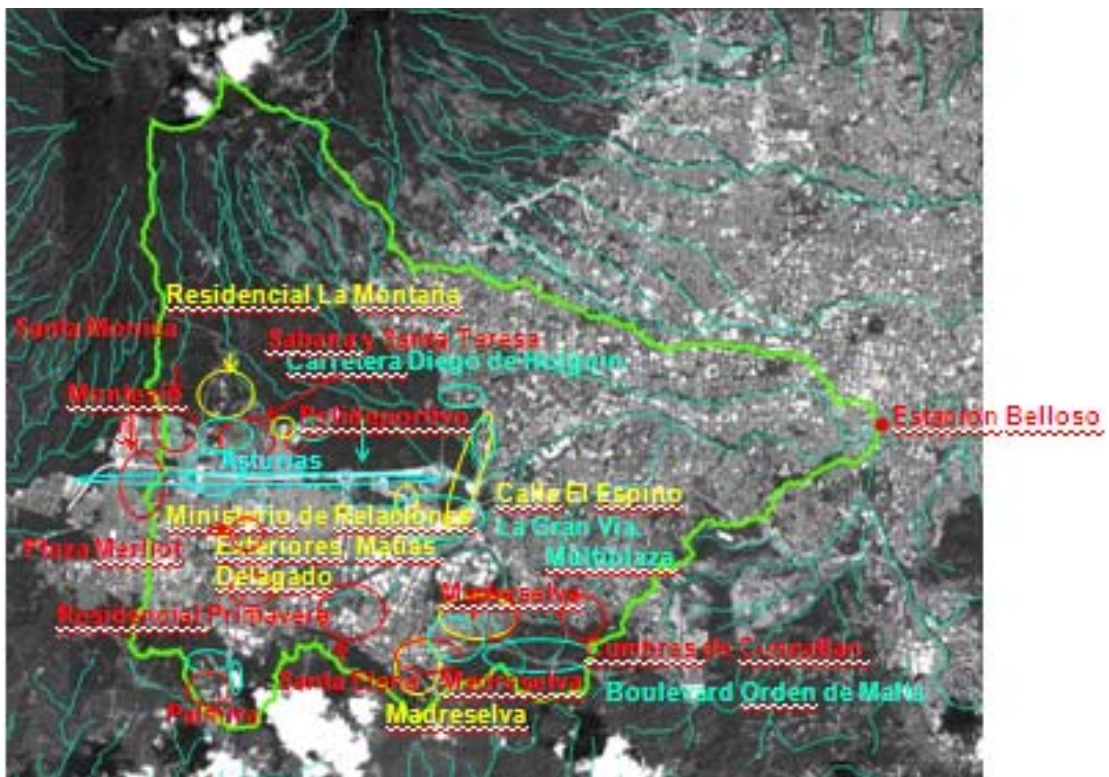


FIGURA 9. IMAGEN DE SATELITE DEL AÑO 2009 EN EL AREA DE ANALISIS

Como se puede observar en las imágenes de satélite, los cambios se han dado principalmente en la parte alta y media de la cuenca, específicamente en los municipios de Santa Tecla y Antigua Cuscatlán, en donde en los últimos años ha habido un incremento de obras de construcción tanto habitacionales como comerciales.

Para el análisis de la incidencia de los cambios de uso de suelo en los cambios de la escorrentía, la cuenca ha sido dividida en subcuencas hasta diferentes sitios de interés, lo cual también permite observar en forma más detallada los cambios que se han producido, y que se presentan en las figuras 10, 11, 12 y 13 en los cuatro sectores de mayor cambio: 1) “Hasta el desvío a Antigua Cuscatlán”, 2) “Hasta aguas abajo de Multiplaza”, 3) “Hasta Puente Avenida Revolución”, 4) “Hasta la Colonia Málaga”.

Es importante resaltar como en la subcuenca “Hasta Puente La Avenida Revolución”, la mayor parte del área corresponde a zonas boscosas y cafetaleras, contrario a lo que sucede en los otros puntos de cierre de las subcuencas. Sin embargo en esa misma Subcuenca, se ve que para el año 2009, ya se están igualando los porcentajes de zonas boscosas y cafetaleras con los de zonas de Tejido Urbano. Una situación semejante se dio para el punto de cierre “Aguas abajo de Multiplaza” donde para 1992 el porcentaje de área de zonas boscosas y cafetaleras era mayor que el de Tejido Urbano y para el año 2001 la situación cambió.

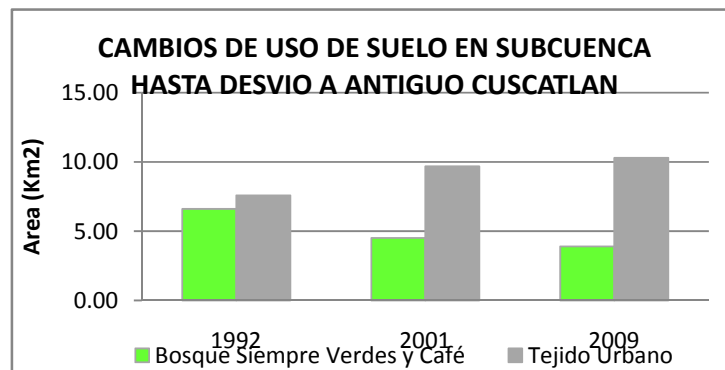


FIGURA 10. CAMBIOS DE USO DE SUELO EN SUBCUENCA “HASTA EL DESVIO A ANTIGUO CUSCATLAN”. Area de la Subcuenca hasta este punto de análisis 14.2 Km²

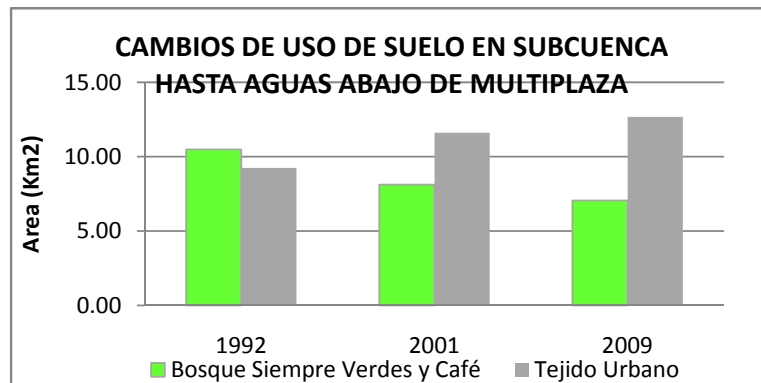


FIGURA 11. CAMBIOS DE USO DE SUELO EN SUBCUENCA “HASTA AGUAS ABAJO DE MULTIPLAZA”. Area de la Subcuenca hasta este punto de análisis 19.73 Km²

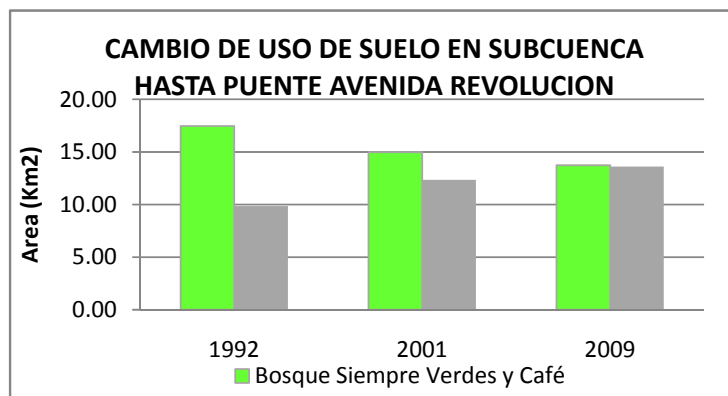


FIGURA 12. CAMBIOS DE USO DE SUELO EN SUBCUENCA "HASTA PUENTE AVENIDA REVOLUCION". Area de la Subcuenca hasta este punto de análisis 27.33 Km²

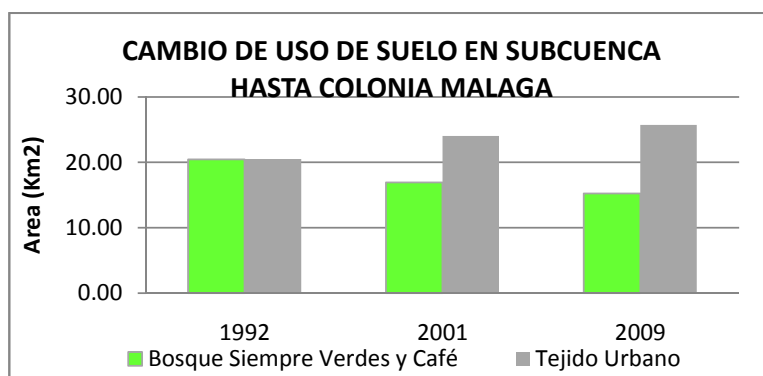


FIGURA 13. CAMBIOS DE USO DE SUELO EN SUBCUENCA "HASTA LA COLONIA MALAGA". Area de la Subcuenca hasta este punto de análisis 40.95 Km²

Estos cambios en el uso del suelo, repercuten en la respuesta hídrica de la cuenca, y se reflejan en Índices hidrológicos que influyen en la escorrentía (Número de Curva CN e Índice de Abstracción de la lluvia Ia). El Numero de Curva (o Curva Numero CN), es un parámetro que depende del tipo de suelo, la pendiente del terreno y la cobertura que presente el mismo; su valor teórico va de 0 a 100, siendo 100 el valor asignado a coberturas que presentan un 100% de escorrentía, lo que podría ser techos y pavimentos. El Índice de Abstracción, es la cantidad de lluvia que puede absorber el suelo antes de comenzar la escorrentía, igualmente depende de los mismos factores que el CN, pero es inverso al comportamiento del CN, es decir entre más alto sea el CN, significa que el suelo escurre mas, y por lo tanto el Índice de Abstracción ha sido menor.

De acuerdo a los cambios que se han producido en el área de análisis, se calcularon los parámetros de Numero de Curva e Índice de Abstracción, que se presentan en las gráficas a continuación. Como se puede observar, los cuatro sitios graficados presentan incremento de CN y disminución en el Índice de Abstracción, siendo mas alto el incremento de CN en la subcuenca con punto de cierre en el Desvío a Antiguo Cuscatlán, con una diferencia de 12 puntos entre 1992 a 2009 y con Índice de Abstracción con disminución de 13 mm; este último valor de 13 mm quiere decir que esos 13 mm de lluvia que en 1992 se infiltraban antes de

comenzar el escurrimiento, para el 2009 ya no se absorben por el suelo y por el contrario escurren directamente. De las subcuencas que se presentan en la Figura 15, la que presenta mayor disminución en el Índice de Abstracción es la de punto de cierre sobre el Puente de la Avenida Revolución, con una diferencia de 15 milímetros, la cual presenta mayor cobertura boscosa y por lo tanto la que mayor incidencia ha tenido en estos parámetros con los cambios de uso de suelo.

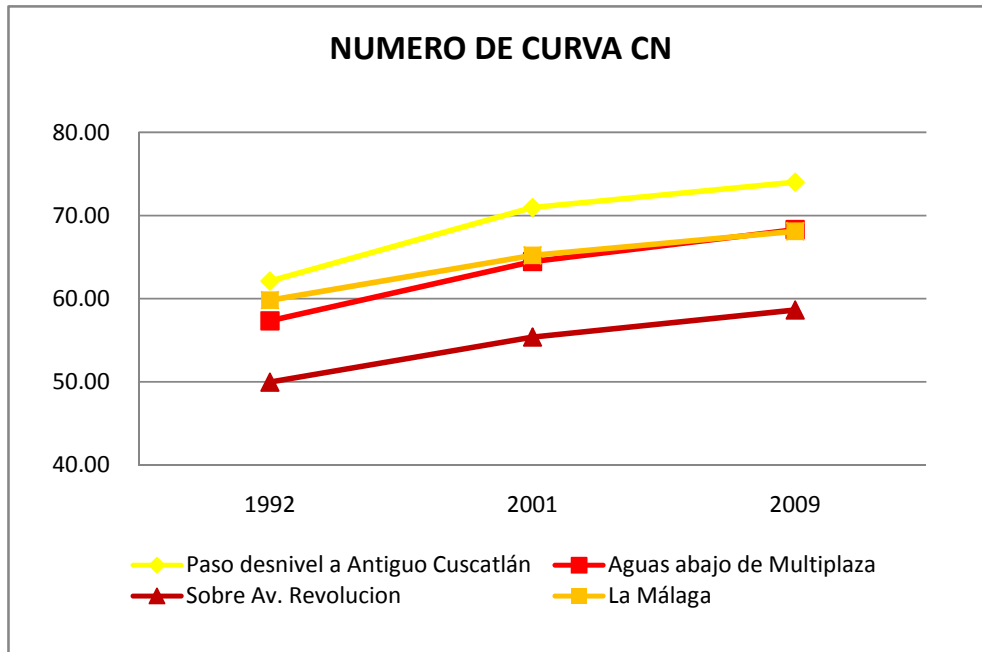


FIGURA 14. CAMBIOS EN NUMERO DE CURVA (CN) CON CAMBIOS DE USO DE SUELO EN CUENCA ARENAL MONTSERRAT

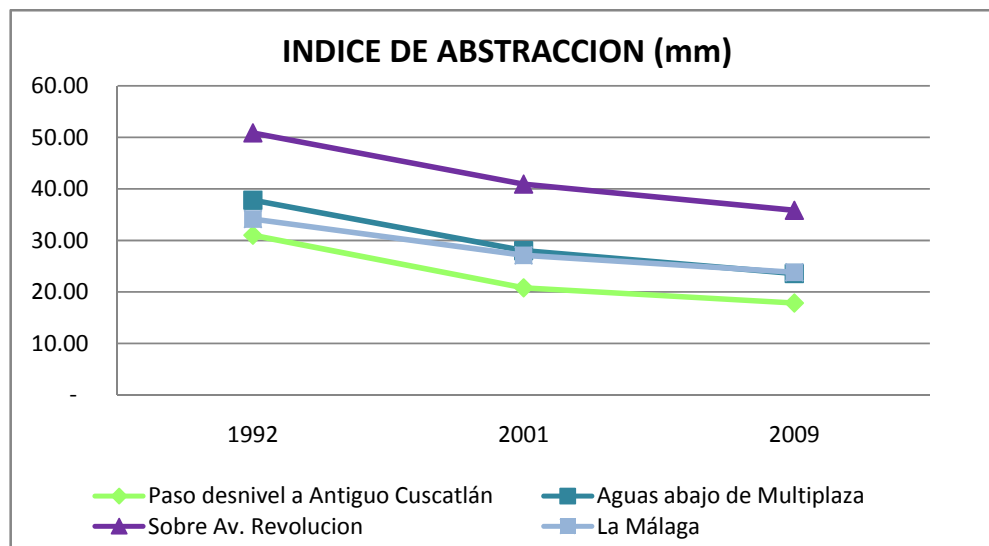


FIGURA 15. CAMBIOS EN INDICE DE ABSTRACCION CON CAMBIOS DE USO DE SUELO EN ARENAL MONTSERRAT(milímetros)

3. MODELACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA

La modelación Hidrológica se llevó a cabo a través del modelo hidrometeorológico HEC-HMS del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, con metodologías el Soil Conservation Service. El modelo calcula el hidrograma en diferentes puntos de la cuenca con base a los datos físicos de la misma y a datos de eventos hidrometeorológicos. De esta forma el modelo necesita un “modelo de cuenca”, las “series de tiempo” y un “modelo meteorológico”

Para el modelo de cuenca, el área de análisis fue dividido en subcuencas, como se mencionó en el apartado anterior, en seis puntos diferentes, en cada uno de los cuales fue calculado el caudal para cada uno de los eventos analizados. Los puntos de análisis fueron los siguientes, los cuales se presentan en la Figuras 16.

1. Subcuenca hasta Desvío a Antiguo Cuscatlán
2. Subcuenca hasta aguas abajo de Multiplaza
3. Subcuenca hasta Puente Avenida Revolución
4. Subcuenca hasta bóveda sobre calle Manuel Enrique Araujo
5. Subcuenca hasta la Colonia Málaga
6. Subcuenca hasta estación hidrométrica telemétrica en Mercado Belloso

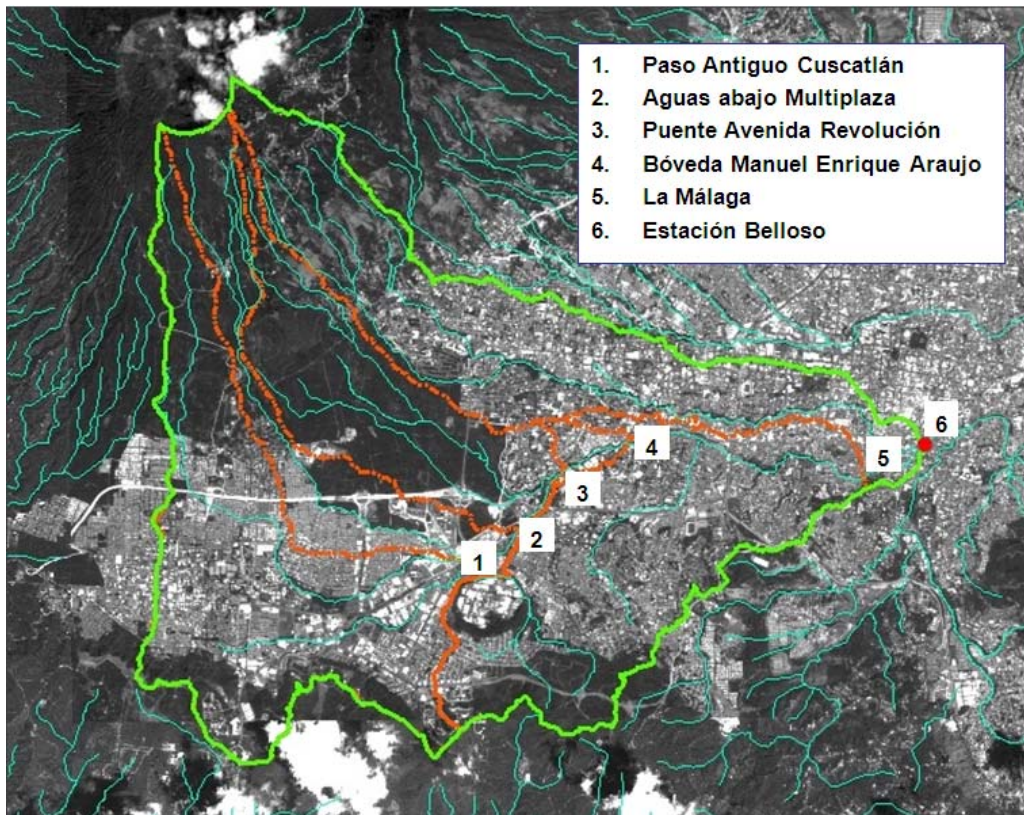


FIGURA 16. UBICACIÓN DE SUBCUENCAS ANALIZADAS EN MODELACION HIDROMETEOROLOGICA

El modelo de cuenca introducido al sistema se puede observar en la Figura 17.

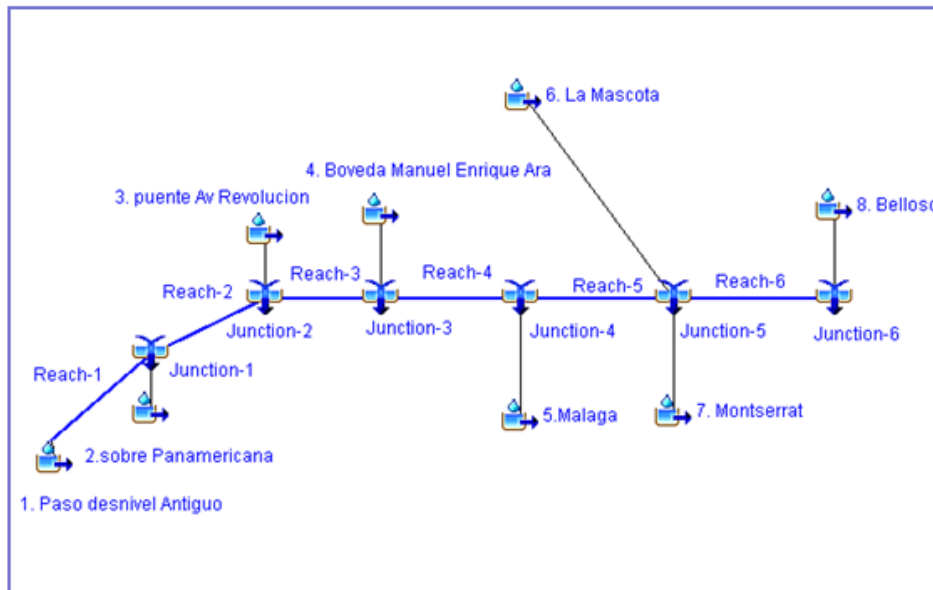


FIGURA 17. MODELO DE CUENCA EN EL ARENAL MONTSERRAT HASTA ESTACION TELEMETRICA BELLOSO

Para el modelo meteorológico, se simularon tres eventos diferentes: el primero, un evento promedio, con periodo de retorno de 1 año con fecha 17 de septiembre de 2009; el segundo evento simulado fue el correspondiente al 3 de julio de 2008, en el cual se produjo una tragedia en la Colonia Málaga tras ser arrastrado hacia el cauce del río Acelhuate un bus con 32 personas a bordo las cuales murieron; el tercer evento fue el del día 7 de noviembre de 2009, en el cual una combinación del huracán IDA en el Atlántico junto con una baja presión en el Pacífico, generaron una condición que produjo lluvias intensas con un periodo de retorno de 300 años para una duración de 3 horas. Las simulaciones se realizaron previa calibración del modelo en la estación telemétrica hidrométrica Belloso, con diferentes eventos del año 2009.

La simulación para los tres eventos se realizó para condiciones de 1992 y de 2009 de acuerdo a los cambios de uso de suelo medidos en las imágenes de satélite. Para el evento del 3 de julio de 2008, se asumió la misma condición de uso de suelo del 2009, por no contar con imagen satelital de ese año.

Es importante mencionar que para los eventos del 3 de julio de 2008 y 7 de noviembre de 2009, la condición de suelo fue tomada como saturada, dadas las condiciones de lluvia antecedente, para poder reflejar el comportamiento real sucedido en el río.

Con los resultados de la modelación hidrológica se procedió a la modelación hidráulica a través del modelo HEC-RAS del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, en los diferentes puntos del modelo de cuenca, para lo cual se obtuvieron secciones transversales por parte del Ministerio de Obras Públicas. Dado que no se obtuvieron secciones hidráulicas para las condiciones de 1992, se asumieron las mismas del año 2009 para cada sitio.

4. RESULTADOS DE LA MODELACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA

Los resultados gráficos de las modelaciones hidrológica e hidráulica para cada uno de los sitios y eventos de interés, se presentan en el Anexo 1. En las tablas siguientes se presentan los resultados de caudal punta, niveles y velocidades alcanzadas, estos dos últimos en los sitios donde se contaba con las secciones hidráulicas.

Tabla 1. RESULTADOS DE MODELACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA PARA EVENTO 17 DE SEPTIEMBRE DE 2009

EVENTO 17 DE SEPTIEMBRE DE 2009						
SITIO	CAUDAL PUNTA (m ³ /seg)		NIVEL ALCANZADO (m)		VELOCIDAD (m/seg)	
	AÑO 1992	AÑO 2009	AÑO 1992	AÑO 2009	AÑO 1992	AÑO 2009
Desvío Antiguo Cuscatlán	10.1	14.1	0.96	1.12	2.84	3.25
Aguas abajo Multiplaza	10.7	15	0.89	1.03	2.26	2.49
Puente Av. Revolución	10.7	14.8	0.50	0.60	2.40	2.71
Bóveda Manuel E. Araujo	11.3	15.1				
Colonia Málaga	14.2	24.7	1.25	1.55	2.47	2.77
Mercado Belloso	18.7	32.3	0.47	0.61	3.20	4.02

Tabla 2. RESULTADOS DE MODELACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA PARA EVENTO 3 DE JULIO DE 2009

EVENTO 3 DE JULIO DE 2008						
SITIO	CAUDAL PUNTA (m ³ /seg)		NIVEL ALCANZADO (m)		VELOCIDAD (m/seg)	
	AÑO 1992	AÑO 2009	AÑO 1992	AÑO 2009	AÑO 1992	AÑO 2009
Desvío Antiguo Cuscatlán	194.10	233.50	5.10	5.62	5.82	6.07
Aguas abajo Multiplaza	246.8	300	3.58	3.95	5.02	5.34
Puente Av. Revolución	297.3	355.6	3.80	4.23	7.27	7.63
Bóveda Manuel E. Araujo	298.6	356.2				
Colonia Málaga	370.5	453.6	5.73	6.11	4.83	5.15
Mercado Belloso	443.8	534.2	4.91	5.42	5.18	5.56

Tabla 3. RESULTADOS DE MODELACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA PARA EVENTO 7 DE NOVIEMBRE DE 2009

EVENTO 7 DE NOVIEMBRE DE 2009						
SITIO	CAUDAL PUNTA (m ³ /seg)		NIVEL ALCANZADO (m)		VELOCIDAD (m/seg)	
	AÑO 1992	AÑO 2009	AÑO 1992	AÑO 2009	AÑO 1992	AÑO 2009
Desvío Antiguo Cuscatlán	212.8	230	5.35	5.58	5.94	6.05
Aguas abajo Multiplaza	293.6	318.4	3.90	4.08	5.30	5.42
Puente Av. Revolución	388.1	419.8	4.23	4.66	7.63	7.99
Bóveda Manuel E. Araujo	394.2	422.9				
Colonia Málaga	567.2	610	6.54	6.69	5.64	5.82
Mercado Belloso	693.9	740.4	6.22	6.45	5.92	6.02

Con base en los resultados anteriores, se trazaron las Figuras 18 y 19 para el evento el día 17 de Septiembre de 2009, el cual refleja el comportamiento de una lluvia normal, que se puede

presentar varias hasta veces en un año. Para los eventos del 3 de Julio de 2008 y 7 de Noviembre de 2009, esta gráfica no aplica, ya que los dos eventos presentaron condicion antecedente de lluvia y de saturacion del suelo diferente al del primero.

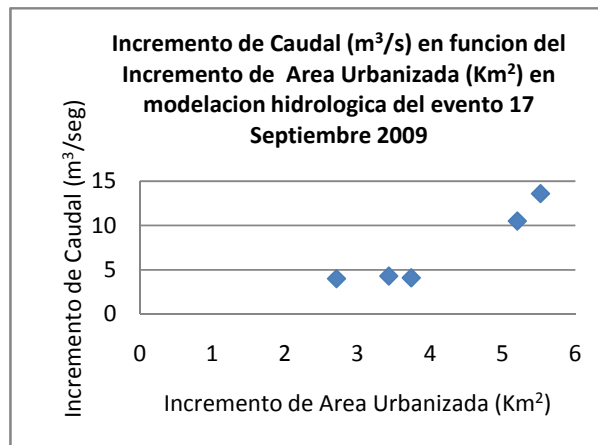


FIGURA 18. INCREMENTO DE CAUDAL (m³/seg) EN FUNCION DEL INCREMENTO DE AREA URBANIZADA (Km²) EN CUENCA ARENAL MONTSERRAT

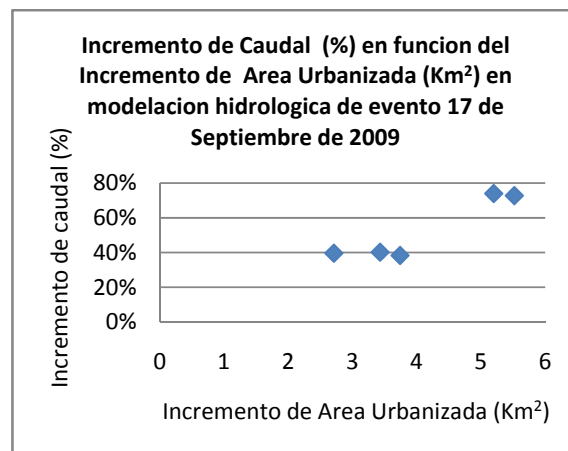


FIGURA 19. INCREMENTO DE CAUDAL (%) EN FUNCION DEL INCREMENTO DE AREA URBANIZADA (Km²) EN CUENCA ARENAL MONTSERRAT

Al modelar el evento del 17 de septiembre de 2009, como se puede observar en las dos figuras y en la tabla 1 el incremento de area urbanizada de 5.52 Km² en el area de analisis, ha incrementado el caudal de escorrentía hasta en 14 m³/seg (72% de aumento de caudal punta) entre 1992 y 2009; para la parte alta de la cuenca, hasta el Sitio “Aguas abajo de Multiplaza”, el incremento de area impermeabilizada ha sido de 3.43 Km², y ha significado un aumento del caudal de escorrentia de 4.3 m³/seg (40% de aumento en caudal punta).

Por otro lado, los tiempos de llegada de la creciente, igualmente han sufrido afectacion con la impermeabilizacion del suelo. Para los 5.52 Km² de incremento de impermeabilizacion, para el evento modelado, el tiempo de llegada de la creciente se ha reducido en 40%, correspondiente a 30 minutos, mientras que los niveles del agua en las secciones transversales

han aumentado en promedio un 20% y la velocidad del agua se ha incrementado en un 15% en promedio.

Para los eventos del 3 de Julio de 2008 y el 7 de Noviembre de 2009, el aumento de caudal en la Colonia La Maga, entre 1992 y 2009, ha representado un incremento de volumen de 1.84 Mm³ (millones de metros cúbicos) y 1.02 Mm³ respectivamente. Dadas las condiciones meteorológicas, en toda el area de analisis, los caudales punta para el evento del 3 de Julio aumentaron en un 20% entre 1992 y 2009 y para el evento del 7 de Noviembre de 2009 en un 10%. Es de mencionar que el evento del 7 de Noviembre fue una lluvia extraordinaria, la cual presentó un comportamiento normal en la primera hora de ocurrencia, con un periodo de retorno de 5 años, sin embargo para 3 horas el comportamiento varió hasta presentar un periodo de retorno mayor de 300 años para dicha duracion.

5. SINTESIS DE IMPACTOS DE CAMBIOS DE USO DE SUELO EN LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN EL ARENAL MONTSERRAT EN EL PERIODO 1992 A 2009

- La cuenca del Arenal Montserrat hasta el punto de ubicación del mercado Belloso (53.47 Km²), ha sido modificada en su Uso de Suelo, en el periodo de 1992 a 2009 en 5.53 Km², los cuales han pasado de ser de Uso de Bosques y Cafetales a Tejido Urbano en zonas Residenciales y Comerciales. En este periodo, los cambios de Uso Suelo, se han producido en su gran mayoría en los municipios de Santa Tecla y Antiguo Cuscatlán. La población en estos dos municipios, ha aumentado de acuerdo a información DIGESTYC de Censos del 92 y del 2007 en aproximadamente 14000 personas.
 - En la cuenca del Arenal Montserrat, los cambios de uso suelo, por urbanización, han producido una reducción de la capacidad del suelo para absorber agua en aproximadamente 14 milímetros (Reducción en el Indice de Abstracción).
 - El Numero de Curva CN (Indice de la escorrentía superficial) en la cuenca ha presentado un incremento promedio de 15%, especialmente en la parte alta y media de la cuenca, lo que se refleja en el aumento de los caudales de escorrentía directa.
 - Los resultados de modelación hidrológica en las subcuencas reflejan que para un evento con condiciones normales de humedad antecedente, y lluvia con periodo de retorno de 1 y 2 años (caso analizado del 17 de septiembre de 2009), el incremento de 5.53 Km² en el periodo de 1992 a 2009 en rea Urbanizada, ha incrementado en un 70% el caudal punta específico y ha reducido en un 40% en el tiempo de llegada de la creciente. Así mismo han aumentado el nivel y la velocidad del agua en las secciones transversales del río en promedio en un 20% y 15% respectivamente.
 - Para el evento del 3 de Julio de 2008, los resultados de modelación hidrológica indican que en la colonia Málaga, el volumen de agua para el periodo 1992 a 2008, tuvo un incremento de 1.84 millones de metros cúbicos, y un aumento de caudal punta de 83.1 m³/seg. En promedio los caudales punta incrementaron en un 20% al comprar 1992 con 2009.
 - Para el evento del 7 de Noviembre de 2009, la modelación refleja que para el sector de la colonia Málaga el incremento de volumen dado los cambios de Uso de Suelo en el periodo analizado, fue de 1.02 millones de metros cúbicos, con un aumento del caudal punta de 42.8 m³/seg. En promedio los caudales punta incrementaron en un 10% al comprar 1992 con 2009.

6. LINEAMIENTOS A ADOPTAR

- Para los Estudios de Impacto Ambiental:
 - a. Exigencia de Impacto Hidrológico Nulo en todos los Proyectos de Lotificaciones, Urbanizaciones, Edificaciones y otras Construcciones, de tal forma que no se produzca un incremento de la escorrentía superficial aguas abajo, generada por el Proyecto, así como las medidas pertinentes para minimizar al máximo la reducción de la infiltración.
 - b. Exigencia de Balance Hídrico Con Proyecto y Sin Proyecto, para establecer como el Cambio de Uso de Suelo afecta las variables hídricas del entorno, y la respectiva adopción de medidas de mitigación y compensación.
 - c. Exigencia a los Consultores de que los Estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos sean realizados por expertos en el tema.

- Desarrollo del Plan de Ordenamiento Territorial del AMSS teniendo en cuenta el contexto integral de Cuenca Hidrográfica, enfocado a propiciar un desarrollo sostenible, orientando el desarrollo social, económico y ambiental de San Salvador, Santa Tecla y Antiguo Cuscatlán, con una identificación clara de las zonas de protección y preservación ambiental e hídrica.
- Conservación de la Zona El Espino, por su invaluable aporte como zona de recarga hídrica, dado el tipo de suelo y su cobertura vegetal.
- Enseñanza por parte de Universidades y ASIA de un concepto de manejo Integral de Recursos Hídricos, con un enfoque ambiental y no solo Ingenieril para las carreras afines, con el objeto de crear conciencia en los profesionales en cuanto la preservación y conservación de los recursos naturales, minimizando el impacto que generan las obras civiles.

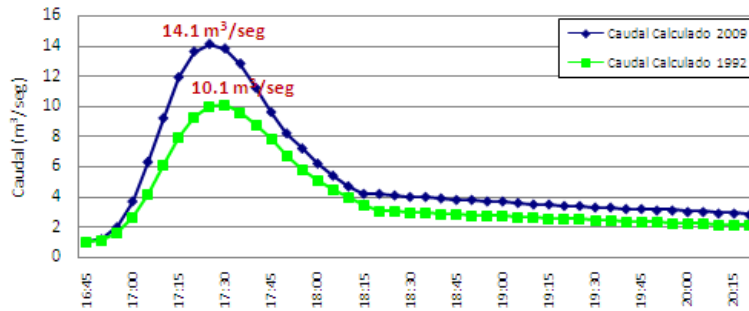
ANEXO 1

RESULTADOS GRAFICOS DE MODELACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA

EVENTO 17 DE SEPTIEMBRE DE 2009

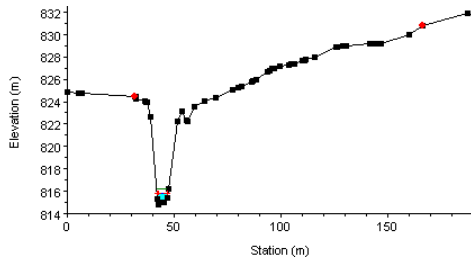
SITIO: DESVIO ANTIGUO CUSCATLAN

**CAUDALES EN DESVIO ANTIGUO CUSCATLAN
EVENTO 17 SEPTIEMBRE 2009**



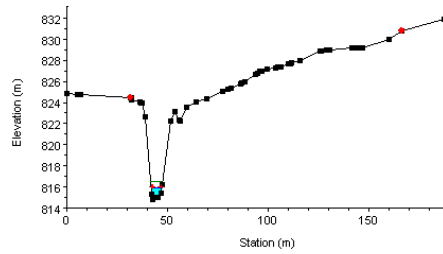
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 0.96 m
Velocidad de Flujo: 2.84 m/seg

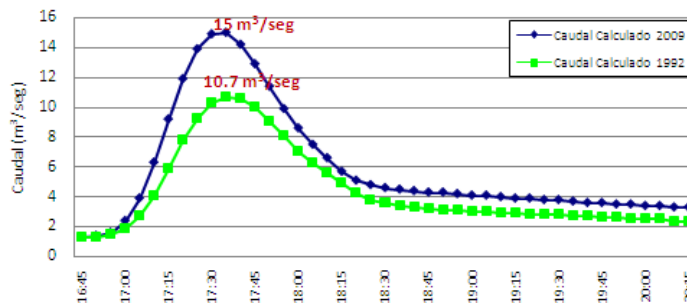
Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 1.12 m
Velocidad de Flujo: 3.25 m/seg

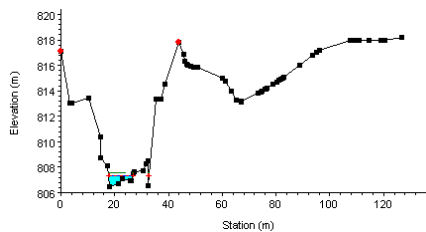
SITIO: AGUAS ABAJO DE MULTIPLAZA

**CAUDALES AGUAS ABAJO DE MULTIPLAZA
EVENTO 17 SEPTIEMBRE 2009**



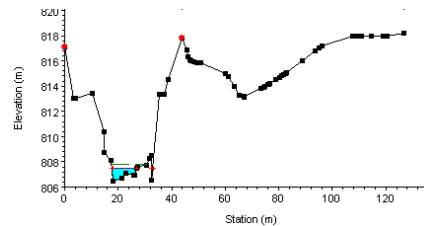
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 0.89 m
Velocidad de Flujo: 2.26 m/seg

Modelación Hidráulica para 2009:

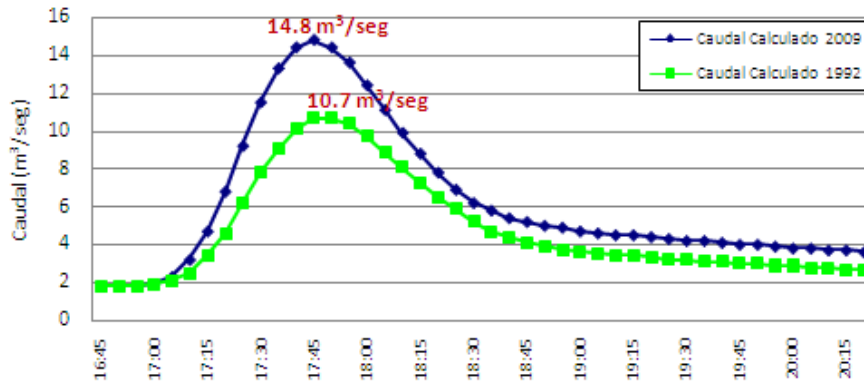


Máxima profundidad de Agua: 1.03 m
Velocidad de Flujo: 2.49 m/seg

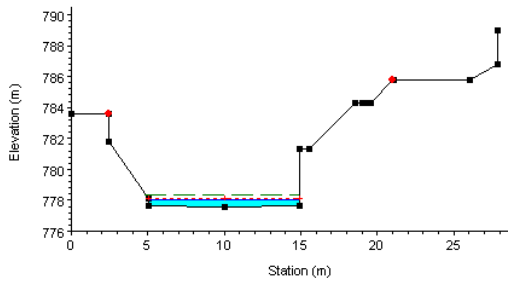
SITIO: PUENTE AVENIDA REVOLUCION

Modelacion Hidrológica:

**CAUDALES EN BOVEDA AVENIDA REVOLUCION
EVENTO 17 SEPTIEMBRE 2009**

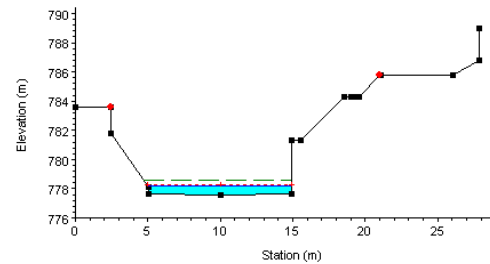


Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 0.50 m
Velocidad de Flujo: 2.40 m/seg

Modelación Hidráulica para 2009:

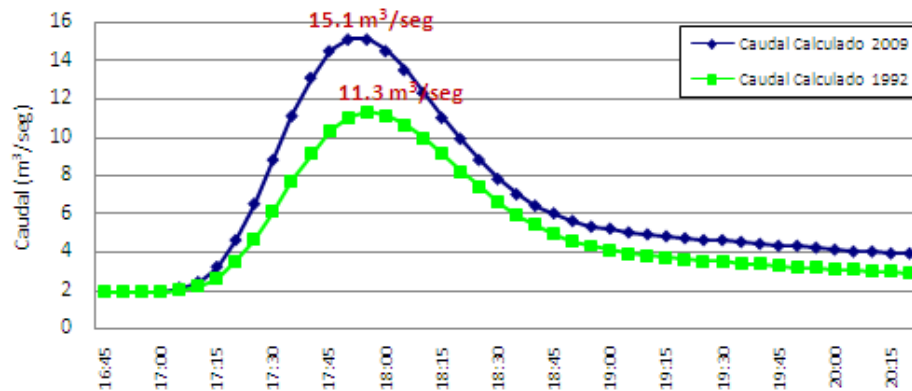


Máxima profundidad de Agua: 0.60 m
Velocidad de Flujo: 2.71 m/seg

SITIO: BOVEDA MANUEL ENRIQUE ARAUJO

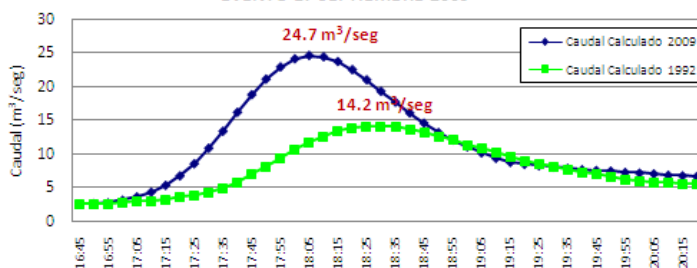
Modelacion Hidrológica:

**CAUDALES EN BOVEDA MANUEL ENRIQUE ARAUJO
EVENTO 17 SEPT 2007**



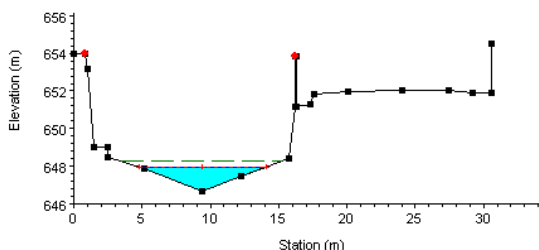
SITIO: COLONIA MALAGA

**CAUDALES EN LA MALAGA
EVENTO 17 SEPTIEMBRE 2009**



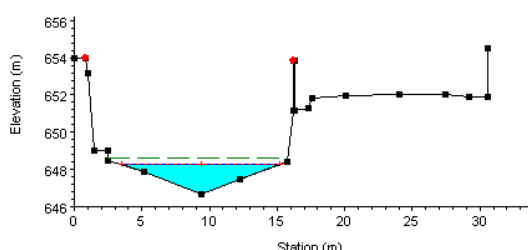
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992



Máxima profundidad de Agua: 1.25 m
Velocidad de Flujo: 2.47 m/seg

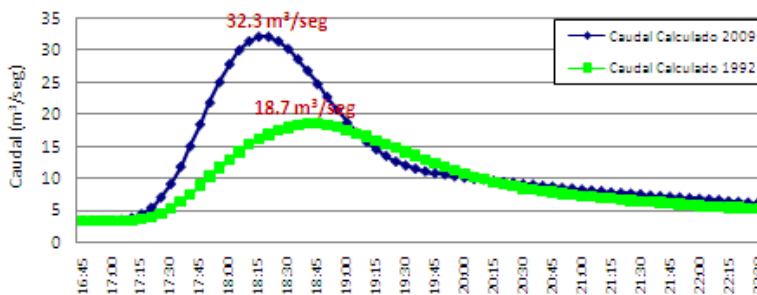
Modelación Hidráulica para 2009



Máxima profundidad de Agua: 1.55 m
Velocidad de Flujo: 2.77 m/seg

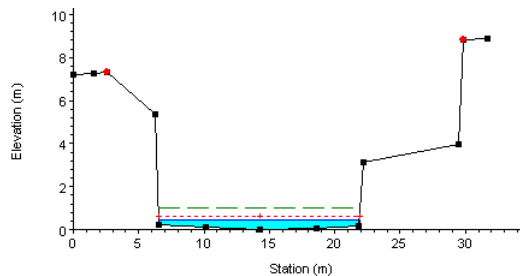
SITIO: MERCADO BELLOSO

**CAUDALES EN BELLOSO
EVENTO 17 SEPTIEMBRE 2009**



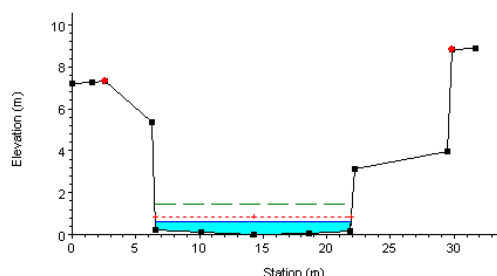
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 0.47 m
Velocidad de Flujo: 3.20 m/seg

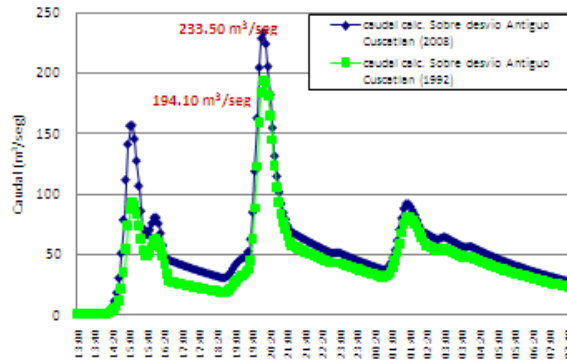
Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 0.61 m
Velocidad de Flujo: 4.02 m/seg

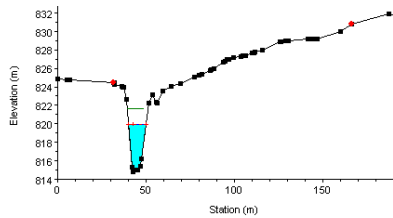
EVENTO 3 DE JULIO DE 2008
SITIO: DESVIO ANTIGUO CUSCATLAN

CAUDALES EN DESVIO ANTIGUO CUSCATLAN
EVENTO 3 JULIO 2008



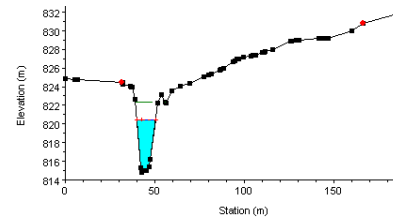
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 5.10 m
Velocidad de Flujo: 5.82 m/seg

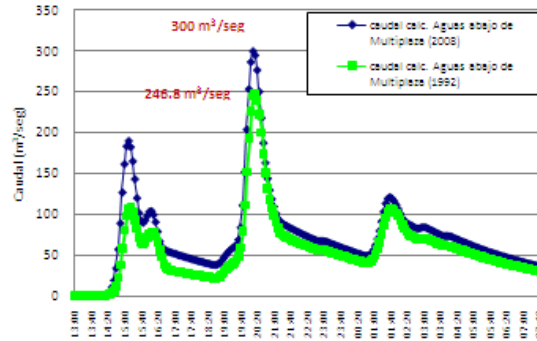
Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 5.62 m
Velocidad de Flujo: 6.07 m/seg

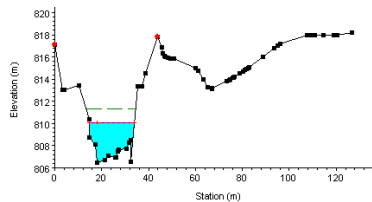
SITIO: AGUAS ABAJO DE MULTIPLAZA

CAUDALES AGUAS ABAJO DE MULTIPLAZA
EVENTO 3 JULIO 2008



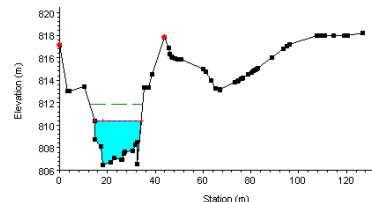
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 3.58 m
Velocidad de Flujo: 5.02 m/seg

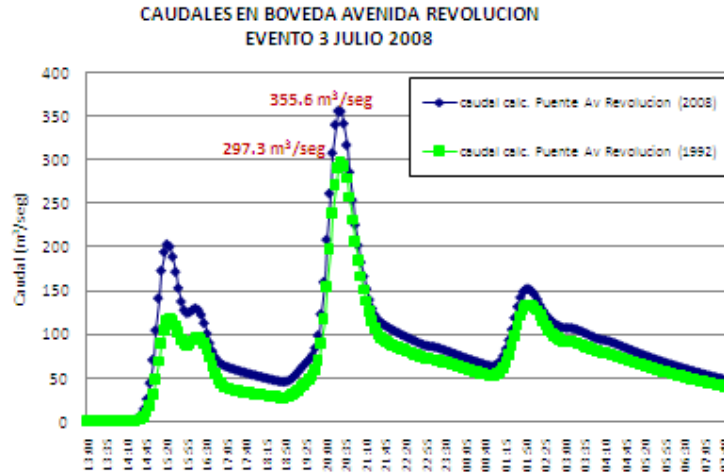
Modelación Hidráulica para 2009:



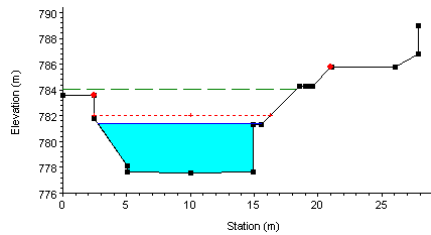
Máxima profundidad de Agua: 3.95 m
Velocidad de Flujo: 5.34 m/seg

SITIO: PUENTE AVENIDA REVOLUCION

Modelacion Hidrológica:

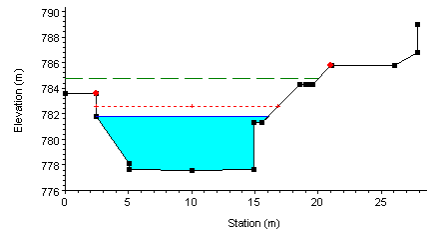


Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 3.80 m
Velocidad de Flujo: 7.27 m/seg

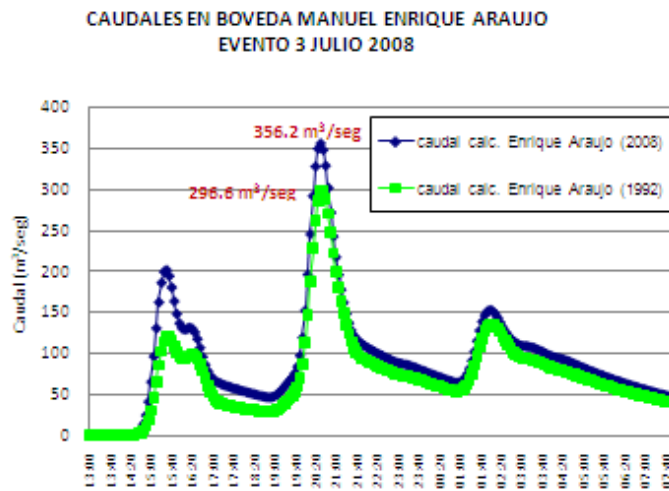
Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 4.23 m
Velocidad de Flujo: 7.63 m/seg

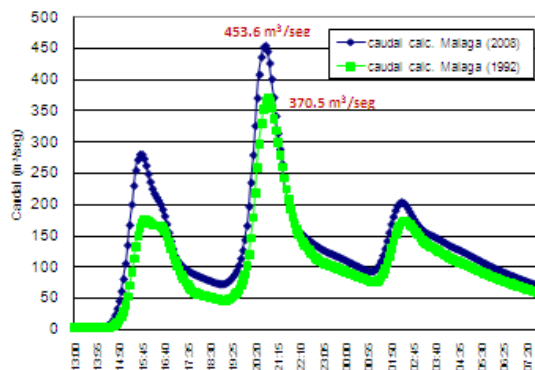
SITIO: BOVEDA MANUEL ENRIQUE ARAUJO

Modelacion Hidrológica:



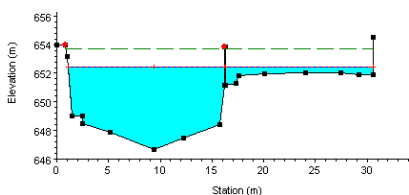
SITIO: COLONIA MALAGA

CAUDALES EN LA MALAGA
EVENTO 3 JULIO 2008



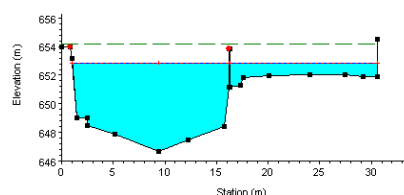
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 5.73 m
Velocidad de Flujo: 4.83 m/seg

Modelación Hidráulica para 2009:

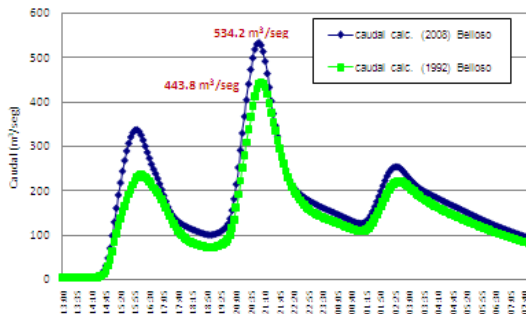


Máxima profundidad de Agua: 6.11 m
Velocidad de Flujo: 5.15 m/seg

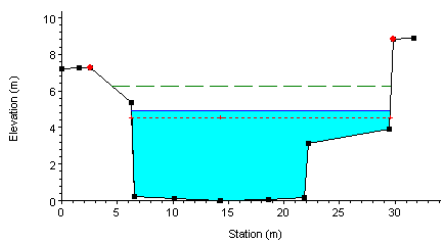
SITIO: MERCADO BELLOSO

Modelacion Hidrológica

CAUDALES EN BELLOSO
EVENTO 3 JULIO 2008

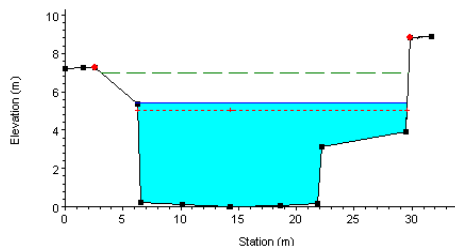


Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 4.91 m
Velocidad de Flujo: 5.18 m/seg

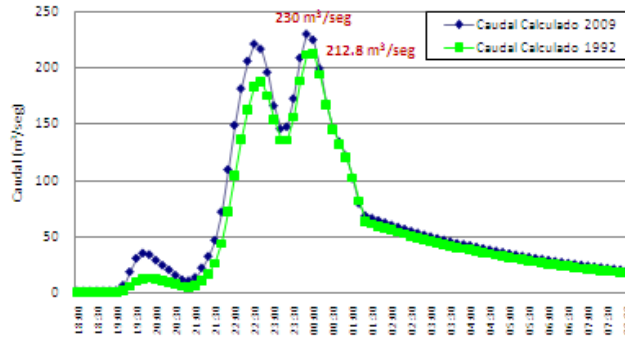
Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 5.42 m
Velocidad de Flujo: 5.56 m/seg

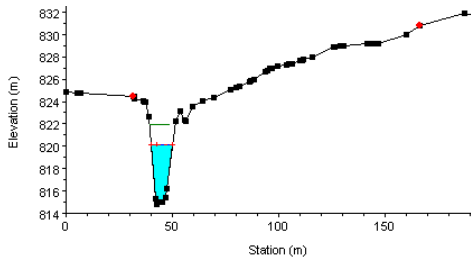
**EVENTO 7 DE NOVIEMBRE DE 2009
SITIO: DESVIO ANTIGUO CUSCATLAN**

**CAUDALES EN DESVIO ANTIGUO CUSCATLAN
EVENTO 7 NOVIEMBRE 2009**



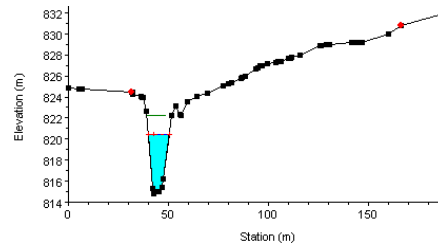
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



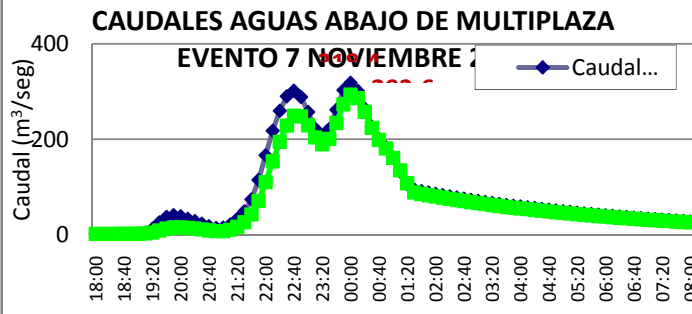
Máxima profundidad de Agua: 5.35 m
Velocidad de Flujo: 5.94 m/seg

Modelación Hidráulica para 2009:



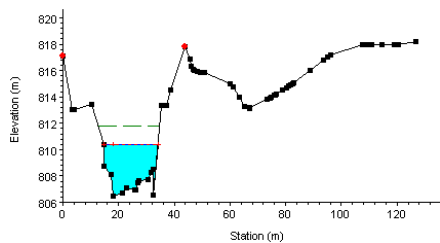
Máxima profundidad de Agua: 5.58 m
Velocidad de Flujo: 6.05 m/seg

SITIO: AGUAS ABAJO DE MULTIPLAZA



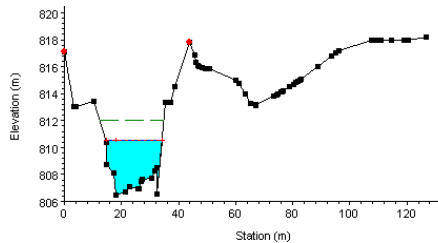
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 3.90 m
Velocidad de Flujo: 5.30 m/seg

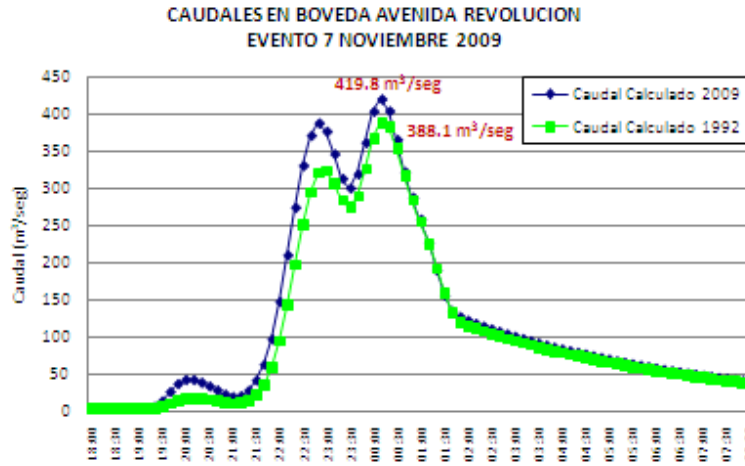
Modelación Hidráulica para 2009:



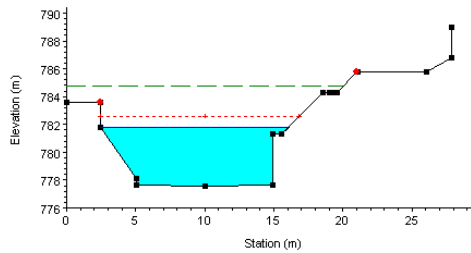
Máxima profundidad de Agua: 4.08 m
Velocidad de Flujo: 5.42 m/seg

SITIO: PUENTE AVENIDA REVOLUCION

Modelacion Hidrológica:

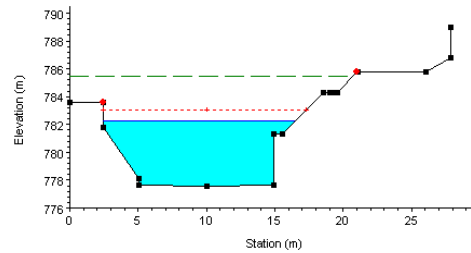


Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 4.23 m
Velocidad de Flujo: 7.63 m/seg

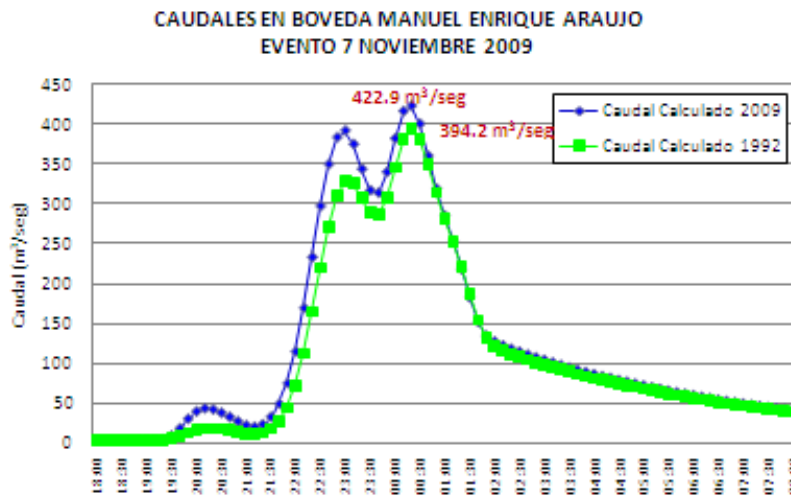
Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 4.66 m
Velocidad de Flujo: 7.99 m/seg

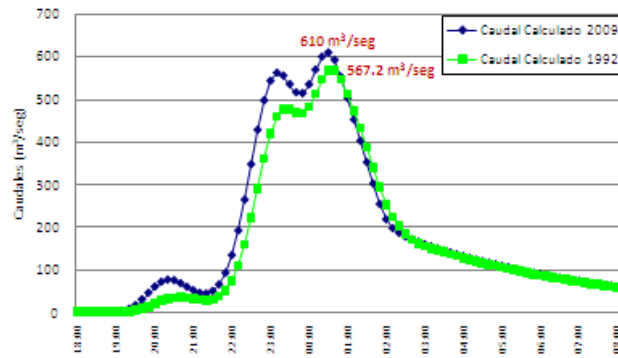
SITIO: BOVEDA MANUEL ENRIQUE ARAUJO

Modelacion Hidrológica:



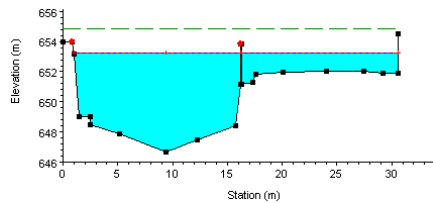
SITIO: COLONIA MALAGA

CAUDALES EN LA MALAGA
EVENTO 7 NOVIEMBRE 2009



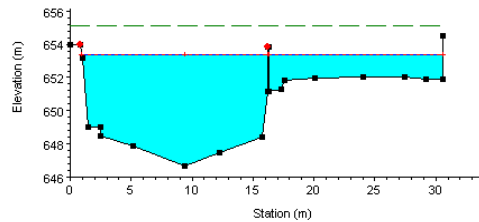
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 6.54 m
Velocidad de Flujo: 5.64 m/seg

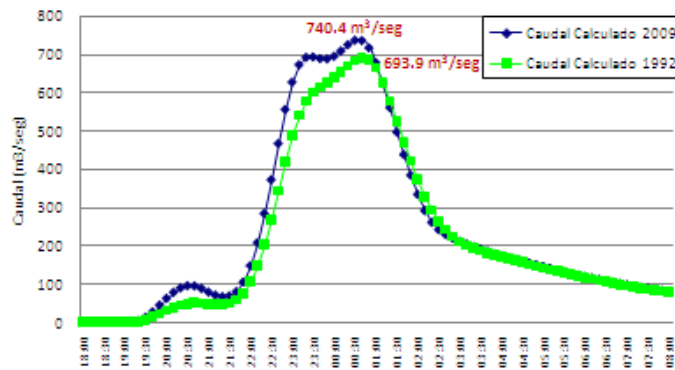
Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 6.69 m
Velocidad de Flujo: 5.82 m/seg

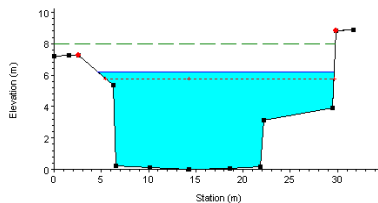
SITIO: MERCADO BELLOSO

CAUDALES EN BELLOSO
EVENTO 7 NOVIEMBRE 2009



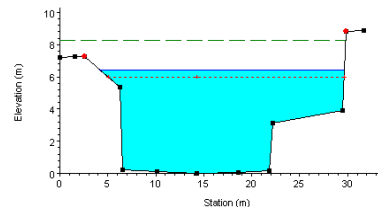
Modelacion Hidrológica

Modelación Hidráulica para 1992:



Máxima profundidad de Agua: 6.22 m
Velocidad de Flujo: 5.92 m/seg

Modelación Hidráulica para 2009:



Máxima profundidad de Agua: 6.45 m
Velocidad de Flujo: 6.02 m/seg

