

MEDIDAS ESTRUCTURALES DE CONTROL DE INUNDACIONES EN MICROCUENCA DEL ARENAL SECO, SAN SALVADOR EL SALVADOR

José Neftalí Cañas Platero, Celina Cruz y Lorena Molina de Salguero

Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)
Diagonal San Carlos, 15 Av. Nte. y 25 C. Pte. Col. Layco, San Salvador, El Salvador, Centroamérica, PBX (503)2234-0600
celina.cruz@opamss.org.sv, lorena.salguero@opamss.org.sv, neftali_c266@hotmail.com

RESUMEN

La problemática de inundaciones en El Salvador se ha incrementando a raíz del rápido crecimiento urbano y una falta de institucionalidad en relación al sistema de drenaje pluvial, ante dicha condición la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) ha tratado de buscar alternativas que permitan compatibilizar el crecimiento de la ciudad y evitar mayores afectaciones a los asentamientos e infraestructura existente. En este marco, se presenta la experiencia sobre la construcción de medidas estructurales y no estructurales en la microcuenca del Arenal Seco como respuesta a las inundaciones que se han presentado en el sector.

ABSTRACT

The problem of flooding in El Salvador has increased because of rapid urban growth and lack of institutional arrangements in relation to the storm water system, before the condition the Planning Office of the Metropolitan Area of San Salvador (OPAMSS) has treated to look for alternatives that allow reconcile the city's growth and prevent further damages to settlements and infrastructure. In this context, it presents the experience on the construction of structural and non-structural measures in the micro basin Arenal Seco in response to the floods that have occurred in the sector.

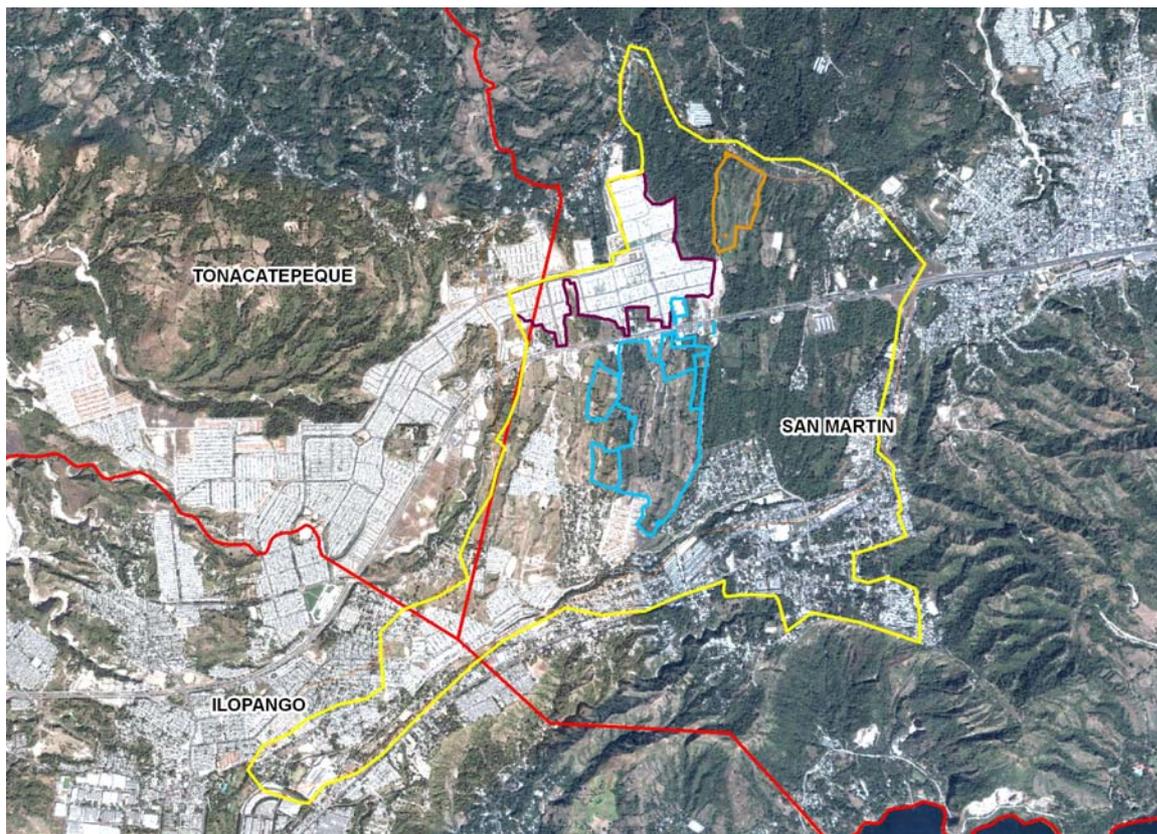
INTRODUCCIÓN

El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) ocupa una superficie de 610 km², esta compuesta por 14 municipios, constituye el centro direccional del país en materia política, financiera, económica y cultural, donde se concentra el 32% de la población total del país y se invierte cerca del 43% de la inversión pública del y aproximadamente un 70 % de la privada en un 3% del territorio nacional. La administración de este territorio en materia de planificación y control del desarrollo urbano, esta bajo la responsabilidad de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS), ente semiautónomo que depende del Consejo de Alcaldes del Área Metropolitana de San Salvador (COAMSS)

El AMSS esta dividida en cuatro subsistemas denominados zona central, occidental, oriental y norte, el cual esta basado en una reagrupación de límites municipales y no de cuencas, para el caso de estudio la microcuenca del Arenal Seco se ubica entre los sistemas oriental y norte, es decir al costado oriente del AMSS, específicamente en los municipios de San Martín, Tonacatepeque e Ilopango. La geología de la zona corresponde a materiales compuestos principalmente por erupciones de la caldera de Ilopango, clasificadas como tefras y conocidas

como Tierra Blanca Joven o Limo Arenoso, material intrínsecamente vulnerable a la erosión eólica, vertical, planar, evidenciando mayores daños la erosión hídrica. La microcuenca abarcaba en su estado natural una superficie de 6.64 Km² presentando un relieve poco accidentado, en la zona sur de la misma las pendientes oscilan entre el 1% al 0.5%, condición que favoreció el desarrollo de una serie de asentamientos ilegales durante los años 80 a 90. En la década de los 90 se da el desarrollo la Autopista Este-Oeste, la cual como sucede en la mayoría de los casos generó una presión por el cambio del uso de tierras agrícolas a urbanizables en las zonas altas de la cuenca, debido a la modificación de su cobertura superficial, se produce un cambio en su comportamiento, situación que se ve reflejada en el crecimiento del nivel de las aguas máximas que circulan en los cauces e inundaciones en los asentamientos aguas abajo, siendo más evidente esta condición cuando se esta en presencia de precipitaciones de corta duración y alta intensidad; la situación en este sector se vuelve más preocupante en vista que la mayoría de la cuenca esta compuesta por materiales muy jóvenes y poco resistente a la fricción producida por el flujo, lo cual ha provocado ensanchamiento del cauce y por ende pérdidas de área útil a los propietarios colindantes al cauce. Actualmente el uso de suelo de la cuenca en su mayoría es urbano (véase Figura 1), no existiendo planificación en torno al tema de drenaje en coherencia con el crecimiento de la zona, esto debido a que en el país se da una falta de institucionalidad en el tema de drenaje pluvial.

Figura 1. Microcuenca Arenal Seco



Esta situación ha obligado a tomar medidas estructurales de control de inundación en la marcha del crecimiento urbano, permitiendo la construcción de nuevas urbanizaciones condicionadas a la utilización de dispositivos de control de la escorrentía, lo cual ha permitido mantener los niveles de las crecidas presentadas en el cauce del Arenal Seco. Por lo tanto la

experiencia adquirida por la OPAMSS, desde que asume el otorgamiento del trámite de Factibilidad de Aguas Lluvias (1999) para los nuevos desarrollos, indica la necesidad de un cambio de la visión tradicional sanitarista a una visión ambiental y sostenible de cara a nuestras condiciones urbanas, lo cual ha obligado a nuevas regulaciones que permitan una buena práctica del manejo sustentable de cuenca. En esta línea, a inicio del presente año se aprobó una modificación a la reglamentación vigente para el AMSS, la cual no había tenido cambios sustanciales desde su creación (1990), en la que ya se incorpora el concepto de Impacto Hidrológico Cero.

OBJETIVOS

Mantener las condiciones de criticidad del comportamiento hidráulico del Arenal Seco en el marco de dar soluciones al impacto ocasionado por los nuevos desarrollos de la zona, a la vez de obtener experiencia, con el fin que los resultados de la misma puedan incorporarse a toda el AMSS.

Analizar los Hidrógramas de crecida, en los escenarios de desarrollos informales y formales con la utilización de dispositivos de control, incluyendo la contribución del caudal inducido hacia el cauce del Arenal Seco, debido al colector construido por el Ministerio de Obras Publicas (MOP), según información dada por los habitantes de la zona.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para realizar el tratamiento de esta información se utilizó el Método del Hidrógrama Triangular, el cual considera que el comportamiento de la escorrentía en función del tiempo, es de forma triangular, o sea que las curvas de ascenso y descenso son líneas rectas, las que convergen en un punto que es el caudal máximo instantáneo. Su conformación esta determinada, por los tiempos de duración de la tormenta efectiva y el tiempo de desplazamiento del flujo.

Partiendo de las consideraciones del " Soil Conservation Service", de los Estados Unidos (S.C.S U.S.A), el tiempo base del hidrógrama triangular para cuencas pequeñas (Áreas menores de 2.5 Km²), se calcula por la expresión $Tb = Tp + Tr$; $Tp = \frac{D}{2} + 0.6Tc$ y $Tr = 1.67Tp$, de tal forma que la expresión de $Tb = 2.937Tc$, considerando que $Tc = D$, es decir que la duración de la tormenta (D), es igual al tiempo de concentración de la cuenca (Tc).

De acuerdo a las características geométricas de un triángulo, el área se expresa como

$V = qp * Tb$ (1) donde $qp = 2 * \frac{V}{Tb}$ (2) y $V = C * I * D * A$ (3), donde Tb = Tiempo desde el inicio de la tormenta hasta el máximo caudal (minutos), D = Duración de la tormenta (minutos), Tc = Tiempo de concentración de la cuenca (minutos), Tr = Tiempo desde el caudal máximo hasta el final del descenso de la avenida (minutos), V = volumen de agua escurrido m³, qp = caudal pico, caudal máximo m³, C = coeficiente de escorrentía, I = intensidad de lluvia (mm/minuto), A = área de la cuenca Km².

El método considera que la lluvia, se distribuye uniformemente en la cuenca y que el coeficiente de escorrentía (C) permanece constante en el tiempo.

La metodología del hidrograma triangular, ha sido comprobada en estudios para zona urbana de El Salvador, lo que lo hace uno de los métodos más aplicables, dando resultados confiables.

En este caso en particular para el cálculo del T_b , se utilizará la siguiente fórmula:

$$T_b = 1.335 D + 1.602 T_c \quad \text{Si } T_c = D; \quad T_b = 2.935$$

Los resultados obtenidos, se alcanzaron mediante la elaboración de estimación de caudales de diseño utilizando para el análisis un Periodos de Retorno de 25 años, decisión asumida en vista que de acuerdo a la normativa vigente en el momento de realizar esta investigación, era el parámetro adecuado para este tipo de investigación., los componentes mencionados anteriormente sirvieron para estimar los diferentes escenarios a los que a estado sometida la microcuenca, iniciando el análisis con el comportamiento de las crecidas en el punto de control definido para las condiciones naturales del área tributaria, para luego realizar las diferentes composiciones de la microcuenca según el grado de urbanización a la que ha sido sometida, para lo cual se utilizó la metodología hidrometeorológica, del hidrograma triangular, en vista que no existen registros de las crecidas en el área de estudio.

En las tablas de los cálculos presentados se reflejan valores de caudales de 50, 25, 15 y 5 años de periodo de retorno, sin embargo la de medición utilizada en este informe corresponde al periodo de retorno de 25 años.

OFICINA DE PLANIFICACION DEL AREA METROPOLITANA				ESTACION: "Aeropuerto" (Dpto. San Salvador)							
UNIDAD AMBIENTAL				CUENCA: Rio Las Cañas							
Caudales sin urbanizar toda el area de la cuenca				SUBCUENCA: Arenal Seco.							
CALCULO UTILIZANDO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR											
CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA											
Area de la cuenca (km ²)	L _c (Km)	TIEMPO DE CONCENTRACION				PERIMETRO DE LA CUENCA (km)					
		(L _c) ³	H _{max} (m.s.n.m)	H _{min} (m.s.n.m)	K						
6,64	5,954	211,07	820,00	635,96	0,8703	0,9981211	[K*(L _c) ³ /(H _{max} -H _{min})] ^{0,385}	0,9993	Tc (min)	60	14,02
USOS DEL SUELO		COEFICIENTE	AREA (km ²)	COEFICIENTE PONDERADO							
Area Urbana, Colonias y Comunidades		0,30	2,46	0,30							
Altavista(Condicion Natural)		0,30	0,48								
Area Potencialmente Urbana		0,30	3,57								
Area de Maxima Proteccion.		0,30	0,12								
AREA DE LA CUENCA			6,64								
CALCULO DE TIEMPO BASE											
D (min)	1.335D	tc	1.602tc	tb							
45,00	60,08	60	96,05	156,13							
50,00	66,75	60	96,05	162,80							
60,00	80,10	60	96,05	176,15							
90,00	120,15	60	96,05	216,20							
120,00	160,20	60	96,05	256,25							
Duracion (min)		Intensidades (mm/min)									
		5	15	25	50						
45,00	1,21	1,42	1,53	1,63							
50,00	1,12	1,31	1,48	1,59							
60,00	1,00	1,18	1,30	1,38							
90,00	0,74	0,85	0,92	1,00							
120,00	0,60	0,69	0,75	0,82							
Hidrograma Unitario Triangular											
Propuesto por el U.S.Bureau of Reclamation											
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	AT [Km2]	L [mm]	C	F	Led [mm]	Ved [m ³ x10 ³]	2*Ved [m ³ x10 ³]	Tb [min]	Qp [m3/s]		
50	6,64	73,35	0,30	1,00	22,01	146,11	292,23	156,13	31,20		
	6,64	79,50	0,30	1,00	23,85	158,36	316,73	162,80	32,42		
	6,64	82,80	0,30	1,00	24,84	164,94	329,88	176,15	31,21		
	6,64	90,00	0,30	1,00	27,00	179,28	358,56	216,20	27,64		
	6,64	98,40	0,30	1,00	29,52	196,01	392,03	256,25	25,50		
25	6,64	68,85	0,30	1,00	20,66	137,15	274,30	156,13	29,28		
	6,64	74,00	0,30	1,00	22,20	147,41	294,82	162,80	30,18		
	6,64	78,00	0,30	1,00	23,40	155,38	310,75	176,15	29,40		
	6,64	82,80	0,30	1,00	24,84	164,94	329,88	216,20	25,43		
	6,64	90,00	0,30	1,00	27,00	179,28	358,56	256,25	23,32		
15	6,64	63,90	0,30	1,00	19,17	127,29	254,58	156,13	27,18		
	6,64	65,50	0,30	1,00	19,65	130,48	260,95	162,80	26,71		
	6,64	70,80	0,30	1,00	21,24	141,03	282,07	176,15	26,69		
	6,64	76,50	0,30	1,00	22,95	152,39	304,78	216,20	23,49		
	6,64	82,80	0,30	1,00	24,84	164,94	329,88	256,25	21,46		
5	6,64	54,45	0,30	1,00	16,34	108,46	216,93	156,13	23,16		
	6,64	56,00	0,30	1,00	16,80	111,55	223,10	162,80	22,84		
	6,64	60,00	0,30	1,00	18,00	119,52	239,04	176,15	22,62		
	6,64	66,60	0,30	1,00	19,98	132,67	265,33	216,20	20,45		
	6,64	72,00	0,30	1,00	21,60	143,42	286,85	256,25	18,66		
CUADRO RESUMEN											
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	QD [m ³ /s]	m ³ /s/km ²									
50	32,42	4,88									
25	30,18	4,55									
15	27,18	4,09									
5	23,16	3,49									

Tabla No.1 Cálculo de caudal en estado natural del área de aporte.

OFICINA DE PLANIFICACION DEL AREA METROPOLITANA				ESTACION: " Aeropuerto " (Dpto. San Salvador)					
UNIDAD AMBIENTAL				CUENCA: Río Las Cañas					
Caudales sin urbanizar el area de Altavista				SUBCUENCA: Arenal Seco.					
CALCULO UTILIZANDO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR									
CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA									
Area de la cuenca (km ²)	L _C (Km)	TIEMPO DE CONCENTRACION						Tc (min)	DE LA CUENCA (km)
		(L _C) ³	H _{max} (m.s.n.m)	H _{min} (m.s.n.m)	K	K*(L _C) ³ /(H _{max} -H _{min})	[K*(L _C) ³ /(H _{max} -H _{min})] ^{0.385}		
6,64	5,954	211,07	820,00	635,96	0,8703	0,9981211	0,9993	60	14,02
USOS DEL SUELO		COEFICIENTE	AREA (km ²)	COEFICIENTE PONDERADO					
Area Urbana, Colonias y Comunidades		0,80	2,46	0,49					
Altavista(Condicion Natural)		0,30	0,48						
Area Potencialmente Urbana		0,30	3,57						
Area de Maxima Proteccion.		0,30	0,12						
AREA DE LA CUENCA			6,64						
CALCULO DE TIEMPO BASE									
D (min)	1.335D	tc	1.602tc	tb (min)					
45,00	60,08	60	96,05	156,13					
50,00	66,75	60	96,05	162,80					
60,00	80,10	60	96,05	176,15					
90,00	120,15	60	96,05	216,20					
120,00	160,20	60	96,05	256,25					
Intensidades (mm/min)									
Duracion (min)	5	15	25	50					
45,00	1,21	1,42	1,53	1,63					
50,00	1,12	1,31	1,48	1,59					
60,00	1,00	1,18	1,30	1,38					
90,00	0,74	0,85	0,92	1,00					
120,00	0,60	0,69	0,75	0,82					
<p>NOTA: Tc calculada según fórmula California Tc = 0.95 (L³/H)^{0.385}</p> <p>Hidrograma Unitario Triangular Propuesto por el U.S.Bureau of Reclamation</p>									
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	AT [Km2]	L [mm]	C	F	Led [mm]	Ved [m x10 ³]	2*Ved [m x10 ³]	Tb [min]	Qp [m3/s]
50	6,64	73,35	0,49	1,00	35,60	236,41	472,81	156,13	50,47
	6,64	79,50	0,49	1,00	38,59	256,23	512,46	162,80	52,46
	6,64	82,80	0,49	1,00	40,19	266,86	533,73	176,15	50,50
	6,64	90,00	0,49	1,00	43,69	290,07	580,14	216,20	44,72
	6,64	98,40	0,49	1,00	47,76	317,14	634,29	256,25	41,25
25	6,64	68,85	0,49	1,00	33,42	221,90	443,81	156,13	47,38
	6,64	74,00	0,49	1,00	35,92	238,50	477,00	162,80	48,83
	6,64	78,00	0,49	1,00	37,86	251,39	502,79	176,15	47,57
	6,64	82,80	0,49	1,00	40,19	266,86	533,73	216,20	41,14
	6,64	90,00	0,49	1,00	43,69	290,07	580,14	256,25	37,73
15	6,64	63,90	0,49	1,00	31,02	205,95	411,90	156,13	43,97
	6,64	65,50	0,49	1,00	31,79	211,11	422,21	162,80	43,22
	6,64	70,80	0,49	1,00	34,37	228,19	456,38	176,15	43,18
	6,64	76,50	0,49	1,00	37,13	246,56	493,12	216,20	38,01
	6,64	82,80	0,49	1,00	40,19	266,86	533,73	256,25	34,71
5	6,64	54,45	0,49	1,00	26,43	175,49	350,98	156,13	37,47
	6,64	56,00	0,49	1,00	27,18	180,49	360,98	162,80	36,95
	6,64	60,00	0,49	1,00	29,12	193,38	386,76	176,15	36,59
	6,64	66,60	0,49	1,00	32,33	214,65	429,30	216,20	33,09
	6,64	72,00	0,49	1,00	34,95	232,06	464,11	256,25	30,19
CUADRO RESUMEN									
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	QD [m ³ /s]	m ³ /s/km ²							
50	52,46	7,90							
25	48,83	7,35							
15	43,97	6,62							
5	37,47	5,64							

Tabla No.2 Cálculo de caudal sin urbanizar el área de aporte de la colonia Altavista.

OFICINA DE PLANIFICACION DEL AREA METROPOLITANA		ESTACION: "Aeropuerto" (Dpto. San Salvador)							
UNIDAD AMBIENTAL		CUENCA: Río Las Cañas							
Caudales con urbanizacion Altavista.		SUBCUENCA: Arenal Seco.							
CALCULO UTILIZANDO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR									
CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA									
Area de la cuenca (Km ²)	L _c (Km)	TIEMPO DE CONCENTRACION			PERIMETRO DE LA CUENCA (km)				
6,64	5,954	(L _c) ³	H _{max} (m.s.n.m)	H _{min} (m.s.n.m)	K	K*(L _c) ³ /(H _{max} -H _{min})	[K*(L _c) ³ /(H _{max} -H _{min})] ^{0,385}	Tc (min)	14,02
		211,07	820,00	635,96	0,8703	0,9981211	0,9993	60	
USOS DEL SUELO		COEFICIENTE	AREA (km²)	COEFICIENTE PONDERADO					
Area Urbana, Colonias y Comunidades		0,80	2,46	0,51					
Altavista(Condicion Natural)		0,80	0,48						
ALTAVISTA FASE IV		0,15	0,12						
ALTAVISTA FASE V		0,19	0,52						
Area Potencialmente Urbana		0,30	2,94						
Area de Maxima Proteccion.		0,30	0,12						
AREA DE LA CUENCA			6,64						
CALCULO DE TIEMPO BASE					<p>NOTA: Tc calculada según fórmula California Tc = 0.95 (L³/H)^{0.385}</p> <p style="text-align: center;">Hidrograma Unitario Triangular Propuesto por el U.S.Bureau of Reclamation</p>				
D [min]	1.335D	tc	1.602tc	tb					
45,00	60,08	60	96,05	156,13					
50,00	66,75	60	96,05	162,80					
60,00	80,10	60	96,05	176,15					
90,00	120,15	60	96,05	216,20					
120,00	160,20	60	96,05	256,25					
Duracion (min)		Intensidades (mm/min)							
		5	15	25	50				
45,00	1,21	1,42	1,53	1,63					
50,00	1,12	1,31	1,48	1,59					
60,00	1,00	1,18	1,30	1,38					
90,00	0,74	0,85	0,92	1,00					
120,00	0,60	0,69	0,75	0,82					
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	AT [Km²]	L [mm]	C	F	Led [mm]	Ved [m³ x 10³]	2*Ved [m³ x 10³]	Tb [min]	Qp [m³/s]
50	6,64	73,35	0,51	1,00	37,40	248,51	497,02	156,13	53,06
	6,64	79,50	0,51	1,00	40,54	269,35	538,69	162,80	55,15
	6,64	82,80	0,51	1,00	42,22	280,53	561,05	176,15	53,08
	6,64	90,00	0,51	1,00	45,89	304,92	609,84	216,20	47,01
	6,64	98,40	0,51	1,00	50,18	333,38	666,76	256,25	43,37
25	6,64	68,85	0,51	1,00	35,11	233,26	466,53	156,13	49,80
	6,64	74,00	0,51	1,00	37,74	250,71	501,42	162,80	51,33
	6,64	78,00	0,51	1,00	39,77	264,26	528,53	176,15	50,01
	6,64	82,80	0,51	1,00	42,22	280,53	561,05	216,20	43,25
	6,64	90,00	0,51	1,00	45,89	304,92	609,84	256,25	39,66
15	6,64	63,90	0,51	1,00	32,58	216,49	432,99	156,13	46,22
	6,64	65,50	0,51	1,00	33,40	221,91	443,83	162,80	45,44
	6,64	70,80	0,51	1,00	36,10	239,87	479,74	176,15	45,39
	6,64	76,50	0,51	1,00	39,01	259,18	518,36	216,20	39,96
	6,64	82,80	0,51	1,00	42,22	280,53	561,05	256,25	36,49
5	6,64	54,45	0,51	1,00	27,77	184,48	368,95	156,13	39,39
	6,64	56,00	0,51	1,00	28,56	189,73	379,46	162,80	38,85
	6,64	60,00	0,51	1,00	30,60	203,28	406,56	176,15	38,47
	6,64	66,60	0,51	1,00	33,96	225,64	451,28	216,20	34,79
	6,64	72,00	0,51	1,00	36,72	243,94	487,87	256,25	31,73
CUADRO RESUMEN									
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	QD [m³/s]	[m³/s/km²]							
50	55,15	8,30							
25	51,33	7,73							
15	46,22	6,96							
5	39,39	5,93							

Tabla No.3 Cálculo de caudal con área de aporte de la colonia Altavista urbanizada.

OFICINA DE PLANIFICACION DEL AREA METROPOLITANA				ESTACION: " Aeropuerto" (Dpto. San Salvador)					
UNIDAD AMBIENTAL				CUENCA: Río Las Cañas					
Caudales con toda la cuenca urbanizada				SUBCUENCA: Arenal Seco.					
CALCULO UTILIZANDO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR									
CARACTERISTICAS FISICAS DE LA CUENCA									
Area de la cuenca (Km ²)	L _c (Km)	(L _c) ³	H _{max} (m.s.n.m)	H _{min} (m.s.n.m)	K	K ² (L _c) ³ /(H _{max} -H _{min})	[K ² (L _c) ³ /(H _{max} -H _{min})] ^{0.355}	Tc (min)	PERIMETRO DE LA CUENCA (km)
6,64	5,954	211,07	820,00	635,96	0,8703	0,9981211	0,9993	60	14,02
USOS DEL SUELO		COEFICIENTE	AREA (km ²)	COEFICIENTE PONDERADO					
Area Urbana, Colonias y Comunidades		0,80	2,46	0,73					
Altavista(Condicion Natural)		0,80	0,48						
ALTAVISTA FASE IV		0,15	0,12						
ALTAVISTA FASE V		0,19	0,52						
Area Potencialmente Urbana		0,80	2,94						
Area de Maxima Proteccion.		0,30	0,12						
AREA DE LA CUENCA			6,64						
CALCULO DE TIEMPO BASE									
D [min]	1.335D	tc	1.602tc	tb [min]					
45,00	60,08	60	96,05	156,13					
50,00	66,75	60	96,05	162,80					
60,00	80,10	60	96,05	176,15					
90,00	120,15	60	96,05	216,20					
120,00	160,20	60	96,05	256,25					
Intensidades (mm/min)									
Duracion (min)	5	15	25	50					
45,00	1,21	1,42	1,53	1,63					
50,00	1,12	1,31	1,48	1,59					
60,00	1,00	1,18	1,30	1,38					
90,00	0,74	0,85	0,92	1,00					
120,00	0,60	0,69	0,75	0,82					
<p style="text-align: center;">Hidrograma Unitario Triangular Propuesto por el U.S.Bureau of Reclamation</p>									
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	AT [Km2]	L [mm]	C	F	Led [mm]	Ved [m ³ x 10 ³]	2*Ved [m ³ x 10 ³]	Tb [min]	Qp [m3/s]
50	6,64	73,35	0,73	1,00	53,63	356,33	712,67	156,13	76,08
	6,64	79,50	0,73	1,00	58,13	386,21	772,42	162,80	79,08
	6,64	82,80	0,73	1,00	60,54	402,24	804,48	176,15	76,12
	6,64	90,00	0,73	1,00	65,81	437,22	874,44	216,20	67,41
	6,64	98,40	0,73	1,00	71,95	478,03	956,05	256,25	62,18
25	6,64	68,85	0,73	1,00	50,34	334,47	668,95	156,13	71,41
	6,64	74,00	0,73	1,00	54,11	359,49	718,98	162,80	73,61
	6,64	78,00	0,73	1,00	57,03	378,92	757,85	176,15	71,70
	6,64	82,80	0,73	1,00	60,54	402,24	804,48	216,20	62,02
	6,64	90,00	0,73	1,00	65,81	437,22	874,44	256,25	56,87
15	6,64	63,90	0,73	1,00	46,72	310,43	620,85	156,13	66,28
	6,64	65,50	0,73	1,00	47,89	318,20	636,40	162,80	65,15
	6,64	70,80	0,73	1,00	51,77	343,95	687,89	176,15	65,09
	6,64	76,50	0,73	1,00	55,94	371,64	743,27	216,20	57,30
	6,64	82,80	0,73	1,00	60,54	402,24	804,48	256,25	52,32
5	6,64	54,45	0,73	1,00	39,81	264,52	529,04	156,13	56,48
	6,64	56,00	0,73	1,00	40,95	272,05	544,10	162,80	55,70
	6,64	60,00	0,73	1,00	43,87	291,48	582,96	176,15	55,16
	6,64	66,60	0,73	1,00	48,70	323,54	647,09	216,20	49,88
	6,64	72,00	0,73	1,00	52,65	349,78	699,55	256,25	45,50
CUADRO RESUMEN									
PERIODO DE RETORNO [AÑOS]	QD [m ³ /s]	Caudal Especifico m ³ /s/km ²							
50	79,08	11,90							
25	73,61	11,08							
15	66,28	9,98							
5	56,48	8,50							

Tabla No.4 Cálculo de caudal con el área de aporte completamente urbanizada.

ARENAL SECO ANALISIS 2008						
CUENCA ARENAL SECO EN SU ESTADO NATURAL						
Características de la Superficie.	Area Tributaria [km ²]	Coefficiente de Escorrentia	Producto del Area y el coeficiente de escorrentia	Coefficiente de Escorrentia Ponderado.	Periodo de Retorno [Años]	Caudal [m ³ /s]
Area Urbana, Colonias y Comunidades	2,46	0,30	0,74	0,30	25	30,18
Altavista (Condicion Natural)	0,48	0,30	0,14			
Area Potencialmente Urbana	3,57	0,30	1,07			
Area de Maxima Proteccion.	0,12	0,30	0,04			
Area total de subcuenca.	6,64		1,99			
CUENCA ARENAL SECO CON EL AREA DE ALTAVISTA EN SU ESTADO NATURAL						
Características de la Superficie.	Area Tributaria [km ²]	Coefficiente de Escorrentia	Producto del Area y el coeficiente de escorrentia	Coefficiente de Escorrentia	Periodo de Retorno	Caudal [m ³ /s]
Area Urbana, Colonias y Comunidades	2,46	0,80	1,97	0,49	25	48,83
Altavista (Condicion Natural)	0,48	0,30	0,14			
Area Potencialmente Urbana	3,57	0,30	1,07			
Area de Maxima Proteccion.	0,12	0,30	0,04			
Area total de subcuenca.	6,64		3,22			
CUENCA ARENAL SECO CON EL AREA DE ALTAVISTA URBANIZADA						
Características de la Superficie.	Area Tributaria [km ²]	Coefficiente de Escorrentia	Producto del Area y el coeficiente de escorrentia	Coefficiente de Escorrentia	Periodo de Retorno	Caudal [m ³ /s]
Area Urbana, Colonias y Comunidades	2,46	0,80	1,97	0,51	25	51,33
Altavista (Con Proyecto) sin control en los caudales	0,48	0,80	0,38			
Altavista Fase IV	0,12	0,15	0,02			
Altavista Fase V	0,52	0,19	0,10			
Area Potencialmente Urbana	2,94	0,30	0,88			
Area de Maxima Proteccion.	0,12	0,30	0,04			
Area total de subcuenca	6,64		3,39			
CUENCA ARENAL SECO CON TODA EL AREA URBANIZADA						
Características de la Superficie.	Area Tributaria [km ²]	Coefficiente de Escorrentia	Producto del Area y el coeficiente de escorrentia	Coefficiente de Escorrentia	Periodo de Retorno	Caudal [m ³ /s]
Area Urbana, Colonias y Comunidades	2,46	0,80	1,97	0,73	25	73,61
Altavista (Con Proyecto) sin control en los caudales	0,48	0,80	0,38			
Altavista Fase IV	0,12	0,15	0,02			
Altavista Fase V	0,52	0,19	0,10			
Area Potencialmente Urbana	2,94	0,80	2,35			
Area de Maxima Proteccion.	0,12	0,30	0,04			
Area total de subcuenca	6,64		4,86			
Revision Hidraulica						
Condicion de la Subcuenca.	Punto de Control			Incremento en el N.A.M.		
	Comunidad Granados, puente peatonal					
Nivel de aguas maximas que adquiere el punto de control con el area de la urbanizacion Altavista en condicion natural.	Características del canal					
	Ancho [m]	Alto [m]	N.A.M.[m]			
	6,1	2,4	2,08	0,08		
Nivel de aguas maximas que adquiere el punto de control con el area de la urbanizacion Altavista en condicion con proyecto.	6,1	2,4	2,16			

Tabla No.5 Cuadro resumen y presentación de nivel de aguas máximas para un Periodo de Retorno de 25 Años.

Dispositivos de regulación

La Oficina en su papel de ente regulador realiza una revisión de los proyectos que se desarrollan dentro del AMSS, En el caso particular de este estudio la metodología que presento el urbanizador para el dimensionamiento de los sistemas de detención, fue a través del método triangular del racional modificado y confrontados a través del método Abt y Grigg, el cual utiliza como base el método racional, estimándose apropiado para el cálculo de caudal en nuestro régimen de lluvia para cuencas de hasta 2.5 km².

Un aspecto importante de enfatizar es que los volúmenes de detención se dimensionaron utilizando una lluvia con un Periodo de Retorno de 25 años, el caudal de salida permitido corresponde a una frecuencia de 5 años, disposición que permite estar dentro de rango de seguridad que recomienda la bibliografía consultada, acción dispuesta ante la ausencia de una normativa en El Salvador con respecto al tema tratado.

La formula utilizada para el dimensionamiento de los sistemas detección es la siguiente:

$$V = 0.5 T_b (Q_{me} - Q_{evac}) \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen del dispositivo en m³

T_b = Tiempo base del hidrograma de entrada

Q_{me} = Caudal máximo del hidrograma de entrada m³/s

Q_{evac} = Caudal máximo de descarga m³/s

La formula utilizada para la revision de los sistemas detección es la siguiente:

$$V = \frac{60(1+m)T_c Q_f (1-\alpha)^2}{2} \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen del dispositivo en m³

m = Constante igual a 1, para cuenca urbanas

T_c = Tiempo de concentración, en min

Q_f = Caudal Final en m³/seg

α = Relación de caudales inicial y final.

Figura 2. Construcción de dispositivo de regulación



RESULTADOS

La microcuenca del Arenal Seco, en su estado natural genera en el punto de control un caudal de 30.18 m³/s, en la condición de toda el área urbana y semiurbana existente, con el manejo únicamente hidráulico, se obtiene 51.33 m³/s y para el escenario de toda la cuenca urbanizada, con los usos de suelo proyectados, se produce en el punto de control un caudal de 73.61 m³/s; para una precipitación con un periodo de retorno de 25 años.

La experiencia ha permitido introducir cambios en la regulación vigente para el AMSS.

Los resultados obtenidos han permitido replicar las experiencias en el resto del AMSS, permitiendo además que estos resultados sean retomados por las demás instituciones, tanto de carácter gubernamental como académico, logrando así una incidencia a nivel de país.

CONCLUSIONES

Todo desarrollo de urbanizaciones o Legalización de comunidades deberá contar con un dispositivo de control de la escorrentía, de tal forma que el caudal a descargar generado por el proyecto sea equivalente al descargado en su condición natural (Impacto Hidrológico Cero).

El mayor porcentaje del caudal generado por la microcuenca del Arenal Seco es producto del área correspondiente a los asentamientos ilegales existentes, situación que no permite obtener una zona de retiro que asegure la sustentabilidad de las viviendas existentes en el lugar.

El suelo de la zona es muy vulnerable a la erosión generada por la energía del flujo, lo cual produce problemas de socavamiento e inestabilidad de taludes que componen las paredes del cauce.

Es importante que los municipios involucrados consideren, para el caso de legalización de asentamientos, políticas que consideren el uso de dispositivos de control.

Construir las obras necesarias que aseguren la protección de los habitantes que viven en la rivera del cauce del Arenal Seco, para lo que se requiere gestionar estudios especializados en las áreas de desarrollo de cada obra en particular. Continuar el trabajo relacionado con la normativa, en aspectos como diseño, funcionamiento y mantenimiento de los Sistemas de Detención, basados en las experiencias de los sistemas ya construidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Javier Aparicio Mijares (1987), Fundamentos de Hidrología de Superficie, Limusa, Noriega Editores.

Chow, V; D.R. Maidment y L.W. Mays (1994), Hidrología Aplicada, Mc Graw Hill.

Chow, V (1994), Hidráulica de Canales Abiertos, Mc Graw Hill.

Manual de Carreteras SIECA (1996), Tomo 6; Drenaje

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1996), “Técnicas Alternativas Para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”. Guía de Diseño. Santiago de Chile.

Hernán Romero Chavarría (1998), “Seminario Sobre Hidrología e Hidráulica” Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos de El Salvador, Centroamérica.

ADS MEXICANA, Ficha Técnica 2.120 (2000), “Diseño de Sistemas de Detención/Retención para Aguas Pluviales”. www.adsmexicana.com