

**ALTERNATIVAS DE CONTROL DE ESCURRIMIENTO PLUVIAL MEDIANTE
MECANISMOS DE DETENCIÓN A NIVEL DE PREDIO**

**FERNANDO ANDRÉS MELO MAYA
SERGIO DAVID TORRES OVIEDO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

**ALTERNATIVAS DE CONTROL DE ESCURRIMIENTO PLUVIAL MEDIANTE
MECANISMOS DE DETENCIÓN A NIVEL DE PREDIO**

**FERNANDO ANDRÉS MELO MAYA
SERGIO DAVID TORRES OVIEDO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director:
Ing. FRANCISCO MAFLA CHAMORRO**

**Co- Director:
Ing. JAIME INSUASTY ENRÍQUEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor

Artículo 13° del acuerdo No. 005 de enero 26 de 2010, emanado por el Honorable Consejo Académico de la Universidad de Nariño.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Presidente

Jurado A.

Jurado B.

San Juan de Pasto, Febrero de 2014

AGRADECIMIENTOS

No hubiera sido posible realizar este trabajo sin la guía de Dios, además de la ayuda y apoyo incondicional de nuestras familias.

Agradecemos igualmente a nuestro profesor guía, por sus horas de dedicación y consejos durante el proceso de elaboración de la tesis.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. CARACTERIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN..... SAN JUAN DE PASTO	16
1.1 VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE INTERÉS SOCIAL YA CONSTRUIDAS	19
1.1.1 La Cruz II Etapa	19
1.1.2 Urbanización Intisuyu	20
1.1.3 Rincón de Pasto	21
1.1.4 Balcones de la Floresta.....	22
1.1.5 Villas del Norte	23
1.1.6 Urbanización San Mateo	24
1.1.7 Urbanización Altos del Lorenzo.....	25
1.1.8 Urbanización Juan Pablo II.	26
1.2. VIVIENDAS MULTIFAMILIARES DE INTERÉS SOCIAL FUTURAS Y EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN	27
1.2.1 Urbanización San Luis	27
1.2.2 Proyecto multifamiliar San Sebastián.....	28
1.3 PROCESO CONSTRUCTIVO.....	28
2. CARACTERIZACIÓN DE LAS LLUVIAS CRÍTICAS EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO	31
2.1 CONSULTA DE SERIES DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO.....	31
2.2 CONSTRUCCIÓN SERIES DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS	33

2.3	AJUSTE DE LOS DATOS A LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE GUMBEL.....	35
2.3.1	Prueba de Grubbs para detección de datos atípicos	35
2.3.2	Ajuste de distribución por Gumbel	36
2.4	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	39
2.5	LLUVIA DE DISEÑO	42
3.	MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE ESCENARIOS.....	48
3.1	ÁREA DE ESTUDIO.....	48
3.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA Y URBANA	52
3.2.1	Período de retorno de diseño.....	52
3.2.2	Caracterización subcuencas en SWMM.....	52
3.2.3	Simulación de escenarios.	55
3.2.3.1	Escenario de simulación I.	56
3.2.3.2	Escenario de simulación II.	60
3.2.3.3.	Evaluación del impacto.	64
4.	EVALUACIÓN Y DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE DETENCIÓN	66
4.1.	SIMULACIÓN ESCENARIO III.....	67
4.1.1.	Evaluación primer alternativa de detención- Reservoirio	67
4.1.2.	Skatepark.	70
4.2.1.	Evaluación segunda alternativa de detención- Canaletas.....	70
5.	CONCLUSIONES.....	75
6.	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS.....	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sector La Cruz, antes de la construcción	16
Figura 2. Localización de las viviendas de interés social en la ciudad de San Juan de Pasto.	18
Figura 3. Longitud de escorrentía superficial.	40
Figura 4. Localización geográfica del proyecto.	48
Figura 5. Planta urbanística proyecto multifamiliar San Sebastián.	49
Figura 6. Sectorización afluente quebrada Blanco y microcuenca El Blanco.	51
Figura 7. Delimitación subcuencas urbanas para modelación.	53
Figura 8. Ciclo hidrológico natural.	57
Figura 9. Trayecto del agua en una zona sin impermeabilización.	58
Figura 10. Escenario de modelación I.	59
Figura 11. Efectos de la impermeabilización.	62
Figura 12. Modelación de urbanización en SWMM.	62
Figura 13. Escenario de modelación III.	67
Figura 14. Curva característica del depósito.	68
Figura 15. Escenario de modelación IV.	71

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Áreas construidas, La Cruz II etapa.	20
Tabla 2. Áreas construidas, Urbanización Intisuyu.	21
Tabla 3. Áreas construidas, Urbanización Rincón de Pasto.	22
Tabla 4. Áreas construidas, Balcones de la Floresta.	23
Tabla 5. Áreas construidas, Balcones Villas del Norte.....	24
Tabla 6. Áreas construidas, San Mateo.	25
Tabla 7. Áreas construidas, Altos del Lorenzo.....	26
Tabla 8. Áreas construidas, Juan Pablo II.	26
Tabla 9. Áreas construidas, urbanización San Luis y multifamiliar San Sebastián.	27
Tabla 10. Valores totales anuales de precipitación.....	32
Tabla 11. Series de máximas y períodos de retorno.....	34
Tabla 12. Parámetros estadísticos de serie de máximas.....	36
Tabla 13. Procedimiento de Grubbs para determinación de valor atípico. (a) Series de máximas en orden ascendente. (b) Tabla de valores críticos. ..	37
Tabla 14. Distribución de probabilidad con valor del error estándar de ajuste.....	38
Tabla 15. Precipitaciones para distintos períodos de retorno.	38
Tabla 16. Tabla de Arges para Tc en cuencas.	42
Tabla 17. Valores de Período de Retorno T (Años).	44
Tabla 18. Coeficientes de desagregación.....	45
Tabla 19. Comparación Intensidades de lluvia.	47
Tabla 20. Características físicas de la microcuenca hidrográfica.	52

Tabla 21. Valores promedio de almacenamiento en depresión.	54
Tabla 22. Parámetros de Horton.	55
Tabla 23. Áreas urbanización	61
Tabla 24. Áreas cuenca Urbana	61
Tabla 25. Comparación de canaletas.	70
Tabla 26. Caudales máximos según alternativa de detención.	73

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Determinación del año hidrológico.	33
Gráfica 2. Ajuste de métodos a datos de precipitaciones.	39
Gráfica 3. Lluvia de diseño TR= 25 años.	45
Gráfica 4. Hidrograma para TR= 25 años.	60
Gráfica 5. Hidrograma para TR= 25 años.	63
Gráfica 6. Evaluación del impacto (ΔQ).	64
Gráfica 7. Hidrogramas de entrada y salida del depósito.	69
Gráfica 8. Hidrograma primera alternativa de detención.	69
Gráfica 9. Hidrogramas escenario I, II y III.	70
Gráfica 10. Curva característica del depósito.	72
Gráfica 11. Hidrograma segunda alternativa de detención.	72
Gráfica 12. Hidrogramas escenario I, II y IV.	73

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Planos arquitectónicos viviendas de interés social en la ciudad de San Juan de Pasto.....	81
ANEXO B. Fotografías proceso constructivo de una vivienda de interés social tipo.....	88
ANEXO C. Ajuste de distribución de probabilidad de precipitaciones máximas en 24 h por Gumbel.....	92
ANEXO D. Determinación pendiente de la cuenca – método de horton.....	96
ANEXO E. Lluvia de diseño para tiempo de retorno 3 y 10 años.....	100
ANEXO F. Familia de curvas IDF – EMPOPASTO S.A.....	103
ANEXO G Delimitación cuenca urbana.....	104
ANEXO H. Método empleado por swmm.....	105
ANEXO I. Modelación escenario I con TR=3años Y TR=10años.....	107
ANEXO J. Técnicas de infiltración y almacenamiento.....	110
ANEXO K. Detalles planos reservorio y canaletas.....	116

RESUMEN

El drenaje urbano en Colombia, y en la mayor parte del mundo es tratado de un modo convencional de manera que el agua pluvial que cae en una zona, es captada y evacuada de la forma más rápida posible. Los análisis y soluciones para el alcantarillado pluvial son localizados, sin tener en cuenta efectos en zonas bajas. En los últimos años el enfoque para el manejo de la escorrentía superficial ha ido cambiando, a un concepto más integral, considerando la transformación en la superficie del suelo, su modificación por la impermeabilización y el consiguiente cambio en el ciclo del flujo superficial.

Una de las razones para el cambio de la superficie del suelo, es la construcción de nuevas infraestructuras, en Colombia existe una acelerada construcción de viviendas de interés social debido a la migración de población rural a zonas urbanas, y como solución a problemas de déficit habitacional.

La investigación tomó como zona de estudio la construcción de la urbanización de interés social San Sebastián, dividiendo el estudio en cuatro escenarios: el primero corresponde a la zona sin modificación con extensa cobertura vegetal, el segundo a la incorporación de la urbanización, y el tercero y cuarto a la urbanización provista de sistemas de drenaje urbano sostenible. El proceso de impermeabilización de esta zona se ve reflejado en aumentos de volumen de escorrentía, y mayor aporte de caudal de descarga en el punto final. Este aumento de volumen es tratado y mitigado por medio del diseño de sistemas de drenaje urbano sostenible, como reservorio y canaletas, que recrean condiciones originales de la zona, antes de ser impermeabilizada, reduciendo y retardando caudales pico, evitando posibles problemas derivados de insuficiencias de drenaje como inundaciones.

PALABRAS CLAVE:

- Sistemas de drenaje urbano sostenible.
- Esguerrimiento pluvial.
- Impermeabilización.
- Viviendas de interés social.
- Caudal de descarga.

ABSTRACT

The urban drainage in Colombia, and in the most part of the world is treated of a conventional way so that the rainwater that falls in a zone, is gained and evacuated as fast possible way. The analyses and solutions for the pluvial sewage system are localized, without taking effects at low zones into account. In recent years the approach for the handling of the superficial runoff has gone changing, to a most integral concept, considering the transformation on the surface of the ground, his modification for waterproofing and the consequent change in the cycle of the superficial flow.

The construction of new infrastructures is one of the reasons for the change of the surface of the ground, in Colombia there is an accelerated residential construction of social interest due to rural population's migration to urban zones, as well as solution to problems of housing deficit.

The construction of social interest urbanization San Sebastian was taken like survey zone of the investigation, dividing the study into four scenes: The first corresponds to the zone without modification with extensive vegetable coverage, the second one to the incorporation of the urbanization, and the third and fourth to the urbanization provided with sustainable urban drainage systems. The process of waterproofing of this zone is reflected in increased volume of runoff, beside of greater contribution of discharge rate at the end point. This increase in volume is treated and mitigated through of the systems design of sustainable urban drainage, as reservoir and canals, in this way that original conditions of the zone before being waterproofed are recreated, reducing and delaying peak flow, avoiding potential problems arising from This increase in volume is addressed and mitigated through the design of sustainable urban drainage systems, as reservoirs and canals that recreate original conditions of the area, before being waterproofed, reducing and delaying peak flows, avoiding potential problems arising from inadequacies drain as floods.

KEY WORDS

- Sustainable Urban Drainage Systems.
- Storm water runoff.
- Waterproofing
- State-subsidized dwelling.
- Peak flow.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades provoca un aumento considerable de los escurrimientos pluviales, generando inundaciones y la insuficiencia de los sistemas de drenaje establecidos.

El desarrollo de nuevas actividades urbanas provoca cambios que, desde el punto de vista hidrológico, se traducen en una modificación importante de los cauces naturales de drenaje, la pérdida de capacidad de infiltración de los suelos, la disminución del almacenamiento superficial y el aumento de contaminantes en el agua.

El aumento constante de las áreas urbanizadas hace que las crecidas en zonas urbanas sean cada vez mayores, más violentas y más rápidas.¹

El esquema sanitarista del siglo pasado propone soluciones tradicionales que buscan drenar y evacuar rápidamente los escurrimientos pluviales, reemplazando el sistema natural de drenaje por elementos artificiales como calles, cunetas y colectores. Esto además de requerir inversiones en grandes obras para eliminar las inundaciones en zonas bajas que reciben los aportes pluviales generados por la urbanización, crea una preocupación permanente por mantener la capacidad de las soluciones a medida que crecen las ciudades.

Las nuevas soluciones propuestas buscan resolver los problemas atacando las causas más que los síntomas, manejando los caudales generados en el lugar donde se producen, manteniendo los cauces naturales y recuperando la capacidad de infiltración y almacenamiento previo a la urbanización. Para esto se utilizan nuevas técnicas y elementos como estanques y lagunas urbanas de almacenamiento, obras de infiltración, soleras discontinuas, canales de pastos y cauces abiertos especiales para zonas urbanas.²

En este trabajo de investigación se presenta una propuesta novedosa sobre el diseño de elementos de detención de aguas lluvias para viviendas de interés social ubicadas en la ciudad de San Juan de Pasto.

¹ FERNÁNDEZ, B. Drenaje de aguas lluvias urbanas en zonas semiáridas. En www.redalyc.org, ARQ, n. 57. julio, 2004. 64 – 67 p.

² FERNÁNDEZ, B; MONTT, José y RIVERA, Pedro. Nuevos Enfoques para el Drenaje Urbano de Aguas Lluvias. Centro de Aguas Urbanas. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008. 12 p.

1. CARACTERIZACIÓN DE LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN SAN JUAN DE PASTO

La vivienda de interés social en Colombia ha sido una de las prioridades del Gobierno nacional debido al gran número de personas sin acceso a una vivienda de calidad, es decir la baja oferta de vivienda. El progresivo aumento de la población en el sector urbano ha desencadenado una serie de hacinamientos los cuales carecen de conexiones a las redes de servicios básicos, además se encuentran ubicados en zonas con una alta vulnerabilidad sísmica y sin una legalidad de la propiedad.

En la región antes de implementar el programa de viviendas de interés social se podía observar la construcción de viviendas con materiales reciclables y ausencia de servicios públicos tales como el caso del Barrio la Cruz perteneciente a la Comuna 6 de la ciudad de Pasto (Figura 1).

Figura 1. Sector La Cruz, antes de la construcción



La solución planteada a estos problemas fue el desarrollo de proyectos de viviendas de interés social a través de INVIPASTO, por medio de éstos se buscó y se sigue buscando el mejoramiento de calidad de vida de las familias objeto de atención por medio de la construcción de viviendas con estándares de calidad técnica conduciendo a la reactivación del sector intervenido, la valorización de los inmuebles y de su entorno inmediato.

La necesidad de una pronta solución a la escases de vivienda y la construcción en masa desencadenó el inicio de proyectos sin estudios previos suficientemente sólidos que garanticen el aseguramiento de la calidad en las viviendas a lo largo del tiempo.

Por su parte el garantizar una calidad adecuada de las construcciones no solamente involucra los aspectos constructivos de las mismas, sino que se deben evaluar otros aspectos como la infraestructura de servicios públicos, conectividad y aspectos ambientales. El observar estas construcciones en épocas de lluvia intensa hace pensar que adolecen de una planeación adecuada, puesto que generan impermeabilización de los suelos donde las unidades de vivienda están construidas, provocando inundaciones no solo en los sitios de construcción, sino aguas abajo de ellos; y de esta manera no se cumple con el objetivo de preservar una buena calidad de vida de los habitantes.

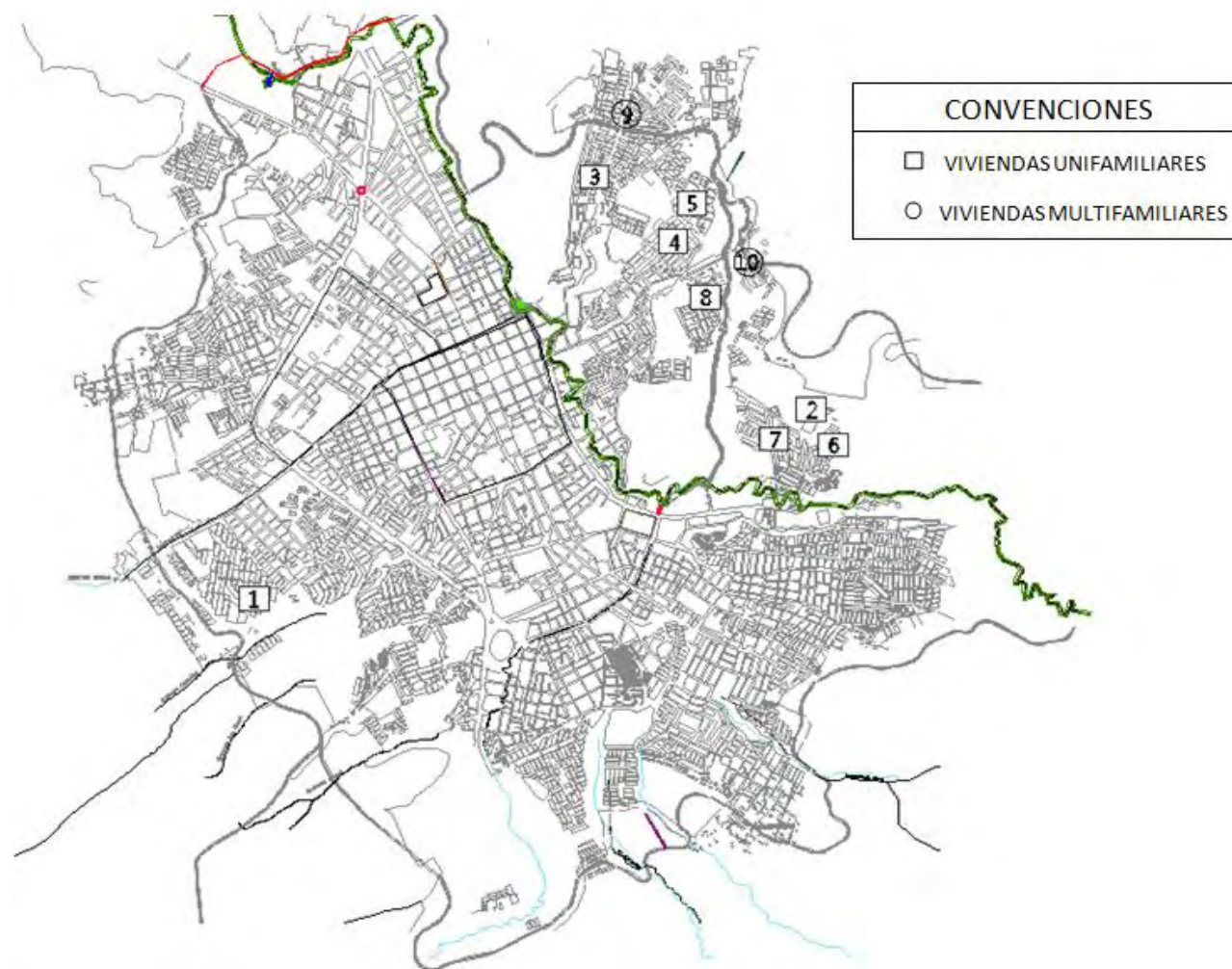
Como el propósito de esta investigación es proponer alternativas para el control del escurrimiento pluvial mediante mecanismos de detención a nivel de predio; es necesario realizar una caracterización de las viviendas de interés social ya construidas en la ciudad y que se están ejecutando, esta caracterización permitirá identificar la vivienda objeto de estudio para así dar paso a las alternativas de solución.

En la Figura 2, se presenta un mapa general de la ciudad de San Juan de Pasto, en el cual se ubican las viviendas de interés social que existen y están en proceso de construcción, las cuales son:

1. La Cruz segunda etapa.
2. Urbanización Intisuyu.
3. Rincón de Pasto.
4. Balcones de la Floresta.
5. Villas del Norte.
6. Urbanización San Mateo.
7. Urbanización Altos del Lorenzo.
8. Urbanización Juan Pablo II.
9. Urbanización San Luis.
10. Urbanización Multifamiliar San Sebastián.

A continuación se presenta una síntesis de los diferentes tipos de viviendas de interés social con base en información suministrada por INVIPASTO y las curadurías urbanas de San Juan de Pasto.

Figura 2. Localización de las viviendas de interés social en la ciudad de San Juan de Pasto.



1.1 VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE INTERÉS SOCIAL YA CONSTRUIDAS

La vivienda de interés social unifamiliar es aquella con un área mínima de 35 m², estas viviendas pueden o no ser viviendas en serie y constan de dos (2) a tres (3) alcobas, un (1) baño, sala comedor, cocina, un patio de ropas y en general no cuentan con ningún acabado.

Para su construcción en la ciudad de Pasto se buscaron en primer lugar lotes públicos habilitados con el fin de realizar un inventario que permitiera establecer los lotes con las mejores alternativas de suelo.

Las viviendas unifamiliares de interés social fueron los primeros planes de construcción desarrollados, estos proyectos se encuentran ubicados en comunas de diferentes puntos de la ciudad de Pasto, entre ellos están:

1.1.1 La Cruz II Etapa. En la Ciudad de San Juan de Pasto, en el Barrio La Cruz perteneciente a la Comuna 6, se desarrolló un asentamiento humano en un proceso de urbanización informal, el cual permitió a treinta y cinco familias acceder a una precaria solución habitacional, que presentaba múltiples carencias asociadas a la calidad de los espacios, al saneamiento básico, a la vulnerabilidad sísmica y a la legalidad de la propiedad. Por este motivo estas viviendas se construyeron con el apoyo de la Alcaldía de Pasto, Gobierno Nacional (Ministerio de ambiente y Vivienda), INVIPASTO, Asociación Escolar María Goretti, y la Comunidad del Barrio la Cruz; con lo cual se buscó elevar la calidad de vida de 35 familias beneficiarias.

a. Esquema de financiación: Este proyecto tuvo un costo total de seiscientos treinta y tres millones, quinientos noventa y dos mil setecientos sesenta pesos (\$633.592.760), para un costo total por vivienda de trece millones novecientos dos mil, novecientos ochenta y seis pesos (\$13.902.986), el cual se realizó en el año 2009.

b. Descripción de la obra ejecutada: Las obras ejecutadas se desarrollaron en la comuna 6 Barrio La Cruz. El predio tiene un área de 3.190 metros cuadrados, con capacidad habitacional para 35 viviendas, planteadas en lotes unifamiliares de 4.5 x 10 metros con zonas verdes, calles, andenes. Cabe anotar que la urbanización se construyó en tres manzanas, así:

Manzana A trece (13) casas.

Manzana B once (11) casas.

Manzana C once (11) casas.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: Las 35 viviendas de interés social (V.I.S) en la Urbanización La Cruz II etapa se construyeron utilizando un

sistema estructural aporticado con concreto reforzado 3000 psi de resistencia a la compresión.

La mampostería se hizo en muros en ladrillo limpio, pisos en concreto simple, cubierta en teja ondulada de asbesto cemento, enchape de baño en la zona húmeda, puerta metálica acceso principal con cerradura, puerta metálica para patio con pasador, ventanearía metálica calibre 20, puerta en madera para baño, vidrios espesor 4 milímetros.

Tabla 1. Áreas construidas, La Cruz II etapa.

Área construida una (1) vivienda	45 m ²
Área total construida 35 viviendas	1575 m ²

d. Planos: ver Anexo A.

1.1.2 Urbanización Intisuyu. El proyecto denominado "urbanización Intisuyu" se encuentra localizado en el Sector Alto de la Carolina de la ciudad de Pasto. Este proyecto contempló la construcción de seis (6) viviendas bifamiliares en sitio propio, para lo cual el beneficiario contaba con el lote donde se desarrolló su vivienda nueva, el beneficiario solicitó crédito a INVIPASTO, para lograr el cierre financiero que les permitió construir una vivienda tipo de acuerdo a la licencia de construcción.

- a. Esquema de financiación:** Este proyecto se ejecutó bajo la modalidad de pago contraescritura en el año 2008 y tuvo un costo de cincuenta y cinco millones seiscientos noventa y un mil, quinientos pesos (\$55.691.500).
- b. Descripción de la obra ejecutada:** Las viviendas son bifamiliares, cinco (5) de ellas en primer piso y una (1) en segundo piso, estas cuentan con los espacios mínimos de sala - comedor, dos alcobas, cocina con mesón en concreto y lavaplatos en acero inoxidable, un baño con sus aparatos sanitarios y un lavadero. Todas las viviendas cuentan con redes de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica.
- c. Características técnicas de la obra ejecutada:** La estructura cumple con la Norma Sismoresistente para zonas de riesgo sísmico alto; la estructura de cimentación, columnas y vigas fueron construidas en concreto de tres mil (3000) psi de resistencia, piso en concreto simple, muros en ladrillo común, cubierta en teja de fibrocemento y estructura en perfiles metálicos.

Las viviendas tienen sus instalaciones sanitarias, hidráulicas y eléctricas en cumplimiento de las Normas RAS2000 y RETIE.

Las viviendas se entregaron repelladas, pintadas y con enchapes en mesón de cocina y baño, estas se diseñaron para tres pisos, el primer piso tiene ampliación hacia el patio y los del segundo piso hacia el tercer piso. Las áreas respectivas de los tipos de construcción, son:

Tabla 2. Áreas construidas, Urbanización Intisuyu.

Área construida apartamento 1 piso	55,26 m ²
Área construida apartamento 1 piso con ampliación en patio	62,26 m ²
Área construida apartamento 1 piso con ampliación en terraza	37,25 m ²
Área construida apartamento 2 pisos	114, 52 m ²
Área total construida	373,56 m ²

d. **Planos:** ver anexo A.

1.1.3 Rincón de Pasto. El lote donde se construyeron las viviendas se encuentra ubicado entre las carreras 31 y 32 entre calles 34 y 35, en el sector de Aranda, al nororiente de la ciudad de Pasto. El proyecto contempló la construcción de veinte (20) viviendas de interés social.

a. Esquema de financiación: De las veinte (20) viviendas catorce (14) contaron con subsidio por desembolso anticipado para su construcción, el cual se hizo en el año 2004, y tuvo un costo total de doscientos sesenta y tres millones ciento treinta mil pesos (\$263.130.000).

b. Descripción de la obra ejecutada: La vivienda consta de sala-comedor, cocina, dos alcobas, baño y un patio; contiene un mesón de cocina con su lavaplatos, aparato sanitario, lavamanos y ducha, y en el patio un lavadero, los pisos van en placa en concreto.

Las obras de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, y redes telefónicas se encuentran funcionando. Las vías vehiculares de acceso e internas a la urbanización se encuentran pavimentadas. Este proyecto también cuenta con una certificación por parte de la empresa de aseo en donde existe el compromiso de recolectar las basuras dos (2) veces por semana.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: La construcción cuenta de una cimentación en zapatas con vigas de amarre y de contrapeso, estructura aporticada de columnas y vigas en concreto reforzado de tres mil (3000) psi de resistencia, mampostería en ladrillo común y cubierta en teja de asbesto

cemento. La carpintería metálica está compuesta por 2 puertas y 5.8 m² de ventanas, los pisos son en concreto, y los aparatos sanitarios son: un (1) sanitario, un (1) lavamanos, un (1) lavaplatos en acero inoxidable y una ducha.

Tabla 3. Áreas construidas, Urbanización Rincón de Pasto.

Área lote	77 m ²
Área de la unidad básica construida	47,70 m ²
Área libre	27,30 m ²
Área total de construcción	954 m ²

d. Planos: ver Anexo A.

1.1.4 Balcones de la Floresta. El proyecto denominado “Balcones de la Floresta” se encuentra localizado en el sector de la Floresta de la ciudad de Pasto, y cuenta con quince (15) viviendas.

a. Esquema de financiación: No se encontró información disponible de la financiación de este proyecto.

b. Descripción de la obra ejecutada: Las viviendas en su diseño arquitectónico presentan las siguientes características:

- ✓ Es una estructura aporticada, su mampostería es en ladrillo común visto; los pisos y terminados son en repello; su puerta de acceso y al patio son en lamina y las demás en madera. Cuenta con un lavadero prefabricado, y un patio sin cerramiento con piso en recebo.

Los acabados en su fachada, son:

- ✓ Estructura vista terminada en repello.
- ✓ Muros en ladrillo común visto.
- ✓ Alfajía de ventanas en ladrillo.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: La estructura cuenta con un sistema aporticado en cumplimiento de la Norma Sismoresistente para zonas de riesgo sísmico alto, con estructura de concreto de 3000 psi de resistencia, y un refuerzo con acero 60000 psi.

Tabla 4. Áreas construidas, Balcones de la Floresta.

Área de lote	50 m ²
Área construida	35 m ²
Área total construida	525 m ²

d. Planos: ver Anexo A.

1.1.5 Villas del Norte. El lote donde se construyeron las viviendas se encuentra ubicado en el barrio Nueva Aranda III y el barrio Nuevo Horizonte, al nororiente de la ciudad de Pasto. El proyecto contempló la construcción de diecinueve (19) viviendas de interés social.

a. Esquema de financiación: No se encontró información disponible de costos de financiación.

b. Descripción de la obra ejecutada: Las viviendas son bifamiliares de tres pisos, éstas cuentan con los espacios mínimos de sala - comedor, dos alcobas, cocina con mesón en concreto y lavaplatos en acero inoxidable, un baño con sus aparatos sanitarios y un patio de ropas. Los apartamentos del segundo y tercer piso tienen su patio de ropas en la terraza. Todas las viviendas cuentan con redes de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: La construcción consiste en una cimentación en zapatas con vigas de amarre y de contrapeso, estructura aporticada de columnas y vigas en concreto reforzado de tres mil (3000) psi de resistencia, mampostería en ladrillo común, lavadero prefabricado, pisos en concreto, los aparatos sanitarios son: un (1) sanitario, un (1) lavamanos, un (1) lavaplatos en acero inoxidable y patio sin cerramiento con piso en recebo. Los acabados en su fachada son: muros en repello y pintura; y ventanas metálicas.

Tabla 5. Áreas construidas, Balcones Villas del Norte.

Área lote	72 m ²
Área construida primer apartamento	54,85 m ²
Área construida segundo apartamento	57,55 m ²
Área construida tercer apartamento	57,55 m ²
Área construida terraza	14,46 m ²
Área total construida	1042 m ²
Área total construida del proyecto	3511,39 m ²

d. Planos: ver Anexo A.

1.1.6 Urbanización San Mateo. El proyecto está ubicado en un terreno montañoso en la Carrera 3 Número 29-19 sobre el sector Altos de la Carolina en la ciudad de san Juan de Pasto, lo constituyen dos manzanas A (12 casas) y B (9 casas) con un total de 21 viviendas.

El proyecto cuenta con alcantarillado separado de aguas lluvias y negras, redes de acueducto y energía eléctrica, las vías están construidas en recebo con sardineles y andenes en concreto.

a. Esquema de financiación: El proyecto se realizó en el año 2004 y tuvo un costo total de ciento cincuenta y siete millones, ochocientos setenta y ocho mil pesos (\$157.878.000).

b. Descripción de la obra ejecutada: Las vivienda constan de sala comedor, alcoba, baño con pañete a nivel de ducha; accesorios como sanitario, ducha, lavamanos, cocina con mesón e instalación de lavaplatos en acero inoxidable; lavadero esmaltado con instalación de llaves y patio de ropas.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: El proyecto se desarrolló en un lote de terreno montañoso, las viviendas se construyeron en lotes de 60 metros cuadrados con un área construida de 32.87 m² y se prevé un área de futura ampliación de 58.03 m².

El piso es en concreto, muros divisorios en ladrillo, cubierta en teja de asbesto cemento. El andén es en concreto simple. La estructura es un sistema aporticado de columnas y vigas en concreto reforzado de 3000) psi de

resistencia y acero de 60.000 psi, cimentados sobre vigas de amarre y apoyados sobre zapatas.

Tabla 6. Áreas construidas, San Mateo.

Área lote	60 m ²
Área construida	32,87 m ²
Área total construida	690,27

d. Planos: No se encontró información disponible acerca de los planos de este proyecto.

1.1.7 Urbanización Altos del Lorenzo. El proyecto denominado "urbanización Altos de Lorenzo" se encuentra localizado en el área urbana del municipio de San Juan de Pasto al sur oriente en el sector Puerres en la calle 18 con carrera 9 Este.

El proyecto se diseñó para ciento veintitrés (123) viviendas, de las cuales a veintitrés (23) unidades se invirtieron subsidios para la construcción de vivienda nueva y fueron cobrados por la modalidad de cobro contra escritura.

Las veintitrés (23) unidades habitacionales están repartidas en 3 manzanas así:

Manzana E= 1 vivienda.

Manzana D= 3 viviendas.

Manzana B=19 viviendas.

a. Esquema de financiación: El proyecto se realizó en el año 2005, con un costo total de ocho millones, once mil quinientos pesos (\$8.011.500).

b. Descripción de la obra ejecutada: Las viviendas se distribuyen de la siguiente manera: salón, alcoba, cocina con mesón en concreto y lavaplatos en acero inoxidable, un baño con sus aparatos sanitarios y un lavadero.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: el diseño estructural corresponde al sistema de pórticos estructurales, la cubierta es en teja de eternit apoyada sobre correas de madera.

Tabla 7. Áreas construidas, Altos del Lorenzo.

Área lote	42 m ²
Área construida	33,6 m ²
Área total de construcción	772,8 m ²

d. Planos: No se encontró información disponible sobre los planos de este proyecto.

1.1.8 Urbanización Juan Pablo II. El proyecto denominado “urbanización Juan Pablo II” se ubica en la carrera 22 No. 33-15, nororiente de la ciudad de Pasto, y cuenta con servicio público directo de buses.

a. Esquema de financiación: Este proyecto inició el primero (1) de marzo de dos mil siete (2007) con una fecha de terminación de treinta (30) de diciembre de dos mil doce (2012), tuvo un costo total de mil setecientos veintisiete millones, quinientos treinta mil pesos (\$1.727.530.000).

b. Descripción de la obra ejecutada: El proyecto consta de doscientos tres (203) viviendas, distribuidas en 17 manzanas, en lotes de 72 m² y un área construida de 47 m².

La vivienda consta de sala-comedor, cocina, dos alcobas, baño y patio adecuado para futura ampliación.

Tabla 8. Áreas construidas, Juan Pablo II.

Área lote	72 m ²
Área construida	47 m ²
Área total de construcción	9541 m ²

c. Características técnicas de la obra ejecutada: La vivienda se construyó en estructura sismo resistente, compuesta por un sistema de pórticos conformados por columnas y vigas en concreto reforzado. Cimentación conformada por un sistema de zapatas centrales, excéntricas y de lindero con vigas de contrapeso y vigas de amarre en concreto reforzado.

d. Planos: ver Anexo A.

1.2. VIVIENDAS MULTIFAMILIARES DE INTERÉS SOCIAL FUTURAS Y EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

En la ciudad de San Juan de Pasto debido al crecimiento urbanístico acelerado, resultado de los asentamientos de poblaciones vulnerables por la violencia; y que han salido del campo hacia la ciudad en busca de un “mejor estilo de vida”; ha obligado a las instituciones gubernamentales a proveer de viviendas y servicios de calidad a esas poblaciones.

Este proceso de urbanización sin control, ha agudizado en gran medida el rompimiento del equilibrio del medio ambiente y la falta de espacios en buenas condiciones para la construcción, en consecuencia para un mejor aprovechamiento de los terrenos, los proyectos que se adelantan en la ciudad se hacen en torres de apartamentos (proyectos de vivienda de interés social en altura). A continuación, en la Tabla 9, se describen algunos de los proyectos que se desarrollan en la ciudad.

Tabla 9. Áreas construidas, urbanización San Luis y multifamiliar San Sebastián.

TIPOS DE VIVIENDA					
Urbanización	Área de apartamento (m ²)	Área de lote (m ²)	Núm. de torres	Núm. total de apartamentos	Tipo cubierta
San Luis	40	50000	26	1108	Terraza concreto
Multifamiliar San Sebastián	41	19694	20	400	Terraza concreto

1.2.1 Urbanización San Luis. El proyecto denominado "urbanización San Luis" se encuentra localizado en la Cra. 39 No.26-54 de la ciudad de Pasto.

a. Esquema de financiación: El proyecto inició el 30 de enero de 2013 con un costo total de cuarenta y cuatro mil millones de pesos (\$44.000.000.000), para un valor por edificio de mil quinientos cuarenta millones de pesos (\$1.540.000.000).

b. Descripción de la obra ejecutada: Este proyecto contempla la construcción de mil ciento ocho (1108) unidades de apartamentos, en un número de veintiséis (26) torres, el equipamiento de la urbanización consta de tres (3) jardines infantiles, dos (2) polideportivos, un (1) salón comunal y tres (3) guarderías.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: La cimentación consta de zapatas corridas y vigas de amarre inferiores, la estructura consta de muros estructurales en hormigón armado, cada losa de entrepiso es maciza en hormigón armado y la mampostería es muro estructural de carga.

d. Planos. Ver Anexo A.

1.2.2 Proyecto multifamiliar San Sebastián. El proyecto denominado "proyecto multifamiliar San Sebastián" se encuentra localizado en el Sector de la Floresta, carrera 27 No. 32B-40 de la ciudad de Pasto.

a. Esquema de financiación: El proyecto inició el 18 de enero de 2013 con un costo total de dieciséis mil millones (\$16.000.000.000) para un costo por edificio de ochocientos cuarenta y dos mil millones de pesos (\$842.000.000).

b. Descripción de la obra ejecutada: Este proyecto contempla la construcción de veinte (20) torres de apartamentos cada una con cinco (5) pisos, para un total de cuatrocientos (400) unidades de apartamentos, cada apartamento consta de sala-comedor, cocina, lavandería, baño completo y dos (2) alcobas.

c. Características técnicas de la obra ejecutada: El sistema constructivo utilizado es mampostería estructural, cumpliendo con todas las normas de sismo resistencia como lo certifica la Curaduría Urbana.

La cimentación consta de zapatas corridas y vigas de amarre inferiores, la estructura consta de muros estructurales en hormigón armado, cada losa de entrepiso es maciza en hormigón armado y la mampostería es muro estructural de carga.

d. Planos: ver Anexo A.

1.3 PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo en general que se lleva a cabo, para una vivienda tipo de interés social es (Ver Anexo B):

a. Descapote y limpieza del lote: Una vez definida la ubicación exacta de la obra en el terreno con todos los espacios que llevara dicha estructura se procede a realizar las actividades preliminares como demoliciones si fuera necesario, el terreno deberá quedar lo mejor desplantado posible, libre de vegetación por medio de descapote manual o mecánico.

b. Movimiento de tierras: Paso seguido están las excavaciones necesarias según las especificaciones para la ejecución de la obra, además de la ejecución

de todas las obras de explanación imprescindibles para la correcta nivelación de las áreas destinadas a la construcción.

- c. Excavación, armado y fundición de la cimentación:** La cimentación dependerá del material del suelo presente en la obra, en las viviendas de interés social, los elementos estructurales de la cimentación son generalmente la combinación de zapatas y vigas existiendo un amarre de la zapata a la viga permitiendo de esta manera un conjunto estructural homogéneo.
- d. Armado y fundición de columnas:** Las columnas deberán cumplir las medidas y especificaciones requeridas por la zona de amenaza sísmica alta de la ciudad de San Juan de Pasto de manera que se logre un confinamiento en los muros para poder soportar las fuerzas inducidas por el sismo.
- e. Construcción de mampostería:** Los muros están constituidos con ladrillos trabados, tienen que ser bien pegados y continuos desde la cimentación hasta la cubierta y sin aberturas.
- f. Instalaciones hidrosanitarias:** Por economía, resistencia y durabilidad el PVC es el producto más utilizado para la construcción de las instalaciones sanitarias en donde a lo largo de la tubería se incluyen válvulas para regular el gasto de agua, controlar presiones, permitir la entrada de aire y dejarlo escapar.

La evacuación de aguas lluvias y aguas negras se hace por separado y el diámetro de los desagües dentro de la vivienda deben ser de 4 pulgadas, mientras que para la conexión a la acometida debe aumentarse a 6 pulgadas.
- g. Construcción de vigas aéreas y vigas canal:** Su armadura o canastilla es similar a la de las columnas, generalmente se usan varillas longitudinales continuas número 3. El concreto de las vigas y columnas debe ser inspeccionado para revisar que se cumpla con la resistencia especificada.
- h. Colocación de la cubierta:** La estructura de cubierta está anclada a las vigas que confinan y amarran los muros. El tipo de cubierta utilizado es generalmente el asbesto-cemento con una pendiente del 27%.
- i. Sistema de almacenamiento de agua:** El tanque de almacenamiento deberá tener una capacidad mínima de 1,5 metros cúbicos de agua potable y el enchape interno que garantice mayor perdurabilidad del líquido en condiciones de consumo para el hogar beneficiario.

En las Tablas del Anexo A se presenta un resumen de los diferentes tipos de vivienda de interés social que se han construido y se están construyendo en la ciudad.

Los diferentes tipos de viviendas de interés social que se encuentran en la ciudad de Pasto tienen una característica en común, el propósito de su construcción es solucionar los problemas de escasos y mala calidad de vivienda.

En la ciudad se pueden identificar dos tipos de viviendas una tipo unifamiliar ya construida en los proyectos antiguos de vivienda de interés social, y una vivienda multifamiliar las cuales se van a seguir implementando en construcciones de este tipo.

Por la condición de ser viviendas de interés social, hace que en su construcción prime una reducción de los costos, lo que puede ocasionar la omisión de algunos pasos en la planeación del proyecto o prescindir de estudios tales como mecanismos de control de escurrimiento pluvial que ayudarían a mitigar impactos ambientales negativos y también proporcionarían ahorros en costos de mantenimiento posteriores en las urbanizaciones.

Al diseñar mecanismos de control de escurrimiento pluvial se busca mitigar los cambios de las condiciones naturales del terreno que pueden ocasionar diferentes problemas; para el desarrollo de este trabajo de investigación se tomará como base de estudio **“LA URBANIZACIÓN MULTIFAMILIAR SAN SEBASTIAN”**, lo cual permitirá un modelamiento característico para una posterior generalización.

2. CARACTERIZACIÓN DE LAS LLUVIAS CRÍTICAS EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO

El primer aspecto que se debe conocer es el volumen de escorrentía que debe ser capturado y transportado, con el fin de mantener los caudales pico de la zona en un estado original evitando su crecida debido a los efectos del desarrollo urbano.

Tanto para el diseño de los sistemas de drenaje convencionales como para los sistemas de drenaje sostenible es necesario conocer la variación de la distribución de precipitaciones con su duración, intensidad y frecuencia.

Estos estudios son la base para poder realizar análisis de crecidas mediante modelos precipitación-escorrentía como el SWMM (Storm Water Management Model) que permitirán la realización de un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras de detención de aguas lluvias.

2.1 CONSULTA DE SERIES DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO

La información de las precipitaciones de la ciudad de San Juan de Pasto con la cual se trabajó se encuentra registrada en la estación Obonuco (Lat: 0111 Norte; Long: 7718 Oeste) ubicada a 5 kilómetros de San Juan de Pasto.

Los datos obtenidos mediante el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales) comprenden un período entre 1985 – 2012, y constan de registros de valores totales diarios de precipitación (mm).

Estos datos fueron ordenados para obtener un registro de valores totales anuales de precipitación en milímetros por cada mes con un promedio de precipitación final (Tabla 10).

Tabla 10. Valores totales anuales de precipitación.

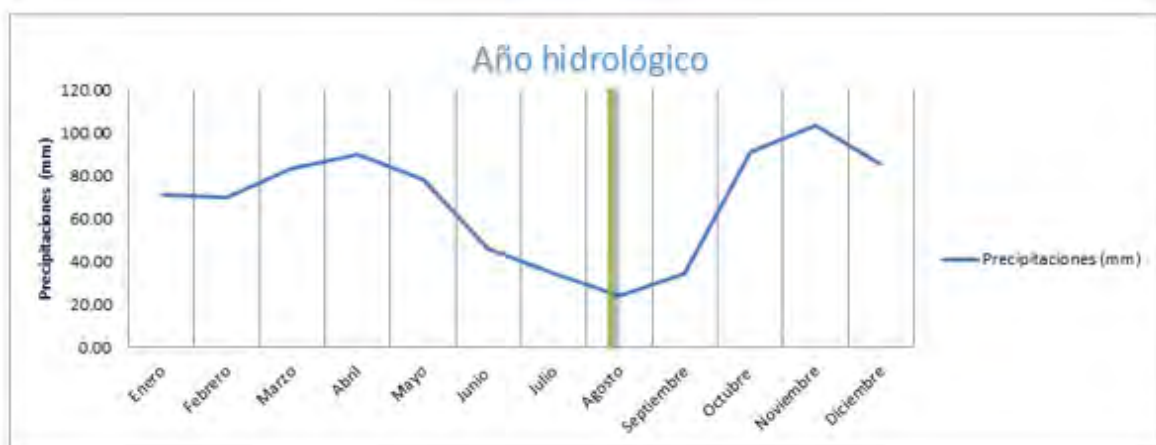
VALORES TOTALES ANUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985	70.70	33.30	52.40	95.90	82.10	31.20	15.80	20.50	63.90	60.00	52.10	61.20
1986	61.10	67.70	85.90	61.10	75.80	25.50	17.70	24.60	21.10	143.40	76.10	38.80
1987	40.80	28.20	92.60	147.10	112.90	19.40	23.60	30.20	16.90	115.20	52.50	66.8 8
1988	33.50	42.90	29.70	124.10	97.20	71.20	30.80	70.00	59.70	62.20	159.80	75.90
1989	75.80	51.90	77.10	55.90	27.40	85.80	30.90	23.30	24.60	66.60	28.70	72.20
1990	42.80	99.60	50.40	72.10	55.20	54.70	38.10	11.30	22.90	112.90	30.70	37.30
1991	60.40	86.80	92.20	68.30	69.80	28.00	38.00	24.80	18.70	25.80	114.50	45.20
1992	22.10	32.00	30.4 3	52.30	53.10	10.00	19.20	14.90	29.80	40.50	41.80	47.00
1993	89.30	87.70	107.70	66.30	74.50	21.90	21.50	17.50	15.60	63.10	176.00	109.50
1994	98.50	36.30	94.50	120.70	88.50	22.80	16.20	26.90	32.40	45.80	120.40	74.50
1995	29.10	43.00	41.20	66.90	106.80	41.00	43.70	22.20	4.00	72.10	113.10	39.60
1996	105.40	97.30	132.00	121.40	108.80	62.20	16.70	43.10	16.70	82.40	84.10	120.00
1997	149.90	65.60	75.40	62.90	46.50	89.80	23.00	11.20	54.70	68.70	97.00	48.40
1998	9.90	44.20	67.80	45.10	155.40	28.50	42.30	29.70	29.10	72.80	90.60	53.80
1999	114.20	174.40	91.40	79.30	58.50	68.60	22.50	20.90	102.80	110.80	308.00	178.20
2000	107.80	128.00	67.00	125.50	177.70	90.50	38.60	19.20	66.70	57.40	51.90	42.90
2001	56.60	59.70	33.10	55.50	50.60	34.60	30.20	21.90	32.10	25.70	101.50	74.90
2002	73.70	35.70	35.70	75.00	66.10	62.40	29.10	22.30	53.70	133.30	87.10	52.20
2003	20.90	36.30	95.60	75.50	57.90	51.90	40.40	5.50	50.20	91.30	98.10	62.60
2004	68.30	15.50	69.10	75.7 3	51.70	34.20	25.0 3	10.10	26.4 3	155.00	94.90	64.00
2005	72.20	75.40	114.0 3	48.3 3		43.1 3	40.10	31.60	60.70	143.70	105.30	188.80
2006	60.60	66.60	162.00	130.00	26.50		77.10	30.00	11.70	88.3 3	111.40	112.50
2007	50.90	39.80	98.10	63.0 3	40.50	36.7 3	42.90	43.80	10.90	182.50	116.6 3	149.10
2008	119.30	111.30	135.80	89.10	141.90	39.90	17.90	34.50	33.30	111.00	91.00	138.70
2009	139.80	83.90	117.20	69.70	34.20	31.30	15.80	18.70	22.20	94.80	101.10	77.40
2010	4.40	82.60	47.20	138.30	84.10	51.50	72.10	11.10	48.50	127.00	214.50	101.40
2011	67.50	136.60	129.90	135.00	98.90	52.00	94.80	14.20	29.00	109.50	84.40	151.00
2012	152.00	103.30	84.50	113.60		13.4 3			5.30			
Promedio	71.34	70.20	83.29	89.86	78.56	46.20	34.58	24.22	34.71	91.29	103.33	85.27

2.2 CONSTRUCCIÓN SERIES DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS

El conocimiento de la intensidad y frecuencia de la precipitación a lo largo de los años permite caracterizar y deducir el patrón de comportamiento en una zona determinada y permitir su análisis, este comportamiento de precipitaciones se ve reflejado en el año hidrológico.

Con el promedio de precipitaciones totales mensuales para cada año objeto de estudio es posible realizar un gráfico en el que se observa el mes con valor más bajo de precipitación el cual indica el inicio del año hidrológico.

Gráfica 1. Determinación del año hidrológico.



Para el período de estudio comprendido entre los años 1985-2012, el inicio del año hidrológico se da en el mes de Agosto con finalización en el mes de Julio, es en este ciclo de tiempo donde se obtienen los valores de intensidad máxima en 24 horas, resultando una serie de máximas.

Estos valores máximos de precipitación indican los eventos extremos que han sucedido en la región y a través del período de retorno (Tr), promedio de años en que un evento de igual o mayor magnitud ocurra, es posible conocer el tiempo en promedio para que esa precipitación máxima vuelva a suceder. Este período de retorno se lo obtiene a través de una serie anual de máximos como el inverso de la probabilidad³. Los valores de máximas y tiempos de retorno se resumen en la Tabla 13.

³ CAMPOS ARANDA, Daniel. Procesos del Ciclo Hidrológico. México: Universidad Autónoma de San Luís Potosí, 2006. 172. p.

Tabla 11. Series de máximas y períodos de retorno.

SERIES DE MÁXIMAS (mm)		Máx. en 24 h			
AÑO	Máx. en 24 h	Dato	En Orden	P	TR (Años)
1985 - 1986	27.10	1	135.00	0.0357	28
1986 - 1987	42.40	2	46.33	0.0714	14
1987 - 1988	36.40	3	46.20	0.1071	9
1988 - 1989	20.60	4	42.40	0.1429	7
1989 - 1990	21.60	5	40.10	0.1786	6
1990 - 1991	28.70	6	36.40	0.2143	5
1991 - 1992	26.80	7	35.50	0.2500	4
1992 - 1993	27.00	8	33.50	0.2857	4
1993 - 1994	33.40	9	33.40	0.3214	3
1994 - 1995	30.40	10	33.40	0.3571	3
1995 - 1996	25.00	11	32.00	0.3929	3
1996 - 1997	35.50	12	30.60	0.4286	2
1997 - 1998	32.00	13	30.40	0.4643	2
1998 - 1999	29.80	14	29.80	0.5000	2
1999 - 2000	135.00	15	29.60	0.5357	2
2000 - 2001	18.80	16	29.30	0.5714	2
2001 - 2002	28.70	17	29.10	0.6071	2
2002 - 2003	30.60	18	28.70	0.6429	2
2003 - 2004	29.30	19	28.70	0.6786	1
2004 - 2005	46.33	20	27.60	0.7143	1
2005 - 2006	40.10	21	27.10	0.7500	1
2006 - 2007	27.60	22	27.00	0.7857	1
2007 - 2008	29.10	23	26.80	0.8214	1
2008 - 2009	33.50	24	25.00	0.8571	1
2009 - 2010	33.40	25	21.60	0.8929	1
2010 - 2011	46.20	26	20.60	0.9286	1
2011 - 2012	29.60	27	18.80	0.9643	1
n		27			

2.3 AJUSTE DE LOS DATOS A LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE GUMBEL

El objetivo del análisis de frecuencia de cualquier información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad.⁴

La aplicación de las funciones de distribución de probabilidad, tiene como objetivo determinar de acuerdo con la importancia de las obras por diseñar, la magnitud de los parámetros de diseño que mejor se ajusten a los datos reales y que su extrapolación hacia los períodos de retorno seleccionados sean los más adecuados⁵, para obtener un dimensionamiento óptimo de las obras de drenaje.

Generalmente en los estudios hidrológicos que se realizan, se utilizan las funciones de distribución de probabilidad más comunes en la hidrología como son: Normal, Exponencial, Log-Normal, Gamma, Gumbel y Doble Gumbel.

En este caso al contar con datos de precipitaciones máximas se utiliza la distribución de probabilidad de Gumbel o de valores extremos usada para valores máximos aleatorios sacados de poblaciones suficientemente grandes.⁶

2.3.1 Prueba de Grubbs para detección de datos atípicos. El procedimiento de análisis de frecuencia de datos hidrológicos empieza por comprobar su confiabilidad, de tal manera que el conjunto de valores represente con precisión las características pluviográficas de la zona y evitar la introducción de valores atípicos. Existen varias técnicas para detección de valores atípicos en un conjunto de datos entre ellos la prueba de Grubbs, en la serie de máximas en estudio existe un valor de precipitación muy alejado al resto de los valores (1985-1986:135mm) al cual se le aplica la prueba para verificar su validez.

El procedimiento de la prueba de Grubbs es el siguiente⁷ :

- ✓ Ordenar los datos de mayor a menor.
- ✓ Decidir si el valor mayor X_n o menor X_1 es el dato sospechoso, en el caso de estudio es $X_1 = 135$.
- ✓ Calcular el promedio $\bar{X}$ y la desviación estándar S del conjunto de datos.
- ✓ Se calcula T teniendo en cuenta que se considera sospechoso el primer valor.

⁴ CHOW, Ven Te. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: McGraw Hill, 1994. 667 p.

⁵ Disponible en internet: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.-100/737/A6.pdf> [citado el 4 de mayo de 2013].

⁶ MONSALVE, Germán. Hidrología en la Ingeniería. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1995. 384 p.

⁷ Taylor y Cihon, 2004 citado por URIBE AMÓN, Iván. Guía metodológica para la selección de técnicas de depuración de datos. Tesis de maestría en ingeniería. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. ingeniería de sistemas, 2010. 120 p.

$$T = \frac{\bar{X} - X_1}{S} \quad [1]$$

- ✓ Escoger el nivel de confianza para la prueba y calcular T y compararlo con el valor correspondiente de acuerdo con una tabla de valores críticos. Si el valor de T es mayor que el valor crítico, se dice que el dato es un valor extremo, en la Tabla 13 se resume el procedimiento.

2.3.2 Ajuste de distribución por Gumbel. Antes de comprobar el ajuste de los datos a una probabilidad de Gumbel es necesario su caracterización por medio de elementos estadísticos que resuman los datos, y que servirán en el análisis posterior del ajuste de probabilidad, en la Tabla 14, se resume algunos de ellos.

Tabla 12. Parámetros estadísticos de serie de máximas.

Media	31,15
Varianza	48,37
Desvío	6,95
Asimetría Sesgada	0,55
Asimetría No Sesgada	0,62
Curtosis Sesgada	2,87
Curtosis No Sesgada	3,66
Coefficiente de Variación	0,22

El análisis de frecuencia se realiza de tal manera que la serie se ajuste a una distribución teórica de probabilidad, existen diversos métodos para estimar los parámetros de las distribuciones, en este estudio los métodos a utilizar son:

- ✓ Método de los momentos.
- ✓ Método por máxima verosimilitud.
- ✓ Método de momentos L.
- ✓ Método de máxima entropía.

Las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Obonuco fueron ajustadas a la distribución de Gumbel, para ello se recurrió al empleo de una hoja de cálculo.

El procedimiento se muestra en el Anexo C: Ajuste de Distribución de Probabilidad de Precipitaciones Máximas en 24 h. En la Tabla 14, se muestra un resumen de las funciones de distribución de probabilidad con el valor del error estándar de ajuste (EEA).

Tabla 13. Procedimiento de Grubbs para determinación de valor atípico. (a) Series de máximas en orden ascendente. (b) Tabla de valores críticos.

(a)

Determinación de valores atípicos		
AÑO	Max en 24hrs	Orden > a <
1985 - 1986	27.10	135.00
1986 - 1987	42.40	46.33
1987 - 1988	36.40	46.20
1988 - 1989	20.60	42.40
1989 - 1990	21.60	40.10
1990 - 1991	28.70	36.40
1991 - 1992	26.80	35.50
1992 - 1993	27.00	33.50
1993 - 1994	33.40	33.40
1994 - 1995	30.40	33.40
1995 - 1996	25.00	32.00
1996 - 1997	35.50	30.60
1997 - 1998	32.00	30.40
1998 - 1999	29.80	29.80
1999 - 2000	135.00	29.60
2000 - 2001	18.80	29.30
2001 - 2002	28.70	29.10
2002 - 2003	30.60	28.70
2003 - 2004	29.30	28.70
2004 - 2005	46.33	27.60
2005 - 2006	40.10	27.10
2006 - 2007	27.60	27.00
2007 - 2008	29.10	26.80
2008 - 2009	33.50	25.00
2009 - 2010	33.40	21.60
2010 - 2011	46.20	20.60
2011 - 2012	29.60	18.80
Media $\bar{X}$	35.00	
Desviación	21.12	

(b)

Tabla de valores críticos							
N	95%	N	95%	N	95%	N	95%
3	1.15	11	2.24	19	2.53	27	2.69
4	1.46	12	2.29	20	2.56	28	2.71
5	1.67	13	2.33	21	2.58	29	2.72
6	1.82	14	2.37	22	2.6	30	2.74
7	1.94	15	2.41	23	2.62	40	2.87
8	2.03	16	2.44	24	2.64	50	2.96
9	2.11	17	2.47	25	2.66	60	3.03
10	2.18	18	2.5	26	2.67	100	3.21
TCalculado=		4.74					
Nivel significancia		5%					
Ttabla		2.69					

Como Tcalculado > Ttabla, el dato de 135mm se lo considera atípico respecto a la serie de máximas, y no se tiene en cuenta en los análisis posteriores.

Tabla 14. Distribución de probabilidad con valor del error estándar de ajuste.

Distribución	Método de Ajuste	E.E.A.
Gumbel	Momentos	1,56
	Máxima Verosimilitud	1,34
	Momentos L	1,48
	Máxima Entropía	1,52

El Error Estándar de Ajuste (EEA) sirve como comparación entre las distribuciones para determinar la distribución con mejor comportamiento real de la precipitación, es preciso además verificar la distribución de mejor ajuste de manera gráfica.

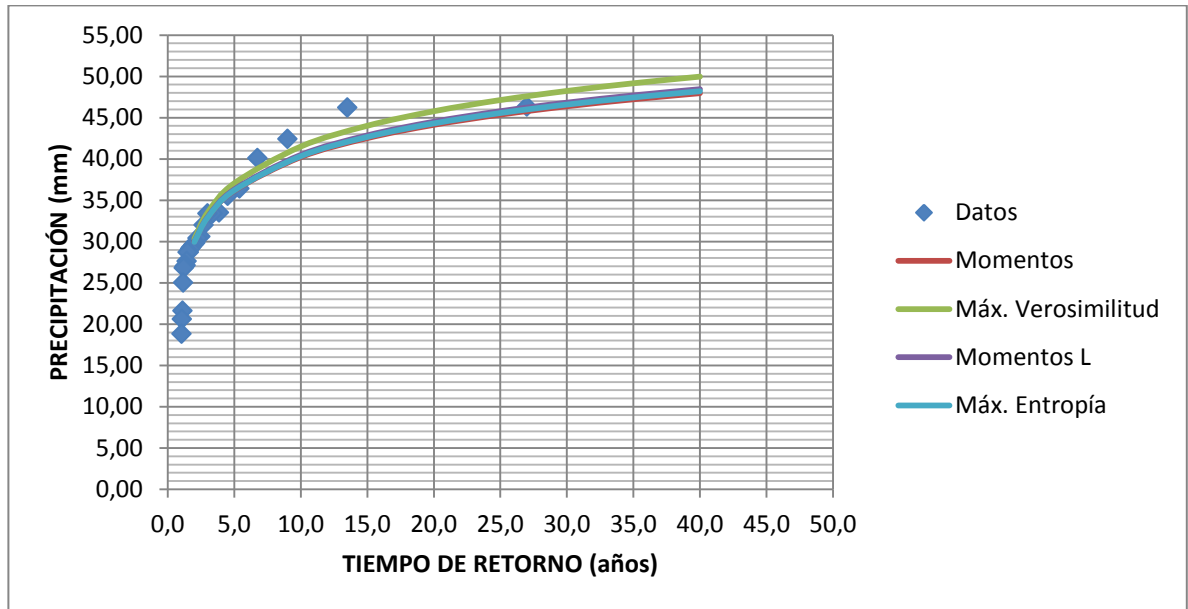
En la Tabla 15, se presentan las precipitaciones para diferentes tiempos de retorno en los métodos de ajuste utilizados en el estudio y en la Gráfica 2 se muestran los resultados gráficos.

Tabla 15. Precipitaciones para distintos períodos de retorno.

Recurrencia: T	Valor de Precipitación			
	Momentos	Máxima Verosimilitud	Momentos L	Máxima Entropía
2	30,01	30,32	29,98	29,94
3	32,92	33,51	32,97	32,90
5	36,16	37,05	36,30	36,19
10	40,23	41,51	40,49	40,33
15	42,53	44,02	42,85	42,67
20	44,13	45,78	44,51	44,30
25	45,37	47,13	45,78	45,56
30	46,38	48,24	46,82	46,59
35	47,23	49,17	47,69	47,45
40	47,96	49,97	48,45	48,20

De acuerdo al Error Estándar de Ajuste el método de distribución que más se ajusta a la serie de lluvias es el método de máxima verosimilitud con un error de 1,34, este resultado se puede comprobar también gráficamente.

Gráfica 2. Ajuste de métodos a datos de precipitaciones.



2.4 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es una de las variables más importantes a determinar en la planificación del drenaje urbano, este parámetro permite conocer el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida⁸.

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000 en el título “D.4.3.7 Tiempo de concentración”, determina a este como la suma del tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector.

$$T_c = T_e + T_r \quad [2]$$

El Soil Conservation Service (SCS) propone estimar T_e con base en la velocidad media de escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la distancia de recorrido.

$$T_e = \frac{L}{(60 \cdot V_s)} \quad \text{donde} \quad V_s = a \cdot S^{1/2} \quad [3]$$

- ✓ “a” es una constante que depende del tipo de superficie, con un valor de 2 para pastos y patios.

⁸ Disponible en Internet: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf> [citado el 15 de Mayo de 2013].

- ✓ “L” corresponde a la longitud máxima de flujo de escorrentía superficial, esta longitud máxima igual a 200 m, se forma en la urbanización San Sebastián, en la parte baja como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3. Longitud de escorrentía superficial.



- ✓ **Pendiente (S):** Es un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y por consecuencia la formación del caudal pico.

Existen varios métodos que permiten conocer la pendiente de una cuenca, su escogencia depende de la cantidad de información disponible para la obtención de unos datos acertados. Para el cálculo de la pendiente se utilizará el criterio de Horton que consiste en trazar una malla de cuadrados sobre la proyección planimétrica de la cuenca orientándola según la dirección de la corriente principal.

La determinación de la pendiente se la puede apreciar en el Anexo D: Determinación Pendiente de la Cuenca – Método de Horton.

Por lo tanto la pendiente de la cuenca = $0.1298 \text{ m/m} = 12.98\%$.

Al reemplazar datos en la Ecuación [3], se tiene:

$$V_s = 2 * 0,1298^{\frac{1}{2}} = 0,72 m/s$$

$$T_e = \frac{200}{60 * 0,72}$$

$$T_e = 4,63 \text{ minutos}$$

El tiempo de recorrido se puede calcular como⁹:

$$T_r = \frac{L_c}{(60 * V)} \quad [4]$$

La velocidad (V) se asume, teniendo en cuenta las velocidades admisibles según la norma para los colectores pluviales según el título D.4.3.10 y D.4.3.11 del RAS 2000, comprendiendo un rango de 0,75 m/s – 10 m/s, la longitud corresponde al colector más alejado que va a captar el agua lluvia, en la urbanización San Sebastián el colector más alejado tiene una longitud de 148,77m, hasta conectarse a la red principal, mientras que para la zona urbanizada aguas abajo, la longitud es de 1607,64m, hasta descargar en el Río Pasto. Por lo tanto:

$$L_c = 148,77m + 1607,64m = 1756,41m$$

Reemplazando datos en la Ecuación [5] se tiene:

$$T_r = \frac{1756,41}{(60 * 2,80)}$$

$$T_r = 10,45 \text{ minutos}$$

Por lo tanto, al reemplazar en la Ecuación [2] se obtiene:

$$T_c = 4,63 + 10,45$$

$$T_c = 15,08 \text{ minutos}$$

La obtención del Tc también se lo puede hacer por medio de fórmulas empíricas de bibliografía especializada, sin embargo estos resultados se deben contrastar con los registros de las estaciones de aforo de cada zona, en base a hidrogramas de gasto y tiempo de duración de la lluvia para diferentes tiempos de retorno.

A manera de comprobar el Tc obtenido con base en la norma RAS 2000, se presentan hidrogramas de caudal Vs tiempo, para diferentes períodos de retorno,

⁹ MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO RAS. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título D. Bogotá D.C: El instituto, 2000. 102 p.

en los 4 escenarios¹⁰. Ver Anexo D: Determinación del tiempo de concentración en base a los hidrogramas de caudal.

El Tc obtenido gráficamente de acuerdo a registros de caudal en el punto final de descarga, varían de 11 a 14 minutos, estos datos concuerdan con los resultados obtenidos con las ecuaciones empíricas y las ecuaciones recomendadas por la norma RAS 2000 para el cálculo del Tc; estos tiempos de concentración corresponden al total de la cuenca comprendiendo la cuenca perteneciente a la urbanización San Sebastián y la cuenca urbana aguas abajo.

Una de las tablas empíricas más utilizadas para la determinación del Tc es la de Arges (Tabla 16), la cuenca posee un área total de 46.74 ha, asemejándose a los datos de las tablas de Arges.¹¹

Tabla 16. Tabla de Arges para Tc en cuencas.

Área (hectáreas)	Tc (minutos)
0,4	1,4
2,0	3,5
4,0	4,0
40,5	17,0
202,5	41,0
405,0	75,0

Por lo tanto el tiempo de concentración (Tc) para el proyecto de acuerdo al análisis previo es de **15 minutos**, el cual se obtuvo con las ecuaciones recomendadas por la norma RAS 2000, el cual es el reglamento que rige técnicamente el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia.

2.5 LLUVIA DE DISEÑO

Para efectos de la simulación de la microcuenca en el programa SWMM es necesario tener en cuenta, el ciclo hidrológico, visto a nivel de un área específica, éste se puede esquematizar como un estímulo, constituido principalmente por la precipitación. Ante este estímulo el área de estudio responde mediante el escurrimiento (o caudal) en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren

¹⁰ TÉMEZ, José. Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. Centro de estudios Hidrográficos del CEDEX. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. En: Revista de obras públicas [en línea]. No. 3.430 (Febrero, 2003) Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008 12. p. [citado el 23 de noviembre de 2013].

¹¹ Disponible en Internet: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo-%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf> [citado el 23 de noviembre de 2013].

varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otro, y que están controlados por las características geomorfológicas de esta área.

Uno de los aspectos que participa en el ciclo hidrológico, es la precipitación, por esta razón es un dato necesario para la simulación del evento, obtenida a través de un análisis de frecuencia de eventos extremos de precipitación y según un tiempo de retorno ya definido.

En Colombia el diseño de los sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales se rige por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, aquí se estipulan parámetros, como el tiempo de retorno, que servirán como punto base para la selección de un tiempo de retorno para esta investigación, ya que al no existir aun en Colombia un reglamento que guíe el diseño de elementos de drenaje urbano sostenible como en países tales como Estados Unidos, Reino Unido o Australia, se carece de una normativa concisa en materia de drenaje urbano sostenible, con criterios ya estandarizados.

Los sistemas convencionales de drenaje urbano son diseñados para captar, transportar y evacuar lo más rápido posibles volúmenes de agua, por otra parte un elemento de un sistema de drenaje urbano sostenible deberá ser diseñado para eventos extremos, con períodos de retorno altos, evitando así inundaciones. Por lo tanto su diseño debe ser integral desde el punto de vista de la calidad y la cantidad trabajando con todo el espectro de eventos de lluvia, desde los eventos frecuentes y de pequeña cantidad hasta los eventos raros y de gran magnitud.

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por¹²:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad [5]$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T , fijando el riesgo de falla admisible R , el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada durante la vida útil de la obra, esta vida útil dependerá de varios factores como la importancia de la obra y el número de habitantes de la zona urbana.

¹² CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. Hidrología Aplicada. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 1994. 584 p.

En la Tabla 17, se presenta el valor T para varios riesgos permisibles R y para la vida útil n de la obra, esta tabla concuerda con la fórmula empleada por Chow¹³.

De esta manera se deben considerar todos estos factores para la escogencia del período de retorno, con una vida útil de 15 años y un riesgo del 45%, el tiempo de retorno obtenido es de 25 años, además coincidiendo con Chow 1994 para drenaje urbano en grandes ciudades.

Tabla 17. Valores de Período de Retorno T (Años).

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144

El período de retorno indica el promedio en años, en que una determinada lluvia es igualada o superada, esta precipitación se obtiene a partir de los eventos de lluvias sucedidos en años anteriores, como en algunas ocasiones no es posible la relación directa de los datos de series de lluvias de una zona con el tiempo de retorno estipulado, se hace necesario el análisis y obtención de los modelos de distribución, los cuales proyectan y permiten la relación de la lluvia para un período de retorno específico. Según los análisis realizados en capítulos anteriores, el modelo con mayor aproximación a la serie de datos, es el de máxima verosimilitud con un error estándar de ajuste de 1,34. A partir de esta curva de distribución es posible conocer la lluvia de diseño para diferentes períodos de retorno.

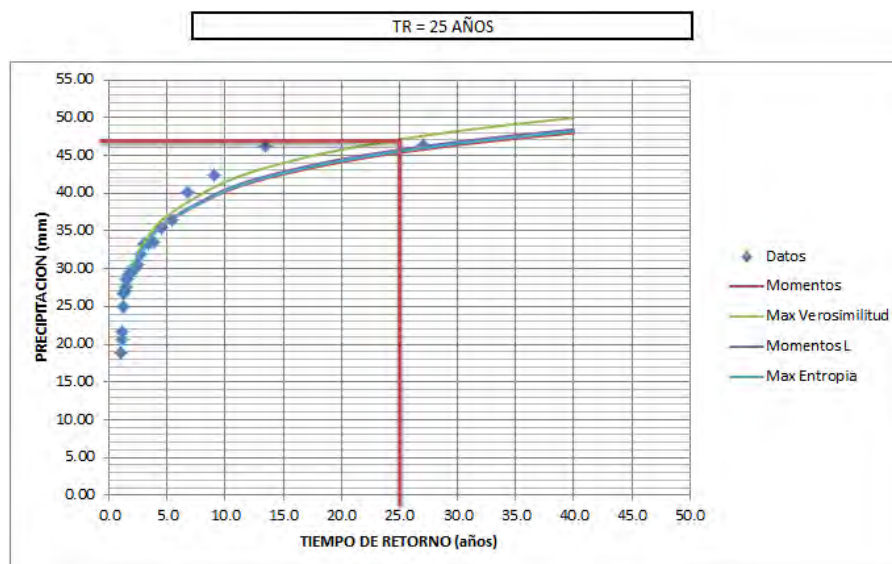
A continuación, se muestra la obtención de la lluvia de diseño para un tiempo de retorno de 25 años.

A manera de comparar la variación de la lluvia de diseño en función del tiempo de retorno en el Anexo E: Lluvia de diseño para tiempo de retorno de 3 y 10 años, se presentan los respectivos cálculos.

¹³ MONSALVE, G. Hidrología en la ingeniería. Santa Fe de Bogotá; Colombia: Segunda edición. Editorial Alfa Omega S.A. 1999382. p.E

- **Selección de lluvia para TR=25 años.**

Gráfica 3. Lluvia de diseño TR= 25 años.



Con el Tc anteriormente calculado de 15 minutos es posible relacionar la lluvia característica de un día con la lluvia del tiempo de concentración, para esto se utilizan los coeficientes de desagregación (Tabla 18), los cuales permiten desagregar lluvias mayores diarias a lluvias de menor duración¹⁴.

Tabla 18. Coeficientes de desagregación.

Relación	Coeficiente
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1 h	0,74
1 h/24 h	0,42
6 h/24 h	0,72
8 h/24 h	0,78
10 h/24 h	0,82
12 h/24 h	0,85
24 h/1 día	1,10

¹⁴ TUCCI, E.M, Carlos. Hidrología: Ciencia e aplicacao. 2 ed. Porto Alegre: Universidade/UFDRGS, 1997. 637 p.

En la Gráfica 3, se observa que la lluvia de un día para un TR= 25 años es de 47 mm, para llegar hasta la lluvia de diseño correspondiente a 15 minutos se sigue el siguiente procedimiento:

$$P_{1dia} = 47mm \quad (\text{Obtenida en Gráfica 3})$$

$$P_{15min} = X$$

$$\frac{P_{24h}}{P_{1dia}} = 1,10 \quad \rightarrow \quad P_{24h} = 1,10 * 47 mm = 51,7 mm$$

$$\frac{P_{1h}}{P_{24h}} = 0,42 \quad \rightarrow \quad P_{1h} = 0,42 * 51,7 mm = 21,71 mm$$

$$\frac{P_{30 min}}{P_{1h}} = 0,74 \quad \rightarrow \quad P_{30min} = 0,74 * 21,71 mm = 16,10 mm$$

$$\frac{P_{15 min}}{P_{30 min}} = 0,70 \quad \rightarrow \quad P_{15 min} = 0,70 * 16,10 mm = 11,27 mm$$

Por lo tanto, con base en un período de retorno de 25 años, la lluvia de diseño es de 11,27 mm/15min.

$$\frac{11,27mm}{15 min} = \frac{0,75mm}{min} \quad \frac{0,75mm}{min} * \frac{60 min}{1 h}$$

$$X = 45.08 mm/h$$

Los datos de lluvias calculados anteriormente son el resultado del proceso de análisis de frecuencia mediante el método Gumbel, realizado en esta investigación. En la ciudad de San Juan de Pasto la empresa de obras sanitarias Empopasto S.A, recomienda una familia de curvas, en donde para una duración y tiempo de retorno determinado se obtiene la intensidad de precipitación:

$$I = \frac{C*Tr^a}{(D+b)^n} \quad [7]$$

$$C= 354,07078 \quad a=0,2542168 \quad n=0,8210733 \quad b=10,63$$

De esta manera se obtiene una serie de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), para cada estación, En el Anexo F, se puede observar la familia de curvas de la estación Obonuco.

Actualmente uno de los métodos para la obtención de IDF, es por medio de modelos matemáticos no lineales ajustados a datos diarios, la siguiente es la Ecuación de curvas IDF para datos diarios con ajuste no lineal, para la ciudad de Pasto:

$$I = \frac{a*Tr^m}{(D+c)^n} \quad [8]$$

a= 305 m=0,012 c=9,14 n=0,6319

Para comprobar la validez y confiabilidad de los cálculos obtenidos, en la Tabla 19 se presenta una comparación de los resultados de lluvia obtenidos en la presente investigación con las ecuaciones de curvas IDF de Empopasto, para un período de retorno de 25 años.

Tabla 19. Comparación Intensidades de lluvia.

	I (mm/h)
Investigación	45,08
Curvas IDF Empopasto	55,95
Ecuación Método no lineal	42,26

Como se puede observar en la Tabla 19 los resultados varían de 42,26 a 55,95 mm/h; Es importante destacar que los coeficientes de la familia de curvas IDF de EMPOPASTO fueron analizados con datos entre los años 1972-1994; por lo cual existe una diferencia entre la intensidad calculada en esta investigación y la que se obtiene con las curvas IDF de EMPOPASTO, debido a que no se está incluyendo 18 años los cuales sí se tienen en cuenta en la presente investigación.

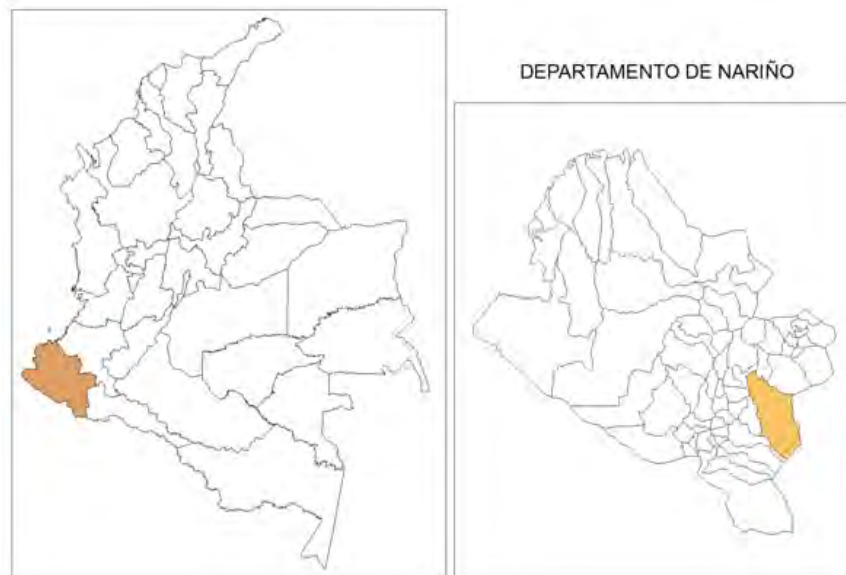
3. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE ESCENARIOS.

El análisis se dividió en 4 escenarios, el primero corresponde a la cuenca en su estado anterior, sin la construcción de la urbanización Multifamiliar San Sebastián, el segundo teniendo en cuenta la incorporación de la nueva urbanización a la cuenca y con la red de drenaje convencional, y los escenarios III y IV presentan elementos de control de escurrimiento pluvial que contribuyen al equilibrio hidrológico.

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

San Juan de Pasto es ciudad capital del departamento de Nariño en el sur de Colombia ocupa un área de 1.181 km² y está situada entre 1°12'52.48" de latitud norte y 77°16'41.22" de longitud occidental¹⁵.

Figura 4. Localización geográfica del proyecto.



Fuente: esta investigación.

El proyecto multifamiliar San Sebastián zona de estudio, es un desarrollo urbano de viviendas de interés social que se encuentra ubicado en el noreste de San Juan de Pasto, proyectado para un total de 400 unidades de apartamentos.

¹⁵ Disponible en Internet: <http://www.pasto.gov.co/index.php/nuestro-municipio> [citado el 17 de Mayo de 2013].

Su área total es de 19694 m², de las cuales el 54.92% es impermeable (vías, parqueaderos, aceras y tejados) y el 45.08% corresponde a zonas verdes.

Figura 5. Planta urbanística proyecto multifamiliar San Sebastián.



Para el diseño de elementos de drenaje urbano se debe partir como base el área a ser drenada, esta área es conocida como cuenca, conjunto de terrenos que drenan sus aguas hacia un cauce común¹⁶, la ciudad de San Juan de Pasto se encuentra localizada en la cuenca del río Pasto, la cual tiene una extensión de 45000 hectáreas (450 km²) y esta a su vez está conformada por 3 subcuencas en las cuales se incluyen 17 microcuencas¹⁷, la urbanización multifamiliar San Sebastián se localiza en la microcuenca Blanco, drenada por la quebrada Blanco a

¹⁶ MONSALVE, Germán. Hidrología en la Ingeniería. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1995. 384 p.

¹⁷ ARCINIEGAS CORAL, Solange y CAVIEDES, Blanca. Plan de manejo de la microcuenca cujacal municipio de Pasto departamento de Nariño. Monografía de grado especialización en gestión ambiental local. Pasto: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ciencias ambientales, 2011. 86 p.

la que aportan caudal varios afluentes, en la Figura 6 se puede observar la sectorización de uno de los afluentes, en el cual está incluido el proyecto de urbanización multifamiliar San Sebastián.

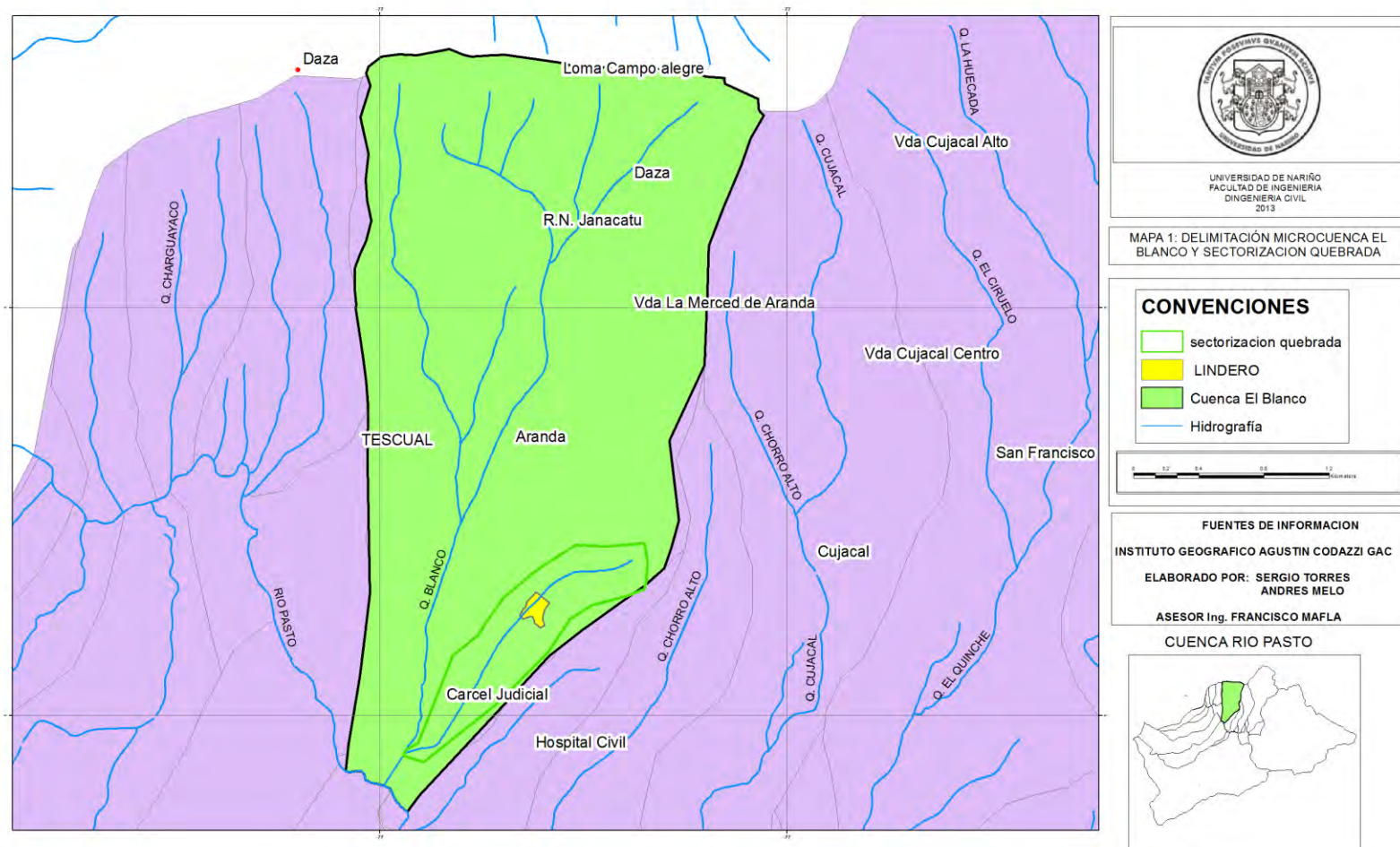
La delimitación de una cuenca hidrográfica se rige principalmente por las condiciones topográficas y geológicas del terreno las cuales determinarán el escurrimiento natural de las corrientes de agua, esto ocurre cuando el terreno no presenta modificaciones, producto de las actividades humanas, como los asentamientos urbanos.

Un desarrollo urbano adecuado implica el suministro de manera continua de unos determinados servicios a través de un sistema de redes técnicas, son varios los aspectos de una región natural que se ven transformados en el proceso urbano, uno de ellos es el ciclo del agua, el cual cambia su funcionamiento al impermeabilizar el suelo, frenando su infiltración, y escurrimiento dentro de las canalizaciones naturales.

Estos cambios producen el cambio de cuenca hidrográfica a cuenca urbana donde se originan procesos urbanísticos de asentamientos humanos con actividades sociales, económicas, políticas y culturales. Los límites de la cuenca urbana se delimitan a partir de la topografía del área y de los nuevos cauces artificiales creados producto del alcantarillado. Ver Anexo G.

Aunque en la planificación del desarrollo urbano se proyectan algunas acciones orientadas a la detención y retención del escurrimiento pluvial como áreas de protección con cobertura vegetal, es necesario brindar soluciones con enfoques ambientales que permita el control de la cantidad y la calidad del agua lluvia.

Figura 6. Sectorización afluente quebrada Blanco y microcuenca El Blanco.



3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA Y URBANA

La microcuenca en estudio ha sido trabajada en CAD, de donde se obtuvieron sus características físicas, como área, longitud y pendiente del cauce.

- ✓ **Área:** Es la medida de la superficie de la sectorización de la quebrada encerrada por la divisoria de aguas.
- ✓ **Longitud del cauce:** El cauce es aquél que pasa por el punto de salida de la microcuenca, su longitud queda definida como la distancia medida, desde el punto de salida hasta su cabecera.
- ✓ **Pendiente del cauce:** Es la relación entre la altura total de la quebrada (cota máxima menos cota mínima) y la longitud de la misma.

Tabla 20. Características físicas de la microcuenca hidrográfica.

Cota mayor (m)	2800
Cota menor (m)	2550
Longitud Cauce (m)	1946,84
Pendiente (m/m)	0,13
Área (km ²)	0,63
Ancho (2Lcauce) (m)	3893,68

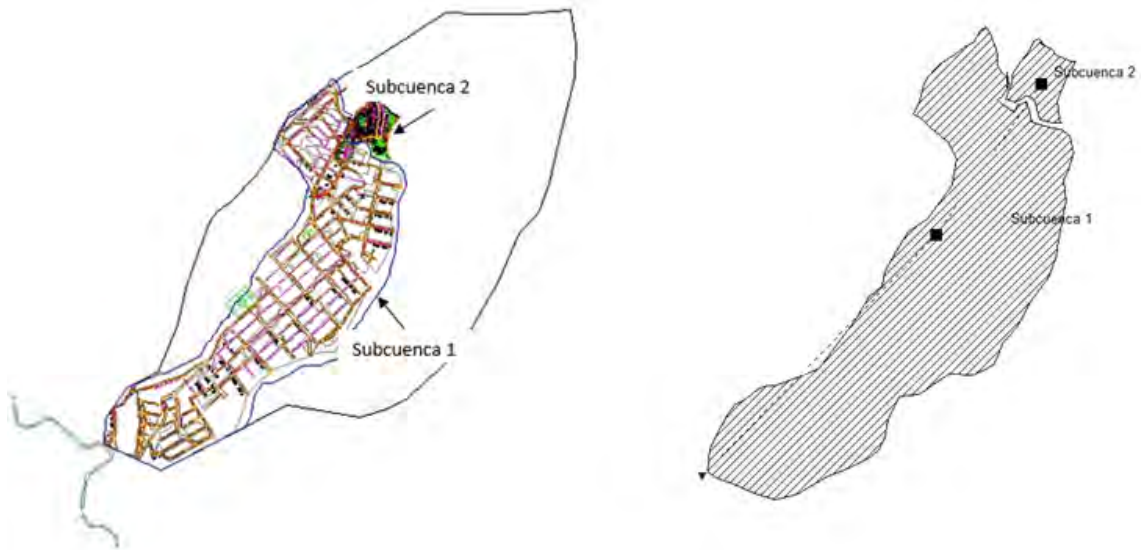
3.2.1 Período de retorno de diseño. Como se dijo previamente, el período de retorno de diseño para un elemento de “drenaje urbano sostenible” en Colombia aún no está definido, ya que solo existe un reglamento para drenaje urbano convencional. Por lo tanto éste se lo obtuvo partiendo con base en literatura como Chow 1994 (pág. 430), y MONSALVE 1999 (pág. 228), de acuerdo al análisis del numeral 2.5 *Lluvia de diseño*, el período de retorno es de 25 años.

3.2.2 Caracterización subcuencas en SWMM. Para el estudio de transformación de precipitación a escurrimiento en el modelo hidrológico SWMM, es necesario identificar cada subcuenca urbana, éstas se delimitan de acuerdo al ciclo urbano del agua, en donde se relaciona el ciclo de agua natural con el modificado por asentamientos producto de la actividad humana. Las precipitaciones que caen en el área urbana se recogen por medio de un sistema interconectado de drenaje que posteriormente desembocan en un punto de vertido.

Para la modelación del área de estudio en SWMM es necesaria la caracterización de los componentes del sistema de drenaje que se pueden representar dentro del mapa por medio de objetos.

La subcuenca urbana en estudio se segmentó en dos subcuencas hidrológicas, la subcuenca 2 corresponde al lote donde se está construyendo la urbanización multifamiliar San Sebastián que desemboca en la subcuenca 1 correspondiente al área urbana aguas abajo de la urbanización, delimitada por la topografía del terreno con un punto de desagüe en el Río Pasto (Figura 7).

Figura 7. Delimitación subcuencas urbanas para modelación.



Una vez transformadas las áreas de estudio en un modelo descifrable para SWMM, es necesaria su caracterización a través de diferentes parámetros los cuales determinarán una respuesta con un comportamiento similar a la realidad en tiempo y cantidad de esorrentía.

Los datos de entrada requeridos para la caracterización, son:

Datos meteorológicos

- ✓ Descripción del evento (o eventos) de lluvia; esto se hace mediante el dato de lluvia de diseño obtenido en un intervalo fijo de tiempo, correspondiente al tiempo de concentración (T_c).

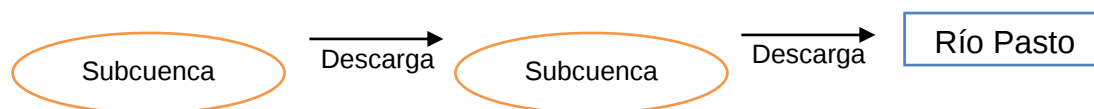
Características de las subcuencas

- ✓ Asociación de la lluvia de diseño a cada subcuenca.
- ✓ Número y nombre de identificación de la subcuenca.

(1) Subcuenca 1 —————> Subcuenca urbana aguas abajo de la urbanización.

(2) Subcuenca 2 —————> Subcuenca urbanización multifamiliar San Sebastián.

- ✓ Identificación del lugar a donde drena cada subcuenca, que puede ser otra subcuenca, o una fuente receptora como un río.



- ✓ Ancho de la subcuenca; éste parámetro corresponde a la anchura del depósito que está representando a la subcuenca, como las subcuencas no tienen una forma geométrica definida, el ancho se verá representado en dos veces la longitud del tramo más largo hasta donde se recibe el flujo en la subcuenca.
- ✓ Área de la subcuenca.
- ✓ Pendiente media de la subcuenca.
- ✓ Coeficientes de rugosidad de Manning de las zonas permeables e impermeables, según el tipo de impermeabilización y cubierta natural de la zona.
- ✓ Volumen de almacenamiento o retención en la zona permeable e impermeable¹⁸.

Tabla 21. Valores promedio de almacenamiento en depresión.

Tipo de almacenamiento	Valor	Tipo de superficie
Alm. Dep. (Impermeable)	1,875	Superficie impermeable
Alm. Dep. (permeable)	3,75	Césped y hierba

- ✓ Parámetros de infiltración, el conocimiento del proceso de infiltración del agua en el suelo es importante para evaluar la eficiencia de los modelos hidrológicos que predicen el movimiento del agua en el suelo, existen tres modelos disponibles de infiltración en SWMM, su escogencia depende del estado de humedad del suelo y del movimiento del frente húmedo a medida que el suelo se satura¹⁹. La Ecuación de Horton considera parámetros como infiltración máxima y mínima, coeficiente de decaimiento y el tiempo necesario para saturar completamente un suelo que inicialmente estaba completamente seco.

El manual de usuario SWMM proporciona tablas con los valores de los parámetros más usuales dependiendo del tipo de suelo de la región; San Juan de Pasto se

¹⁸ Disponible in Internet: www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf [citado el 28 de Mayo de 2013].

¹⁹ CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA. (17: 19-21, octubre, 2008: Santiago de Chile, Chile) Uso de SWMM para el diseño de elementos de infiltración en sistemas de drenaje de aguas de lluvia. BONIFACIO, Fernández y THUMANN Alexander. 2008. 18 p.

encuentra localizado en la zona andina, con suelos que presentan una textura predominante franco arcillosa y franco arenosa, y con una humedad relativa entre el 72% y 82%²⁰, de acuerdo a estas características se seleccionaron algunos valores que se encuentran resumidos en la Tabla 22.

Tabla 22. Parámetros de Horton.

Parámetros de infiltración	
Tasas infiltración	37,5 mm/h
Tasas infiltración mínimas	0,51 mm/h
Constante decaimiento	4
Tiempo de secado	10 días
Volumen máximo	0

Otros parámetros:

Se deben ajustar coeficientes de rugosidad de Manning para los conductos de alcantarillado, así como su longitud, elevaciones de pozos de inspección, duración total de la simulación, fecha de inicio y finalización de simulación y sistema de unidades.

3.2.3 Simulación de escenarios. La simulación de escenarios de la presente investigación se realizó usando el software SWMM; este es un modelo basado en fenómenos físicos el cual utiliza una solución discreta en el tiempo del fenómeno. En su formulación emplea los principios de conservación de la masa, de la energía y de la cantidad de movimiento siempre que es posible. Para la simulación de los escenarios el método empleado es el de “*Escorrentía Superficial*”. Ver Anexo H.

Hipótesis de análisis de escenarios: el análisis se dividió en 4 escenarios de la siguiente manera:

Escenario I: corresponde a la cuenca en su estado anterior, es decir sin la construcción de la urbanización Multifamiliar San Sebastián.

Escenario II: teniendo en cuenta la incorporación de la nueva urbanización a la cuenca y con la red de drenaje convencional de la misma.

Escenario III: es similar al escenario II, a diferencia de la incorporación de elementos de control de escurrimiento pluvial que contribuyen al equilibrio hidrológico; en este caso un reservorio.

Escenario IV: segunda alternativa de detención de aguas lluvias: canaletas.

²⁰ MINISTERÍO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Desarrollo de la fruticultura en Nariño. Pasto: Talleres gráficos de Impresora Feriva S.A., 2006. 70 p.

A los cuatro escenarios mencionados anteriormente se los simuló en el programa SWMM haciendo variar los porcentajes de permeabilidad del suelo, y manteniendo constantes el tiempo de concentración y la lluvia crítica (lluvia de diseño); para así poder evaluar el efecto que produce la impermeabilización causado por la construcción de una obra civil.

Es importante mencionar que el tiempo de concentración es diferente para cada cuenca, debido a que este depende de las características propias de cada una como son su pendiente y tipo de cobertura ya sea permeable o impermeable. Como se observó en el capítulo anterior en el **numeral 2.4** la variación del tiempo de concentración no es significativa al calcularlo de manera empírica y con las recomendaciones de la norma RAS 2000, por tal motivo se optó por hacer la simulación manteniendo constante el tiempo de concentración para el escenario I, II, III y IV.

Cada escenario posee unas características definidas de áreas impermeables y por lo tanto de escurrimiento superficial, el cambio de estas características se debe a la introducción en la zona de nuevas unidades de vivienda, lo que modifica la cobertura del suelo aumentando el transporte de agua superficial y la descarga por cada área de subcuenca, viéndose reflejado en un aumento de caudal pico en el hidrograma de caudal.

3.2.3.1 Escenario de simulación I. Este primer escenario de análisis corresponde a la subcuenca 2 sin la construcción de la Urbanización Multifamiliar San Sebastián.

Las características generales de esta subcuenca son:

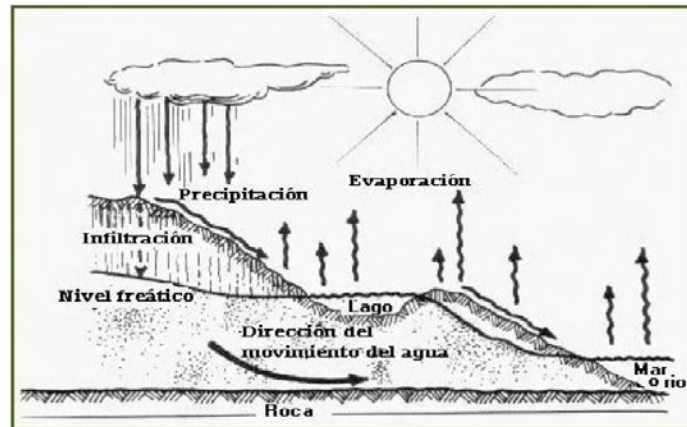
- ✓ Superficie disponible 19,694 m².
- ✓ Pendiente media del 13 % sentido este-oeste.
- ✓ Diferencia de altura H=61 m.
- ✓ En la zona sur-oeste se encuentra localizada una corriente de agua de uso público conocida como Ojo de Agua, que presentaba un caudal mayor; y que debido a concesiones de agua ha sido destinado para consumo doméstico y humano.
- ✓ Esta área presentaba hierba como cobertura vegetal en toda su extensión.

Las coberturas vegetales existentes interceptan precipitaciones y escurrimientos de agua conformados por lluvia de tejados y suelos impermeables, las cuales se caracterizan por tener un umbral de escorrentía muy bajo, por lo tanto en estas coberturas apenas se produce escorrentía superficial debido a procesos tales

como la infiltración, el almacenamiento superficial o subterráneo, la evapotranspiración o la evaporación.

Una región sin intervención del hombre conserva una forma de transferencia de agua con una secuencia de procesos físicos que coinciden con el ciclo hidrológico natural (Figura 8)²¹.

Figura 8. Ciclo hidrológico natural.



Para entender mejor el comportamiento y transferencia del agua lluvia del lote perteneciente a la urbanización multifamiliar San Sebastián, se contempló una subcuenca global de tal manera que ésta en conjunto tenga un punto de descarga en una fuente hídrica como es el Río Pasto, considerando por lo tanto, una subcuenca urbana aguas abajo de la urbanización (subcuenca 1).

Lluvia de diseño: se utilizará para todos los escenarios, la lluvia de diseño obtenida en el Capítulo 2 para un tiempo de concentración (T_c) igual a 15 minutos, y un período de retorno de 25 años, para así poder obtener un diseño adecuado de elementos de drenaje urbano sostenibles con una vida útil extensa. Por lo tanto el valor de precipitación es de 11,27 mm/15 min.

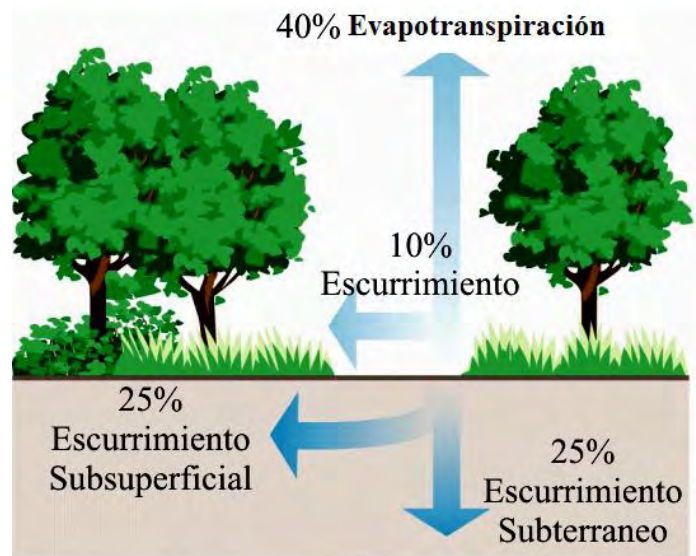
Diagrama de drenaje de la Subcuenca:

El diagrama de flujo de las aguas lluvias inicia en el lote proyectado para la futura construcción de la Urbanización multifamiliar San Sebastián (subcuenca 2), constituido solo por cobertura vegetal, con estas condiciones de superficie el volumen de escorrentía superficial transportado es pequeño, el resto de agua lluvia se divide en otros procesos del ciclo hidrológico (Figura 9), la escorrentía superficial aportada por la subcuenca 2, por las condiciones topográficas del terreno, van dirigidas a la zona urbana aguas abajo, en ésta zona urbana ya

²¹ LOZADA RIVERA, William y GONZÁLEZ TORO, Carmen. Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua. Puerto Rico: s.n, 2009. 30 p.

constituida por una red de drenaje se captan las aguas lluvias por sumideros, los cuales se conectan a los pozos de inspección por medio de colectores, toda la distribución de redes de colectores se interconecta entre sí, descargando al final en un cuerpo de agua en este caso el Río Pasto²².

Figura 9. Trayecto del agua en una zona sin impermeabilización.

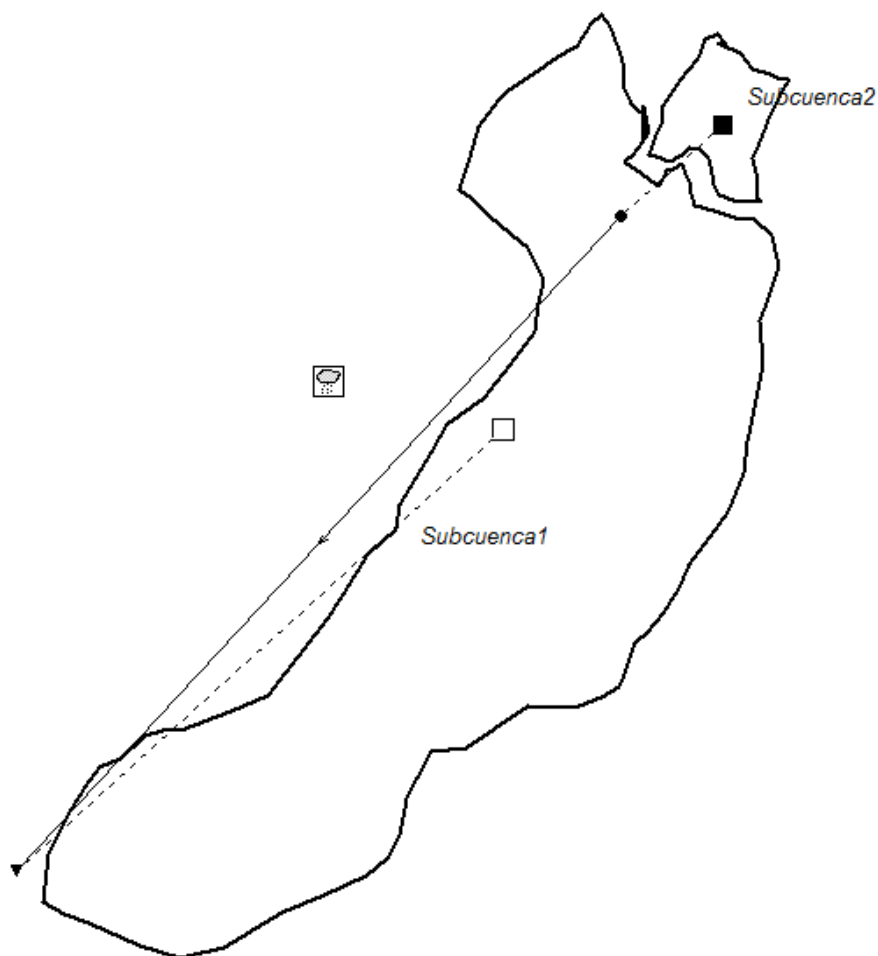


Hidrogramas resultantes

Una vez conocida y tipificada la trayectoria de las aguas lluvias, se hace necesario su representación y codificación en el programa de modelo de gestión de aguas pluviales SWMM, de manera que su caracterización vaya acorde al comportamiento real.

²² Chester y Gibbons, 1996 citado por CARRASCO OVIEDO, Sofía. Análisis y propuesta de la gestión institucional de las aguas lluvias urbanas del gran Santiago. Tesis Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de arquitectura, diseño y estudios urbanos instituto de estudios urbanos y territoriales, 2009. 153 p.

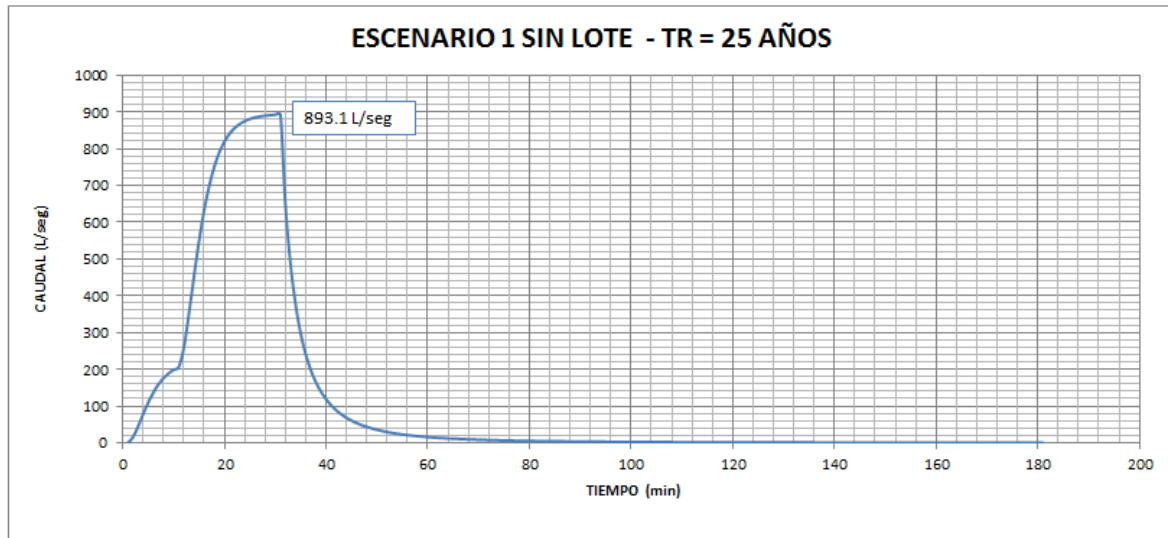
Figura 10. Escenario de modelación I.



Ya representado el escenario, se le deben agregar los parámetros necesarios para caracterizar las subcuencas y su posterior simulación.

El hidrograma resultante es el obtenido en el punto de descarga final (Río Pasto).

Gráfica 4. Hidrograma para TR= 25 años.



En el hidrograma se observa el efecto de una tormenta con una simulación de 180 minutos, la lluvia de la simulación es la correspondiente a la obtenida para un tiempo de retorno de 25 años. De igual manera se hizo una modelación hidrológica para tiempos de retorno de 3 y 10 años respectivamente (ver Anexo I).

3.2.3.2 Escenario de simulación II. Este escenario involucra la construcción de la urbanización Multifamiliar San Sebastián localizada en el Sector de la Floresta, carrera 27 No. 32B-40 de la ciudad de San Juan de Pasto.

La información de base con que se cuenta es:

- ✓ Plano de curvas de nivel, georreferenciadas de la subcuenca total de estudio.
- ✓ No existe estudio geotécnico, ni geológico.
- ✓ Cotas de elevación de cajas y pozos de inspección de la urbanización Multifamiliar San Sebastián.
- ✓ Diseño de la red de alcantarillado de la urbanización Multifamiliar San Sebastián.
- ✓ Diseño urbanístico de la urbanización Multifamiliar San Sebastián.

Después de ordenar la información y realizando una caracterización del área de estudios se tiene:

Tabla 23. Áreas urbanización

	ÁREA (m ²)
Zonas Verdes	7512,63
Área protección	756
Área cesión ojo agua	609
ZONAS PERMEABLES	8877,63
Proyección equipamientos	171,58
Área construida	10644,79
ZONAS IMPERMEABLES	10816,37
TOTAL ÁREA LOTE	19694

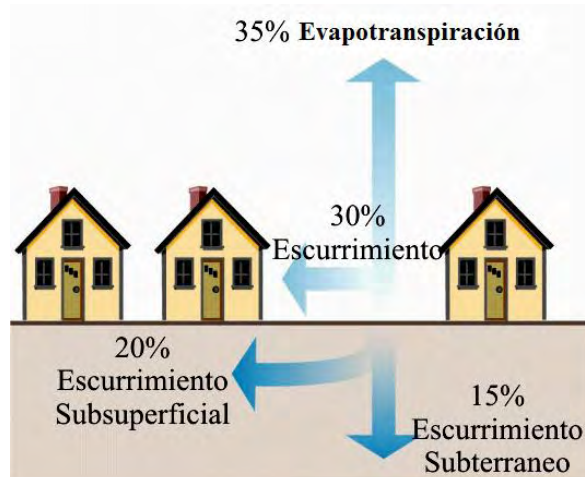
Tabla 24. Áreas cuenca Urbana

	ÁREA(m ²)
Predios	226214,72
Área vías	59626,68
ZONA IMPERMEABLE	285841,40
ZONA PERMEABLE	181598,04
TOTAL ÁREA CUENCA	467439,45

En éste escenario la subcuenca 1, conformada por la zona urbana permanece igual que en el escenario I, el cambio ocurre en la subcuenca 2 con la construcción de la urbanización, lo que conlleva al aumento de las zonas impermeables y a la modificación de los flujos naturales del ciclo hidrológico, esto reduce los espacios con cobertura vegetal cambiando la capacidad de absorción de los suelos y por lo tanto disminuyendo la intercepción natural y la evapotranspiración (Figura 11)²³.

²³ Chester y Gibbons, 1996 citado por CARRASCO OVIEDO, Sofía. Análisis y propuesta de la gestión institucional de las aguas lluvias urbanas del gran Santiago. Tesis Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de arquitectura, diseño y estudios urbanos instituto de estudios urbanos y territoriales, 2009. 153 p.

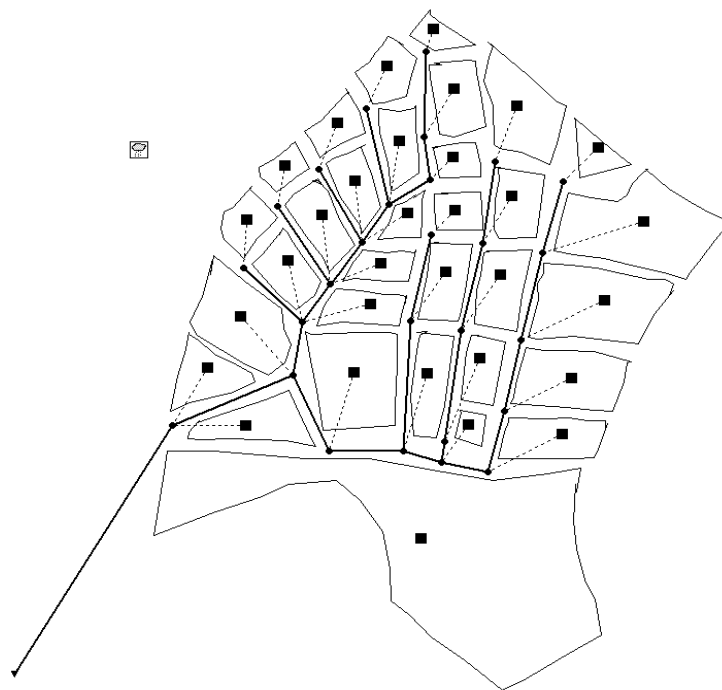
Figura 11. Efectos de la impermeabilización.



Hidrogramas resultantes:

Del detalle de las características de la subcuenca de la urbanización depende el comportamiento más real del programa SWMM. La urbanización ha sido dividida en microcuencas, cada una con un punto de desagüe en común, estos puntos corresponden a pozos de inspección, los cuales se interconectan con colectores, de acuerdo al plano de redes de alcantarillado de la urbanización.

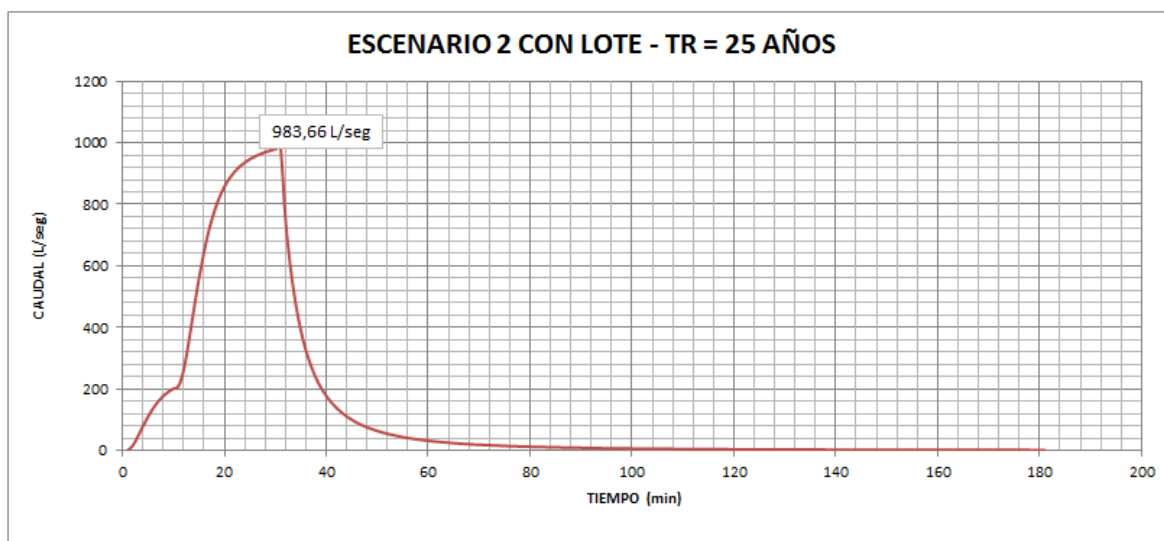
Figura 12. Modelación de urbanización en SWMM.



Cuando el escenario ya esté representado, se agregan los parámetros necesarios para caracterizar las subcuencas y su posterior simulación.

El hidrograma resultante corresponde al punto de descarga final (Río Pasto).

Gráfica 5. Hidrograma para TR= 25 años.



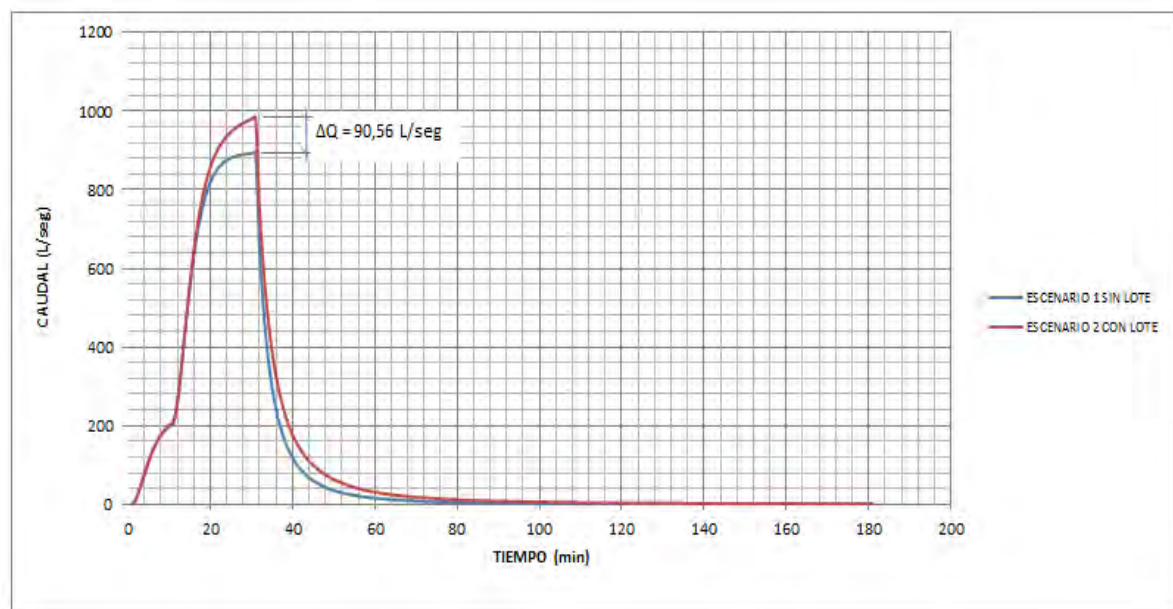
El comportamiento del hidrogramas es similar al presentado en el escenario de simulación I, con el cambio del caudal pico, debido a que se presenta mayor

escorrentía y por lo tanto un volumen mayor de descarga. En el Anexo I se presentan los hidrogramas para tiempos de retorno de 3 y 10 años.

3.2.3.3. Evaluación del impacto. En base a la simulación del escenario I y II y con la lluvia de diseño correspondiente a un tiempo de retorno de 25 años; se puede observar claramente que la construcción del proyecto de vivienda de interés social Urbanización San Sebastián, produce un aumento significativo de la escorrentía pluvial. En la Gráfica 6 se presentan los hidrogramas de caudal superpuestos y se puede observar la descompensación que causó la construcción del proyecto objeto de análisis en esta investigación.

En la Gráfica 6, se observa que hay una descompensación de 90,56 L/seg; esta diferencia de caudal es la base para el escenario número III y IV, en los cuales se analizarán dos alternativas urbano sostenibles que contribuyan al impacto hidrológico cero. Estos dos tipos de alternativas de detención de agua lluvia a nivel de predio son **Reservorios y Canaletas**.

Gráfica 6. Evaluación del impacto (ΔQ).



3.2.3.4. Escenarios de simulación III y IV. Con la simulación de los escenarios I y II, se logra una comparación hidrológica de la escorrentía superficial de las subcuencas, y de los caudales picos alcanzados en cada escenario, estos

cambios entre escenarios se deben a la modificación de la superficie del área de suelo, de permeable a impermeable debido a efectos de la construcción de infraestructura.

El proceso de asentamiento humano en una zona trae necesariamente consigo la ejecución de unas obras vitales para las actividades diarias humanas, como instalación de redes de alcantarillado y de agua potable, esto hace que los cauces naturales de los ríos sean canalizados y desviados enfocando su uso, en favor del desarrollo urbano, de esta forma el ciclo de aguas hidrológico se modifica, pasando a involucrar la parte urbana.

La construcción desmedida sin un planeamiento previo, ocasiona que la capacidad de transporte y control del agua que tenía la cuenca natural se vea rebosada, derivando en posteriores inundaciones u otros efectos desfavorables aguas abajo y en la región.

En el escenario III se busca recuperar el ciclo hidrológico original, correspondiente al terreno natural previo a la urbanización. Esto es posible conseguirlo mediante la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), de manera que se logre disminuir los impactos del desarrollo urbanístico, como el del incremento en la cantidad de la escorrentía.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible buscan: controlar crecidas debido a intensidades de lluvias muy altas, controlar la calidad de las aguas y proteger el paisaje.

Los objetivos de los SUDS se podrían resumir en los siguientes aspectos²⁴:

- ✓ *Proteger los sistemas naturales*: proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- ✓ *Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje*: maximizar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.
- ✓ *Proteger la calidad del agua*: proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- ✓ *Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta*: reducir caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.
- ✓ *Incrementar el valor añadido minimizando costes*: minimizar el coste.

²⁴ Disponible en Internet: <http://drenajesostenible.com/gesti%C3%B3n-sostenible-de-pluviales>. (12 Junio 2013).

Como se puede observar el campo de los sistemas urbanos de drenaje sostenible es amplio, su uso abarca varias fases desde la captación de las aguas lluvias, pasando por su transporte y vertido final, trasladando el enfoque tradicional que solo toma en cuenta el transporte de las aguas lluvias lo más rápido posible, sin considerar la generación considerable de escorrentía urbana y el impacto en los cuerpos de agua receptores, a un enfoque sostenible en donde las aguas lluvias deben tener un control definido de su cantidad X y calidad.

Existen variados sistemas y obras estructurales para la gestión de aguas lluvias urbanas, su puesta en marcha no requiere la actuación del hombre durante el evento de la tormenta. De acuerdo a la forma de tratar el escurrimiento, estas obras pueden clasificarse en obras de infiltración o almacenamiento.

En el Anexo J se detallan algunas soluciones estructurales de drenaje urbano de aguas lluvias.

4. EVALUACIÓN Y DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE DETENCIÓN

Como se ha venido analizando en esta investigación; la impermeabilización del terreno genera variados impactos a nivel biológico y físico en una cuenca, que en la mayoría de los casos no son ponderados al momento de analizar soluciones. Por tal motivo en este capítulo se evaluará dos alternativas de detención:

- **Reservorios:** es un sistema de detención de la escorrentía superficial, el cual tiene la finalidad de captar y almacenar el excedente de agua que se produce en la superficie del suelo después de un evento lluvioso fuerte.²⁵
- **Canaletas:** son accesorios para coleccionar y conducir los escurrimientos pluviales de las vertientes del techo y conducirlos hacia los bajantes que son los encargados de llevar el agua hasta el nivel del terreno.²⁶

²⁵ CARRASCO OVIEDO, Sofía. Análisis y propuesta de la gestión institucional de las aguas lluvias urbanas del gran Santiago. Tesis Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de arquitectura, diseño y estudios urbanos instituto de estudios urbanos y territoriales, 2009. 153 p.

²⁶ Ibíd.

El objetivo de este capítulo y con la implementación de estas dos alternativas de solución es lograr que el hidrograma del *escenario I* sea aproximadamente igual al hidrograma del *escenario II*, y así poder lograr disminuir el caudal pico y por ende mitigar el impacto que produce la impermeabilización.

Como se observó en el capítulo anterior, el impacto negativo a nivel hidrológico que se presentó por la construcción del proyecto de vivienda de interés social denominado “Urbanización San Sebastián”; produjo un aumento significativo de la escorrentía superficial en la cuenca, este efecto será mitigado por las dos alternativas anteriormente mencionadas. Con base en el programa SWMM se determinó el impacto que generaba la construcción de este proyecto de interés social, teniendo como resultado que existe una diferencia de 90,56 L/s para un tiempo de retorno de 25 años, con base en estos resultados se realizó una simulación del modelo de la siguiente manera:

4.1. SIMULACIÓN ESCENARIO III

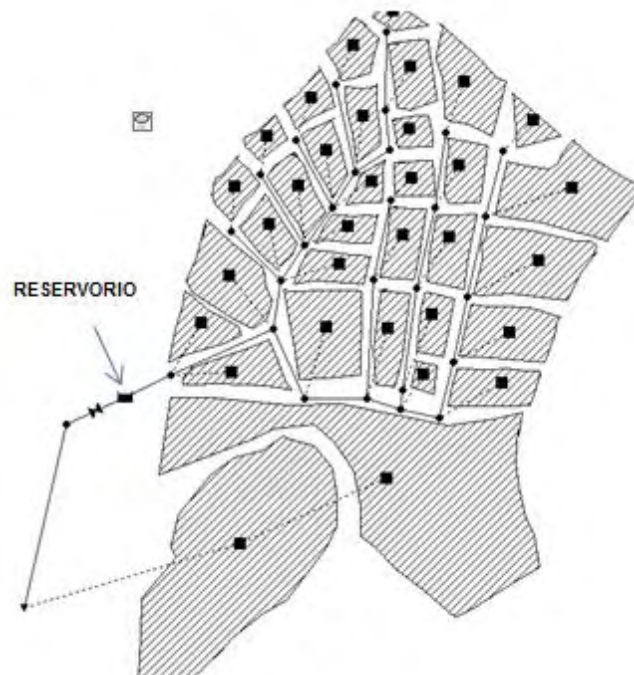
4.1.1. Evaluación primer alternativa de detención- Reservoirio (Figura 13). Para poder hacer este análisis, en el modelo del escenario II se ubicó un depósito de agua al cual se le dieron sus características como son:

- Cota de fondo.
- Nivel máximo del depósito medido con respecto a la cota de fondo.
- Curva del depósito; esta curva es necesaria para que el modelo funcione correctamente, a la cual se le dan propiedades de área en metros cuadrados (Figura 14).

Los parámetros de las subcuencas fueron colocados de igual manera como se explicó en el numeral **3.2.2. Características de subcuencas en SWMM**; con la única diferencia del depósito (reservoirio) el cual sirve como elemento de detención de agua lluvia para contribuir con el impacto hidrológico cero.

En la Figura 13, se puede observar la Urbanización San Sebastián la cual está dividida en subcuencas para tener una mayor aproximación del modelo; también se observa el depósito el cual sirve como mecanismo de detención. Con respecto a las propiedades del depósito se le dio un nivel máximo de 4 m porque éste no solo va tener la función de servir como mecanismo de detención, sino que también servirá como un ambiente con propósitos recreativos usado para prácticas de deportes como patinaje, skateboarding, entre otros, este lugar es conocido como Skatepark.

Figura 13. Escenario de modelación III.



La curva característica del depósito tiene un área constante de 300m²; debido a que con dicha capacidad se cumple con el objetivo de esta alternativa de solución. Figura 14. Curva característica del depósito.



Hidrogramas resultantes

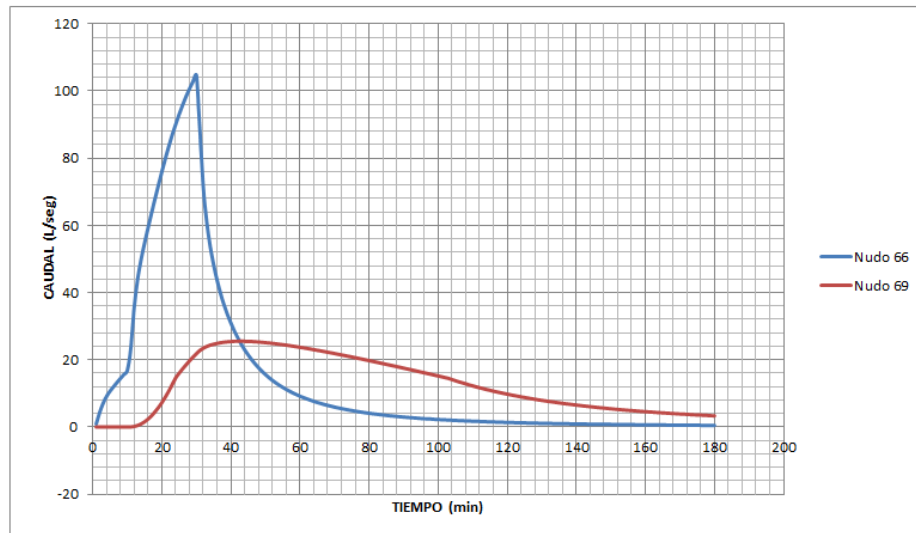
Una vez el escenario ya está representado, se procede a correr el programa y observar los hidrogramas resultantes.

El depósito proyectado aguas abajo de la Urbanización capta el agua de la red de aguas pluviales y la vuelve a redirigir, con el beneficio de evacuarla de manera

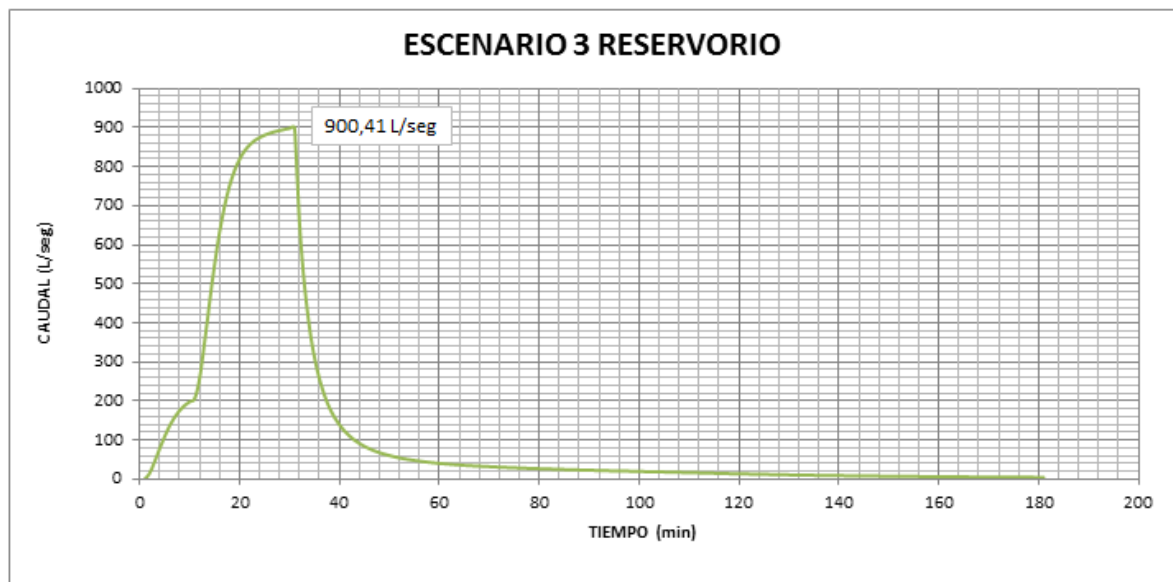
retardada y atenuada, lográndose una disminución del caudal máximo con un tiempo mas retrasado, como se puede observar en la Gráfica 7.

Los hidrogramas finales producto de las dos subcuencas se observan en la gráfica 9, los cuales son los obtenidos en el punto de descarga final (Río Pasto).

Gráfica 7. Hidrogramas de entrada y salida del depósito.



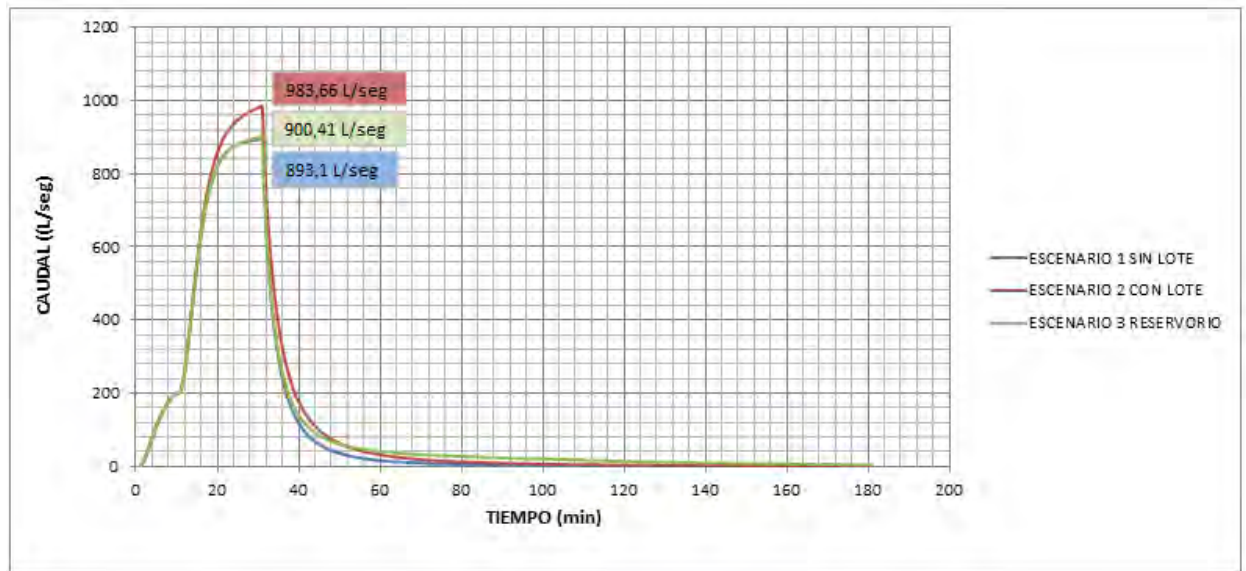
Gráfica 8. Hidrograma primera alternativa de detención.



Los hidrogramas superpuestos de la Gráfica 9 muestra que con un reservorio de 300m² de superficie y una profundidad de 4m es suficiente para mitigar el impacto que se produjo por la impermeabilización y cambios en la escorrentía, producto de

la ejecución y construcción del proyecto de vivienda de interés social “Urbanización San Sebastián”.

Gráfica 9. Hidrogramas escenario I, II y III.



4.1.2. Skatepark. La pista de deportes extremos tiene forma rectangular y tiene una área de 324m²; a pesar de que el reservorio fue proyectado inicialmente para una superficie de 300m²; por facilidades en la construcción se optó por dimensionarlo de esta manera. Los detalles de los planos se los puede observar en el Anexo K.

4.2. SIMULACIÓN ESCENARIO IV

4.2.1. Evaluación segunda alternativa de detención- Canaletas (Figura 15). Para la modelación de este último escenario que hace referencia a la utilización de canaletas como mecanismo de detención; se lo realizó ubicando depósitos (canaletas) en cada torre de apartamento de la urbanización; estas canaletas tienen la función de almacenar un volumen mayor de agua antes de ser entregada a sus respectivos bajantes de aguas lluvias. En la Tabla 25, se muestra una comparación entre las dimensiones de una canaleta convencional y las dimensiones de las canaletas analizadas en el modelo.

Tabla 25. Comparación de canaletas.

Canaleta convencional	Canaleta alternativa de diseño
-----------------------	--------------------------------

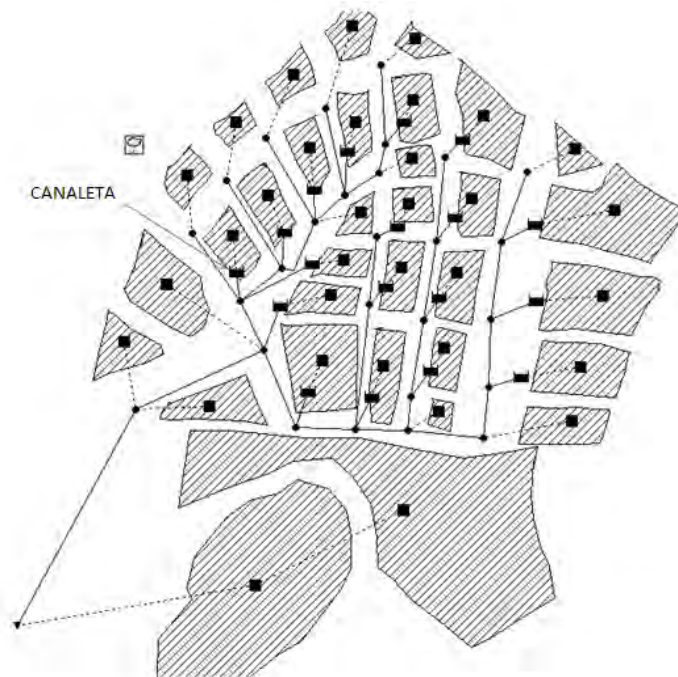
L (m)	A (m)	h (m)	Volumen (m³)	L (m)	A (m)	h (m)	Volumen (m³)
22	0,12	0,09	0,238	22	0,40	0,12	1,056

Para la elaboración del modelo en el programa SWMM; a los depósitos se les asignó las siguientes características.

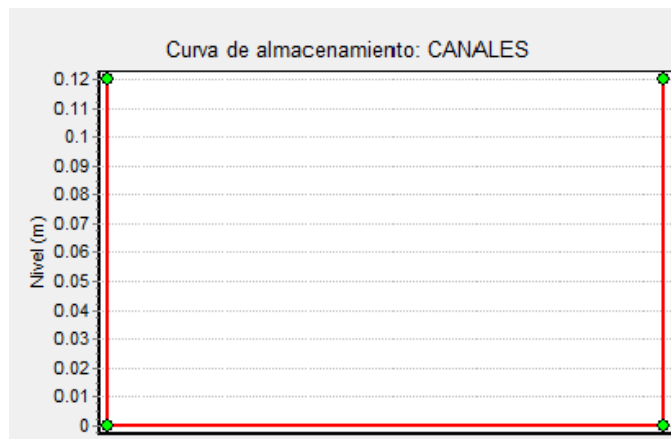
- Cota de fondo.
- Nivel máximo del depósito medido con respecto a la cota de fondo que equivale a 0,12m.
- Curva del depósito; la cual tiene un área de 8,80 m² (Gráfica 14).

Nota: las áreas, longitudes, porcentajes de impermeabilidad, profundidad de pozos de inspección y demás parámetros se dejaron igual que en el escenario 3.

Figura 15. Escenario de modelación IV.

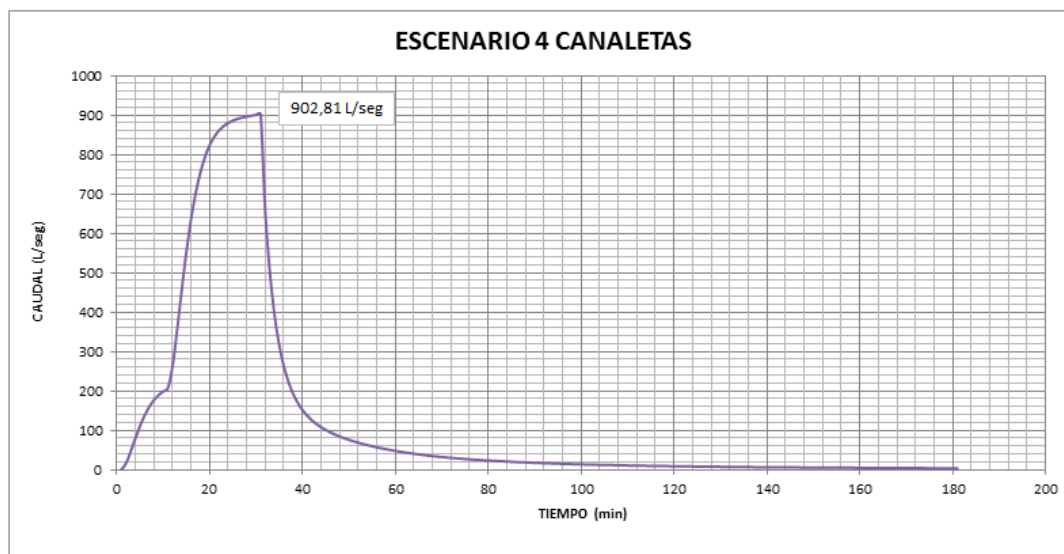


Gráfica 10. Curva característica del depósito.



Hidrogramas resultantes: Una vez el escenario ha sido representado correctamente, los hidrogramas resultantes que corresponden a los obtenidos en el punto de descarga final (Río Pasto) son los siguientes:

Gráfica 11. Hidrograma segunda alternativa de detención.



Los hidrogramas que se presentan en la Gráfica 12, indican que al aumentar la capacidad de almacenamiento de las canaletas las cuales fueron colocadas en cada torre de la urbanización ayudan a disminuir el caudal pico y la escorrentía pluvial generada por la impermeabilización del terreno natural. Es decir al

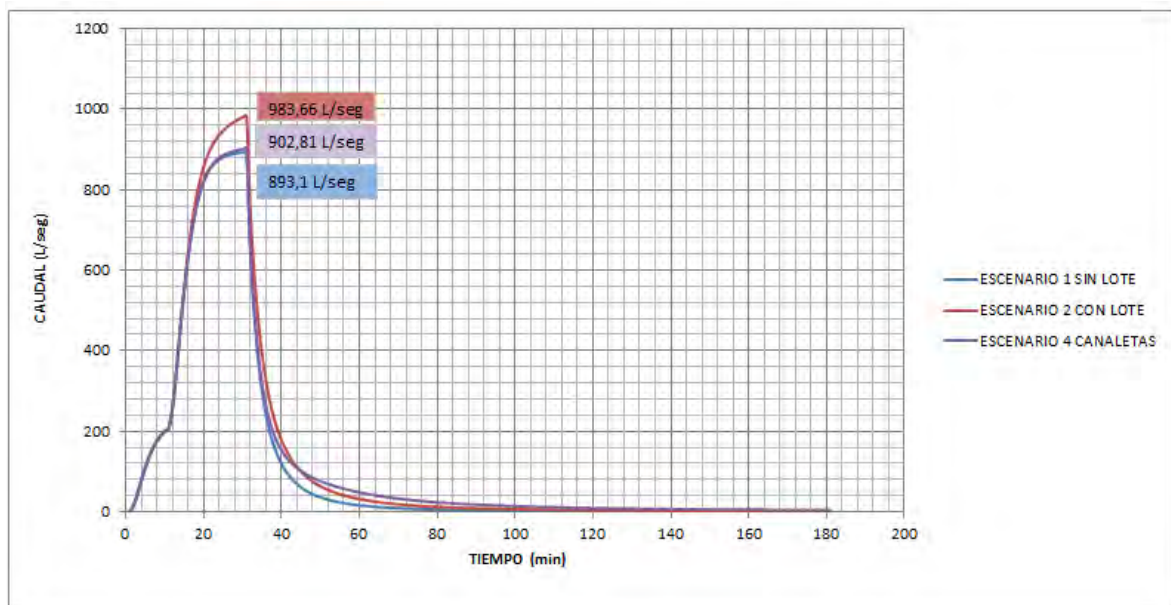
aumentar el volumen de almacenamiento de $0,238\text{m}^3$ a $1,056\text{m}^3$ lo cual representa un incremento de 77% en términos de volumen; se obtiene como resultado que en la cuenca no existan cambios considerables de escorrentía e infiltración.

En el Anexo J (Figura. Detalle canaletas), se presenta de manera gráfica el cambio de dimensiones de una canaleta estándar con respecto a la adoptada como mecanismo de detención de aguas lluvias.

Tabla 26. Caudales máximos según alternativa de detención.

Reservorio		Canaletas	
Escenario	Caudal pico (L/seg)	Escenario	Caudal pico (L/seg)
I	893,1	I	893,1
II	983,66	II	983,66
III	900,41	IV	902,81
ΔQ	7,31		9,71

Gráfica 12. Hidrogramas escenario I, II y IV.



5. CONCLUSIONES

La ocupación del terreno por la expansión de las urbanizaciones, el reemplazo de las coberturas vegetales, el cambio en el uso del suelo, y la modificación del patrón de drenaje convirtiendo la cuenca hidrográfica en cuenca urbana (Figura Anexo G) genera drásticos cambios y desequilibrios en los procesos del ciclo hidrológico de una cuenca; desencadenando diversos problemas como son el aumento de la escorrentía superficial, y como resultado un aumento de volumen en el punto de descarga final, en esta investigación el río Pasto.

En la ciudad de San Juan de Pasto se pueden identificar dos tipos de viviendas de interés social como son las viviendas unifamiliares y las viviendas multifamiliares, sin embargo, es importante mencionar que por motivos del acelerado crecimiento urbanístico de la ciudad y la falta de suelos aptos para la construcción, actualmente se están y se seguirán implementando viviendas multifamiliares (proyectos de interés social en altura). Una problemática evidente es que este tipo de unidades de apartamentos de interés comunitario tienen el único propósito de solucionar problemas de escases y mala calidad de vivienda, por tal motivo hace que en el proceso de planeación, diseño y ejecución exista omisión de algunos estudios sobre el impacto hidrológico y ambiental que estas pueden ocasionar; y los cuales son de valiosa importancia no solo para mitigar impactos negativos sino también para ahorro de costos posteriores.

Con base en las precipitaciones diarias de la estación Obonuco, y una vez hecho el ajuste de datos por los cuatro métodos de Gumbel se observó que el método que más se aproximó a la serie de datos de precipitación es el método de “*Máxima Verosimilitud*” con un error de estándar de ajuste de 1,34.

Aunque una cuenca hidrográfica está definida generalmente por su topografía, el desarrollo urbanístico y/o impermeabilización del terreno hacen que las cuencas cambien su estado natural de escorrentía, donde la cuenca hidrográfica es transformada en cuenca urbana resultado de la captación de afluentes en colectores y/o implementación de sistemas de drenaje como el alcantarillado.

Al comparar las gráficas de la obtención de la lluvia de diseño en función del tiempo de retorno, se puede inferir que a medida que el tiempo de retorno es mayor la precipitación aumenta aproximadamente en un 20% al relacionar tiempos de retorno de 3 y 25 años, con valores de 37,5mm y 47mm respectivamente. A pesar de que el aumento de la precipitación sea solo de un 20%, esto causa que el caudal pico aumente significativamente pasando de 706,56 L/seg a 893,10 L/seg, por lo cual se optó por 25 años como tiempo de retorno de análisis, para

que las alternativas de detención de agua lluvia tengan un buen dimensionamiento y por tanto una vida útil mayor.

Una vez realizada la modelación del escenario I y II, se determinó el impacto producido por la construcción de la “Urbanización San Sebastián” el cual generó un aumento en el caudal pico de 90,56 L/seg, producto de impermeabilizar un área de 10816,4m², lo cual corresponde aproximadamente a un 55% con respecto al área total del lote; a pesar de que el índice de ocupación es relativamente aceptable, se demuestra que por más minucioso sea el diseño urbanístico se debe de hacer una buena planeación y diseño de elementos urbano sostenibles que ayuden a mitigar impactos hidrológicos negativos.

Las cuencas hidrográficas y reales deberían ser el marco a considerar para el diseño y planeamiento urbano, el diseño de elementos de drenaje urbano aislado controla los efectos de la lluvia localizada, pero no tiene en cuenta consecuencias aguas abajo, en la modelación se pudo observar la influencia de la construcción de una sola urbanización en el punto final de desagüe, aportando un caudal de 90,56 l/seg, sumados todos los volúmenes aportados por la masiva construcción de viviendas en la ciudad, da como resultado, insuficiencias en la capacidad de transporte de los elementos de drenaje y situaciones como inundaciones en eventos de lluvia intensa.

Se logró reducir favorablemente el impacto producto de la impermeabilización del terreno ocupado por la Urbanización San Sebastián, lo cual se hizo con la implementación de un reservorio de 324m² de superficie y canaletas de mayor dimensión a las utilizadas usualmente (ancho = 40cm y h = 12 cm).

El reservorio a implementar en la Urbanización San Sebastián tiene doble uso: primero sirve como mecanismo de detención de aguas lluvias, y además podrá ser utilizado como Skatepark, esto le da un valor agregado al depósito de detención, siendo un espacio de recreación para la comunidad, el cual no se podrá utilizar durante eventos de alta intensidad de lluvia, mientras el volumen de escorrentía generado por la impermeabilización es retenido y redirigido a la red de drenaje.

El doble uso de un reservorio puede ser muy variado, su diseño dependerá de varios factores, entre ellos la capacidad económica de la comunidad, en este estudio, al tratarse de viviendas de interés social, los recursos disponibles son mínimos, por esta razón se optó por un Skatepark con un recubrimiento de suelo cemento y base de arcilla compactada, el uso de otros materiales haría su diseño costoso y poco factible.

6. RECOMENDACIONES

Realizar la prueba de Grubbs antes de iniciar un análisis estadístico de datos ya sean de precipitación, escorrentía, y caudal, para poder estimar los posibles datos atípicos que pueden ser causantes de cambios considerables al momento de procesar la información.

Dar doble uso a reservorios con áreas relativamente grandes durante tiempos secos, diferente a su función principal; esto con el objetivo de que no existan áreas inutilizables dentro de un proyecto de construcción.

Instalar mayor número de pluviógrafos y pluviómetros con el propósito de aumentar y mejorar la recolección de los datos de series de precipitación, los cuales son la base de los diseños de drenaje urbano tanto convencional como sostenible, lo que permitirá un modelaje de elementos hidráulicos más precisa, considerando características hidrológicas específicas de la zona en estudio.

Contar con un estudio de suelos definido, como parámetros de infiltración en la zona de estudio, para la modelación de escenarios en programas computacionales como el SWMM, de tal manera de asemejar lo mejor posible las características reales, permitiendo una calibración más optimizada de la simulación.

Construir sistemas de drenaje urbano sostenible, como los descritos, bajo normas y parámetros internacionales por no existir en Colombia uno que englobe los procesos constructivos. Además implementar un mantenimiento periódico, y la continua observación de su comportamiento, para mejorar futuros diseños.

Diseñar la pista de deportes extremos recubierta con suelo cemento y como base una arcilla bentonita compactada en 2 capas de 10cm cada una, estos son materiales de bajo costo; debido a que se trata de viviendas de interés comunitario y prima la reducción del presupuesto. Este tipo de arcilla es apta por sus propiedades características, como son: su elevada superficie específica, gran capacidad de hinchamiento, buena plasticidad y lubricidad, alta impermeabilidad, baja compresibilidad. Las bentonitas más utilizadas para este fin son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.²⁷

Considerar la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible, en futuros proyectos de construcción y en planes de ordenamiento de la ciudad, que involucre la impermeabilización de grandes zonas verdes, éste estudio demuestra

²⁷ TUCCI, E.M, Carlos. Hidrología: Ciencia e aplicacao. 2 ed. Porto Alegre: Universidade/UFDRGS, 1997. 637 p.

como su uso mitiga el impacto que genera el proceso urbanístico, recreando las condiciones iniciales de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

ARCINIEGAS CORAL, Solange y CAVIEDES, Blanca. Plan de manejo de la microcuenca cujacal municipio de Pasto departamento de Nariño. Monografía de grado especialización en gestión ambiental local. Pasto: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ciencias ambientales, 2011. 86 p.

BRUJINZEL, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forest and effects of conversion: A state-of knowledge review. Paris: UNESCO International Hydrological Programme, 1990. 230 p.

BURGOS, Víctor. Desarrollo Urbano de Bajo impacto hidrológico: Pautas hacia una cultura hidrológica en Mendoza, Mendoza, Instituto Nacional del Agua- Centro Regional Andino, 2007. 33 p.

CAMPOS ARANDA, Daniel. Procesos del Ciclo Hidrológico. México: Universidad Autónoma de San Luís Potosí, 2006. 172 p.

CHESTER y GIBBONS, 1996 citado por CARRASCO OVIEDO, Sofía. Análisis y propuesta de la gestión institucional de las aguas lluvias urbanas del gran Santiago. Tesis Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de arquitectura, diseño y estudios urbanos instituto de estudios urbanos y territoriales, 2009. 153 p.

CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA. (17: 19-21, octubre, 2008: Santiago de Chile, Chile) Uso de SWMM para el diseño de elementos de infiltración en sistemas de drenaje de aguas de lluvia. BONIFACIO, Fernández y THUMANN Alexander. 2008. 18 p.

CHOW, Ven Te. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: McGraw Hill, 1994. 667 p.

FERNÁNDEZ, B. Drenaje de aguas lluvias urbanas en zonas semiáridas. En www.redalyc.org, julio, 2004. ARQ, n. 57. p. 64 - 67.

FERNÁNDEZ, B; MONTT, José y RIVERA, Pedro, Nuevos Enfoques para el Drenaje Urbano de Aguas Lluvias. Centro de Aguas Urbanas. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008. 12. p.

FALKENMARK, M., & CHAPMAN, T. (eds). Comparative hydrology. An ecological approach to land and water resources. Paris: UNESCO, 1989. 309 p.

JOURNAL OF HYDROLOGY. (55: 14, enero, 1981: Amsterdam) A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. BOSCH, J.M. y HEWLETT, J.D. 1981. 3-23 p.

KUZVART, M. Industrial Minerals and Rocks Developments in Economic Geology. Checoslovaquia: s.n, 1984. 454 p.

LA MARCHE, J., & LETTENMAIER, D.P. Forest road affects on flood flows in the Deschutes river basin, Washington. University of Washington, Seattle. Water Resource Series Technical Report, No. 158, 1998 citado por Dirección de Fomento de Tierras y Aguas de la FAO. Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales. Roma: s.n, 2002. 100 p.

LOZADA RIVERA, William y GONZÁLEZ TORO, Carmen. Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua. Puerto Rico: s.n, 2009. 30 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Desarrollo de la fruticultura en Nariño. Pasto: Talleres gráficos de Impresora Feriva S.A., 2006. 70 p.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO RAS. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título D. Bogotá D.C: El instituto, 2000. 102 p.

MONSALVE, Germán. Hidrología en la Ingeniería. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. 1995. 384 p.

MONSALVE, G. Hidrología en la ingeniería. Santa Fe de Bogotá; Colombia: Segunda edición. Editorial Alfa Omega S.A. 1999. 382 p

MONTAÑA DUQUE, Faber. Selección de Tecnología para la Recolección y Transporte de Aguas Lluvias y Aguas Residuales en Áreas Urbanas. Tesis de Grado (Ingeniero Sanitario). Santiago de Cali, Universidad del Valle, 2010, 45 p.

TAYLOR y CIHON, 2004 citado por URIBE AMÓN, Iván. Guía metodológica para la selección de técnicas de depuración de datos. Tesis de maestría en ingeniería. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Ingeniería de sistemas, 2010. 120 p.

TÉMEZ, José, Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. Centro de estudios Hidrográficos del CEDEX. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. En: Revista de obras públicas [en línea]. No. 3.430 (Febrero, 2003) Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008 12. p. [citado en 23 de noviembre de 2013].

TUCCI, E.M, Carlos. Hidrología: Ciencia e aplicacao. 2 ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 1997. 637 p.

ANEXOS

ANEXO A
PLANOS ARQUITECTÓNICOS VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL EN LA CIUDAD DE
SAN JUAN DE PASTO

Figura. Planta arquitectónica primer piso – La Cruz II Etapa

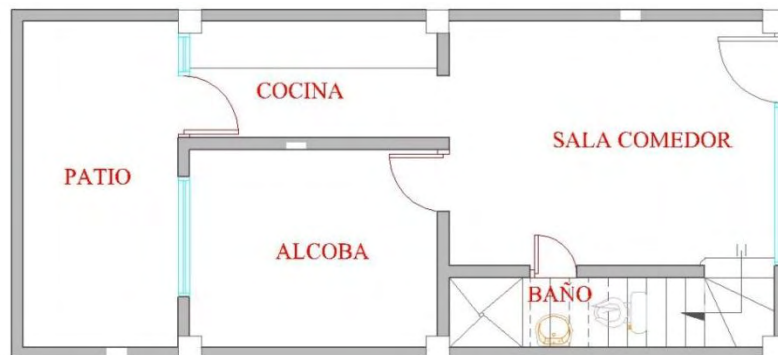


Figura. Planta arquitectónica segundo piso - La Cruz II Etapa



Figura. Apartamento 1 piso – Urbanización Intisuyu



Figura. Apartamento 2 piso – Urbanización Intisuyu



Figura. Planta arquitectónica unidad básica – Rincón de Pasto



Figura. Planta arquitectónica – Balcones de La Floresta.

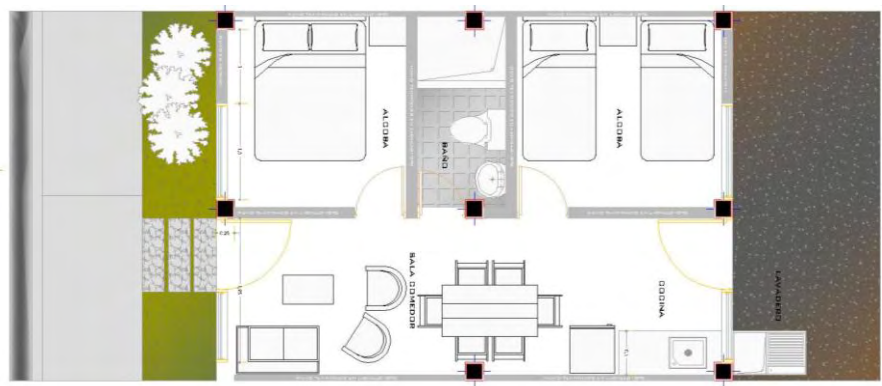


Figura. Planta arquitectónica apartamento 1 - Villas del Norte

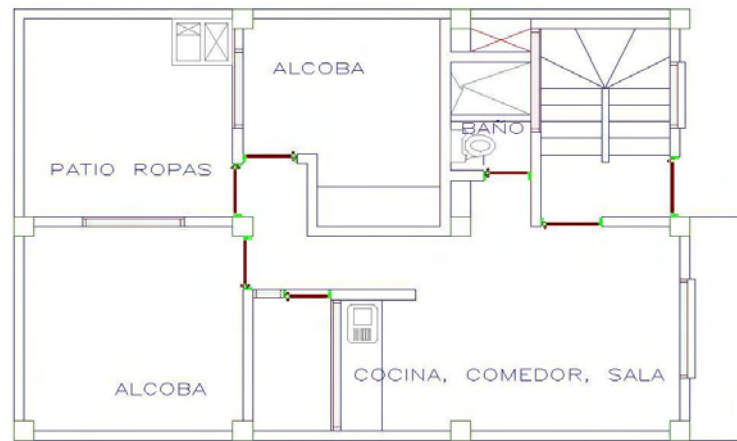


Figura. Planta arquitectónica apartamentos 2 y 3 - Villas del Norte

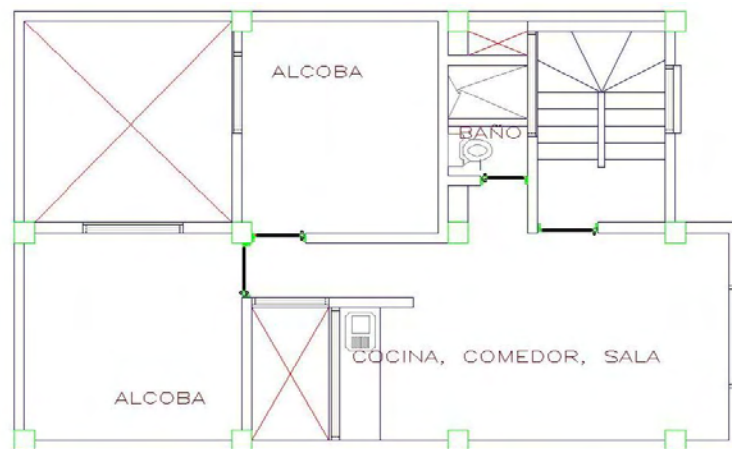


Figura. Planta cubierta y terraza- Villas del Norte.

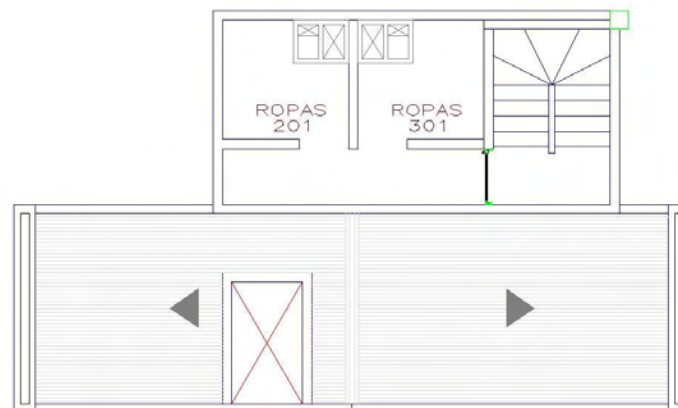


Figura. Planta arquitectónica – Juan Pablo II



Figura. Planta urbanística – Urbanización y San Luís.

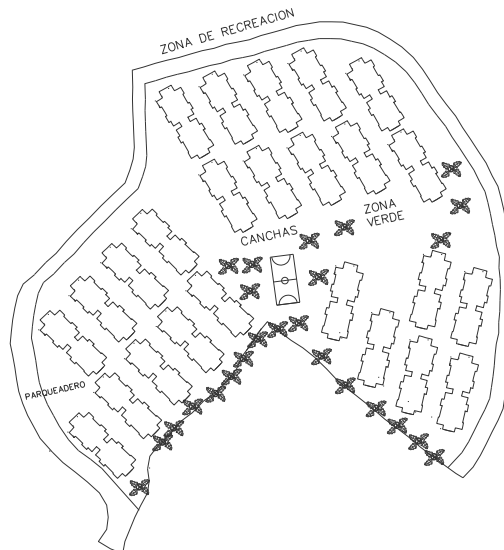


Figura. Planta arquitectónica.

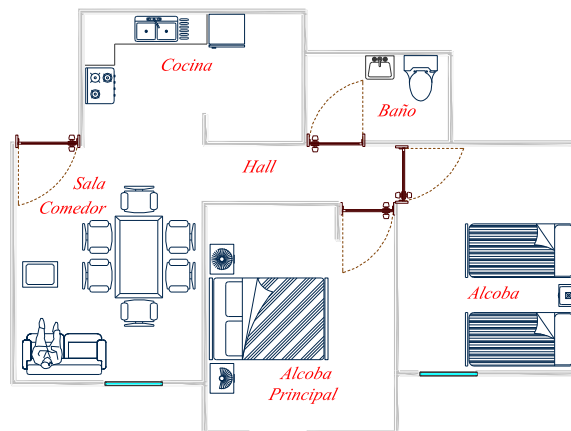


Figura. Planta arquitectónica – Proyecto Multifamiliar San Sebastian

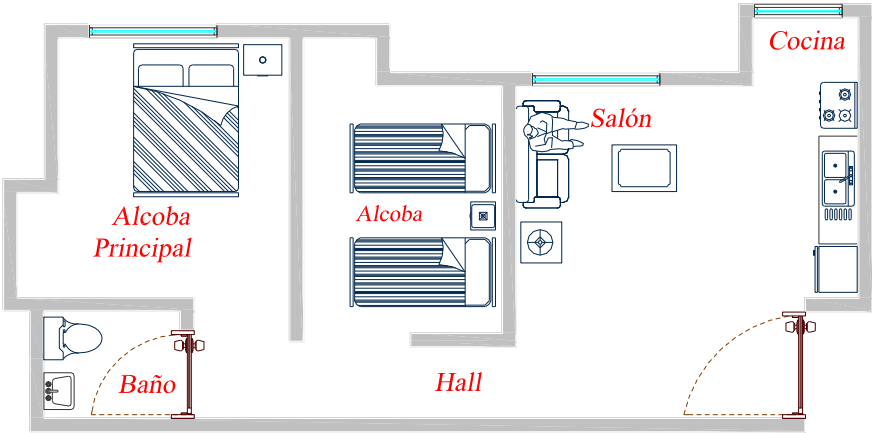


Tabla. Inventario de viviendas de interés social existentes en la ciudad de San Juan de Pasto.

VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL EXISTENTES								
No	Nombre del proyecto	Localización	# Viviendas	Área lote (m²)	Área construcción (m²)	Área total impermeab. (m²)	Descripción de la obra	Características técnicas de la obra
1	La Cruz segunda etapa	Comuna 6, Barrio La Cruz	35	50	45	1575	Las viviendas son de dos pisos, y cuentan con sala – comedor, cocina, tres alcobas, patio de ropas y dos baños. Todas las viviendas cuentan con redes de servicios públicos.	Sistema estructural: aporticado. Material estructural: concreto reforzado Muros en ladrillo limpio, piso en concreto simple, cubierta en teja de A-C. La tubería de desagüe de aguas servidas y aguas lluvias son de 4".
2	Urbanización Intisuyu	Sector Alto, Barrio La Carolina	6	65	62,26	373,56	Viviendas bifamiliares: cinco de un piso y una de dos pisos. Cuenta con: sala – comedor, dos alcobas, cocina con mesón en concreto reforzado y lavaplatos, un baño con sus aparatos sanitarios y un lavadero. Todas las viviendas cuentan con redes de servicios públicos.	Estructura de cimentación en zapatas, columnas y vigas en concreto de 3000 psi, piso en concreto simple, muros en ladrillo común, cubierta en teja en fibrocemento y estructura en perlines metálicos. La evacuación de aguas servidas y aguas lluvias se hace por tubería de PVC de 4".
3	Rincón de Pasto	Carrera 31 y 32 Calles 34 y 35 Barrio Aranda	20	77	47,7	954	Las viviendas constan de sala – comedor, cocina, dos alcobas, baño y un patio. La cocina cuenta con un mesón en concreto y su lavaplatos. Un baño con sus aparatos y un lavadero. Todas las viviendas cuentan con redes de servicios públicos.	La estructura de cimentación es en zapatas con vigas de amarre y de contrapeso. Estructura aporticada de vigas y columnas en concreto reforzado con una resistencia de 3000 psi. Mampostería en ladrillo común y cubierta en teja de A-C. Los diámetros de las tuberías de desagüe son de 4".
4	Balcones de la Floresta	Barrio La Floresta	15	50	35	525	Las viviendas constan de sala – comedor, cocina, dos alcobas, baño y un patio. Contiene un mesón de cocina con su lavaplatos, aparato sanitario, lavamanos y ducha, y un lavadero en el patio.	La estructura cuenta con un sistema aporticado en cumplimiento de la NSR para zonas de riesgo sísmico alto. Muros terminados en ladrillo común a la vista, pisos en repello y cubierta liviana en eternit. Los desagües de aguas lluvias y aguas negras tienen un diámetro de 4".
5	Villas del Norte	Entre el Barrio Nueva Aranda III y el Barrio Nuevo Horizonte	19	72	54.85	1042	Viviendas bifamiliares de apartamentos de tres pisos. Estos cuentan con los espacios mínimos como son: sala – comedor, dos alcobas, cocina, un baño y un patio de ropas. Todas las viviendas cuentan con redes de servicios públicos.	La estructura de cimentación es con vigas de amarre. Estructura aporticada de columnas y vigas de concreto reforzado de 3000 psi. Mampostería en ladrillo común; la evacuación de aguas lluvias y aguas negras se hace por separado y por medio de tuberías de PVC de 4"
6	Urbanización San Mateo	Carrera 3 No. 29-19 Sector Altos de La Carolina	21	60	32,87	690,27	Las viviendas constan de sala – comedor, cocina, una alcoba, un baño con todos sus aparatos sanitarios y accesorios y patio de ropas.	El piso es en concreto simple, cubierta en A-C; la estructura es un sistema aporticado con columnas y vigas en concreto reforzado de 3000 psi; cimentado sobre vigas de amarre apoyado sobre zapatas. La evacuación de aguas servidas y aguas lluvias se hace en tubería PVC de 4".
7	Urbanización Altos del Lorenzo	Calle 18 con Carrera 9 este, Sector Puerres, Suroriente de Pasto	23	42	33,6	772,80	La vivienda presenta la siguiente distribución: sala, una alcoba, cocina, un baño y un lavadero.	El diseño estructural corresponde a un sistema en pórticos; la cubierta es en teja de eternit apoyada sobre correas de madera. Los diámetros de la tubería de desagüe es de 4"
8	Urbanización Juan Pablo II	Carrera 22 No. 33-15	203	72	47	9541	Cada vivienda consta de sala – comedor, cocina, dos alcobas, un baño y patio para futura ampliación.	Sistema constructivo aporticado con columnas y vigas en concreto reforzado. Cimentación conformada por un sistema de zapatas centrales excéntricas y de lindero con vigas de contrapeso y vigas de amarre en concreto reforzado. Los desagües de aguas servidas y aguas lluvias se hace con tubería de PVC DE 4".

Tabla. Inventario de Viviendas de Interés Social en construcción y/o futuras en la ciudad de San Juan de Pasto.

VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL EN CONSTRUCCION Y/O FUTURAS							
Nombre del proyecto	Localización	# Viviendas	Área lote (m²)	Área construcción (m²)	Área total impermeab. (m²)	Descripción de la obra	Características técnicas de la obra
Urbanización San Luis	Carrera 39 No. 26-54	Torres: 26 Aptos: 1108	c / apto: 40 c / torre: 1680	c / apto: 40 c / torre: 1680	43680	Cada torre cuenta con 42 apartamentos. Cada apartamento está provisto de: sala – comedor, una alcoba principal, cocina, un baño y una habitación secundaria.	Material estructural: concreto reforzado Muros en ladrillo limpio, piso en concreto simple, cubierta en concreto (terrazza). La tubería de desagüe de aguas servidas y aguas lluvias son de 4".
Urbanización Multifamiliar San Sebastian	Carrera 27, No. 32B-40	Torres: 20 Aptos: 400	c / apto: 41 c / torre: 820	c / apto: 41 c / torre: 820	16400	Cada torre cuenta con 41 apartamentos. Cada apartamento está provisto de: sala – comedor, una alcoba principal, cocina, un baño y una habitación secundaria. Cocina con mesón en concreto reforzado y lavaplatos, un baño con sus aparatos sanitarios y un lavadero. Todas las viviendas cuentan con redes de servicios públicos.	Estructura de cimentación en zapatas, columnas y vigas en concreto de 3000 psi, piso en concreto simple, muros en ladrillo común, cubierta en teja en fibrocemento y estructura en perlines metálicos. La evacuación de aguas servidas y aguas lluvias se hace por tubería de PVC de 4".

ANEXO B
FOTOGRAFÍAS PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS
SOCIAL TIPO









ANEXO C
AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 H POR GUMBEL

AÑO	P [mm]	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})^3$	$(x - \bar{x})^4$	ln (x)	P ordenados de mayor a	Orden i	n-i	xi * (n-i)	xi * (n-i)*(n-i-1)	xi * (n-i)*(n-i-1)*(n-i-2)
1985 - 1986	27.10	-4.05	16.41184749	-66.48691906	269.3487379	3.300	46.33	1	25.000	1158.250	27798.000	639354.000
1986 - 1987	42.40	11.25	126.5365398	1423.390069	16011.4959	3.747	46.20	2	24.000	1108.800	25502.400	561052.800
1987 - 1988	36.40	5.25	27.55038595	144.6077373	759.0237658	3.595	42.40	3	23.000	975.200	21454.400	450542.400
1988 - 1989	20.60	-10.55	111.3268475	-1174.626695	12393.66697	3.025	40.10	4	22.000	882.200	18526.200	370524.000
1989 - 1990	21.60	-9.55	91.22453979	-871.2996141	8321.91666	3.073	36.40	5	21.000	764.400	15288.000	290472.000
1990 - 1991	28.70	-2.45	6.008155178	-14.72691267	36.09792864	3.357	35.50	6	20.000	710.000	13490.000	242820.000
1991 - 1992	26.80	-4.35	18.93253979	-82.37839334	358.441063	3.288	33.50	7	19.000	636.500	11457.000	194769.000
1992 - 1993	27.00	-4.15	17.23207825	-71.53300792	296.944521	3.296	33.40	8	18.000	601.200	10220.400	163526.400
1993 - 1994	33.40	2.25	5.057309024	11.37310995	25.57637456	3.509	33.40	9	17.000	567.800	9084.800	136272.000
1994 - 1995	30.40	-0.75	0.564232101	-0.423825112	0.318357863	3.414	32.00	10	16.000	512.000	7680.000	107520.000
1995 - 1996	25.00	-6.15	37.83669364	-232.7393236	1431.615386	3.219	30.60	11	15.000	459.000	6426.000	83538.000
1996 - 1997	35.50	4.35	18.91246287	82.24739141	357.6812518	3.570	30.40	12	14.000	425.600	5532.800	66393.600
1997 - 1998	32.00	0.85	0.720539793	0.611627432	0.519177593	3.466	29.80	13	13.000	387.400	4648.800	51136.800
1998 - 1999	29.80	-1.35	1.825616716	-2.466689047	3.332876394	3.395	29.60	14	12.000	355.200	3907.200	39072.000
2000 - 2001	18.80	-12.35	152.5510013	-1884.180887	23271.80801	2.934	29.30	15	11.000	322.300	3223.000	29007.000
2001 - 2002	28.70	-2.45	6.008155178	-14.72691267	36.09792864	3.357	29.10	16	10.000	291.000	2619.000	20952.000
2002 - 2003	30.60	-0.55	0.303770562	-0.167424314	0.092276554	3.421	28.70	17	9.000	258.300	2066.400	14464.800
2003 - 2004	29.30	-1.85	3.426770562	-6.343479506	11.74275649	3.378	28.70	18	8.000	229.600	1607.200	9643.200
2004 - 2005	46.33	15.18	230.3973706	3497.166242	53082.94836	3.836	27.60	19	7.000	193.200	1159.200	5796.000
2005 - 2006	40.10	8.95	80.08184749	716.6401329	6413.102297	3.691	27.10	20	6.000	162.600	813.000	3252.000
2006 - 2007	27.60	-3.55	12.61069364	-44.78251322	159.0295941	3.318	27.00	21	5.000	135.000	540.000	1620.000
2007 - 2008	29.10	-2.05	4.207232101	-8.629680305	17.70080195	3.371	26.80	22	4.000	107.200	321.600	643.200
2008 - 2009	33.50	2.35	5.517078254	12.95876804	30.43815247	3.512	25.00	23	3.000	75.000	150.000	150.000
2009 - 2010	33.40	2.25	5.057309024	11.37310995	25.57637456	3.509	21.60	24	2.000	43.200	43.200	0.000
2010 - 2011	46.20	15.05	226.4677706	3408.078638	51287.6511	3.833	20.60	25	1.000	20.600	0.000	0.000
2011 - 2012	29.60	-1.55	2.406078254	-3.732197539	5.789212566	3.388	18.80	26	0.000	0.000	0.000	0.000
Sumatoria		-1.77636E-13	1209.174865	4829.202352	174607.9558	88.79793945				11381.55	193558.6	3482521.2

DISTRIBUCIÓN GUMBEL

Estimadores por Momentos

α	μ
5.425	28.022

$$\hat{\mu} = \bar{x} - 0,45 \cdot S$$

$$\hat{\alpha} = 0,78 \cdot S$$

Estimadores por Máxima Verosimilitud

Paso	P	R	P/ α	- R/ α	δv_j	$\delta \alpha_j$	α	μ
1	0.00	0.00	8.11095E-08	-2.431E-07	3.63618E-08	-1.72434E-07	5.937	28.146
2	0.00	0.00	-9.31234E-09	2.79398E-08	-4.16475E-09	1.98211E-08	5.94	28.15
3	0.00	0.00	1.07045E-09	-3.2104E-09	4.79181E-10	-2.27738E-09	5.94	28.15
4	0.00	0.00	-1.2299E-10	3.68919E-10	-5.50351E-11	2.61708E-10	5.94	28.15
5	0.00	0.00	1.41338E-11	-4.2393E-11	6.32546E-12	-3.00729E-11	5.94	28.15
6	0.00	0.00	-1.62295E-12	4.87063E-12	-7.25367E-13	3.45548E-12	5.94	28.15
7	0.00	0.00	1.86112E-13	-5.6013E-13	8.26216E-14	-3.97573E-13	5.94	28.15
8	0.00	0.00	-2.0347E-14	6.433E-14	-7.94173E-15	4.60239E-14	5.93671	28.14586

Estimadores por Momentos L

β_0	β_1	λ_1	λ_2	α	μ
31.151	17.510	31.151	3.869	5.582	27.929

$$\hat{\mu} = \lambda_1 - 0,577216 \cdot \hat{\alpha}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\lambda_2}{\ln(2)}$$

Estimadores por Máxima Entropía

Paso	P	R	0,577216-P	1-R	δv_j	$\delta \alpha_j$	α	v
1	0.57721600	0.99998402	0.00000	1.59774E-05	-1.17441E-08	1.00	5.515	27.923
2	0.57721600	0.99998400	0.00000	1.60034E-05	1.81668E-09	1.00	5.515	27.923
3	0.57721600	0.99998400	0.00000	1.59993E-05	-2.8103E-10	1.00	5.515	27.923
4	0.57721600	0.99998400	0.00000	1.6E-05	4.34737E-11	1.00	5.515	27.923
5	0.57721600	0.99998400	0.00000	1.59999E-05	-6.7254E-12	1.00	5.515	27.923
6	0.57721600	0.99998400	0.00000	1.59999E-05	1.04061E-12	1.00	5.515	27.923
7	0.57721600	0.99998400	0.00000000	1.6E-05	-1.60871E-13	1.00	5.515	27.923
8							5.51482	27.92263

Eventos de Diseño

$$\hat{x}_T = \hat{\mu} - \hat{\alpha} \cdot \ln \{-\ln[F(x)]\}$$

Recurrencia: T	F(x)	1/T	U	U _T	Valor de Precipitacion: X _T			
					Momentos	Máxima Verosimilitud	Momentos L	Máxima Entropía
2	0.5	0.5	1.177	-1.0101E-07	30.01	30.32	29.98	29.94
3	0.666666667	0.333333333	0.901	0.427617679	32.92	33.51	32.97	32.90
5	0.8	0.2	0.668	0.828734141	36.16	37.05	36.30	36.19
10	0.9	0.1	0.459	1.24102181	40.23	41.51	40.49	40.33
15	0.933333333	0.066666667	0.371	1.434971582	42.53	44.02	42.85	42.67
20	0.95	0.05	0.320	1.555913507	44.13	45.78	44.51	44.30
25	0.96	0.04	0.286	1.641279705	45.37	47.13	45.78	45.56
30	0.966666667	0.033333333	0.260	1.705980547	46.38	48.24	46.82	46.59
35	0.971428571	0.028571429	0.241	1.757354611	47.23	49.17	47.69	47.45
40	0.975	0.025	0.225	1.799511755	47.96	49.97	48.45	48.20
0.983870968					50.37	52.60	50.92	50.64

Método de Ajuste	Parámetros	
	α	v
Momentos	58.104	113.866
Máxima Verosimilitud	50.862	116.251
Momentos L	55.384	115.419
Máxima Entropía	52.724	116.955

ANEXO D

DETERMINACION PENDIENTE DE LA CUENCA – METODO DE HORTON

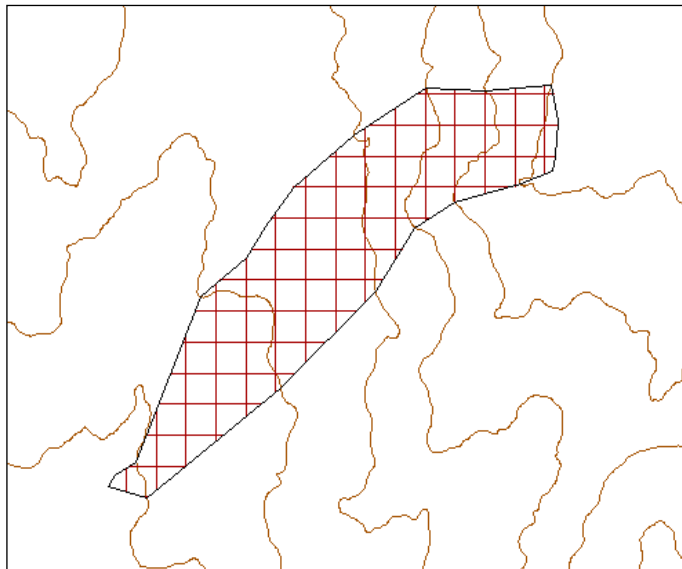
Una vez construida la malla, se miden las longitudes de las líneas de la malla dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel²⁸.

La pendiente de la cuenca en cada dirección de la malla, se calcula así:

$$S_x = \frac{N_x * D}{L_x}$$

$$S_y = \frac{N_y * D}{L_y}$$

Figura. Grilla de análisis para el cálculo de la pendiente de la cuenta según método de Horton.



Donde:

S _x	Pendiente en el sentido x.
S _y	Pendiente en el sentido y.

²⁸ Disponible en Internet: <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp1.pdf> [citado el 3 de Junio de 2013].

Nx	Número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido x.
Ny	Número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido y.
D	Equidistancia entre curvas de nivel (50m)
Lx	Longitud total de líneas de la malla en sentido x, dentro de la cuenca.
Ly	Longitud total de líneas de la malla en sentido y, dentro de la cuenca.

Tabla. Cálculo de pendiente en la cuenca según Horton.

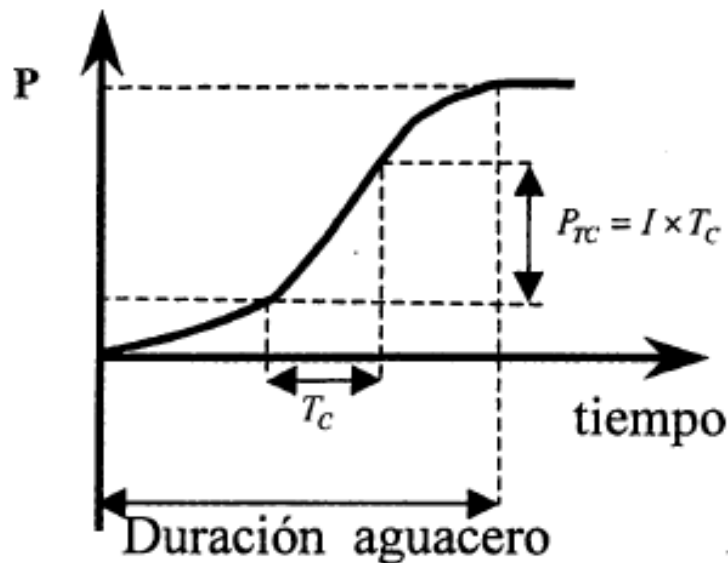
Pendiente en X		Pendiente en Y	
Longitud (m)	6317,491	Longitud (m)	6377,435
No. Intersección.	13	No. Intersección.	20
Sx (m/m)	0,10289	Sy (m/m)	0,15680

La pendiente media de la cuenca resulta del promedio aritmético de las pendientes Sx y Sy.

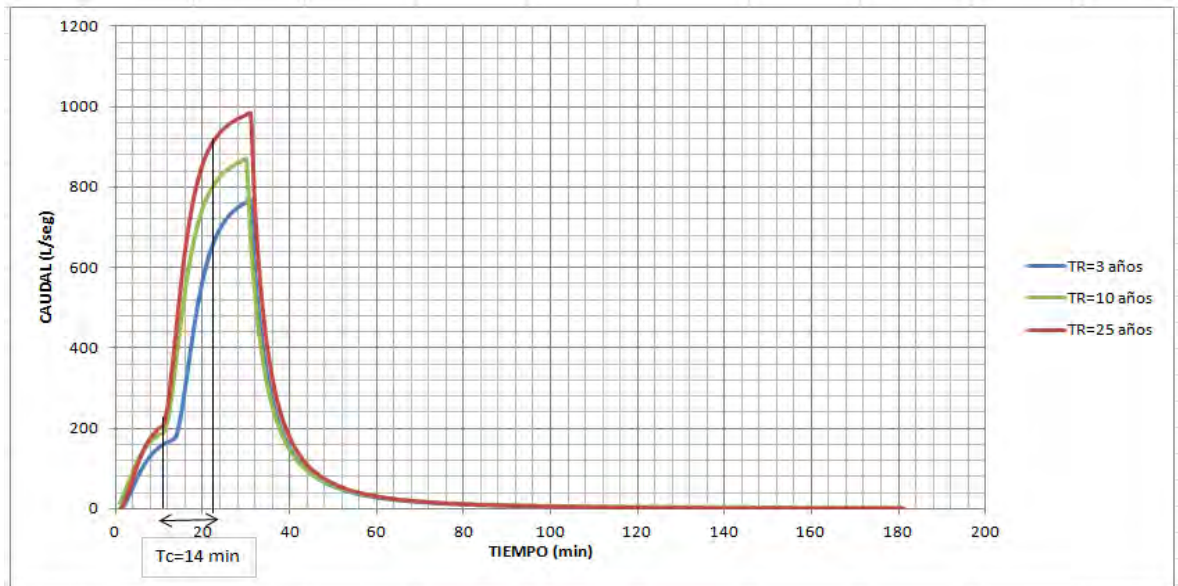
$$S = \frac{Sx + Sy}{2} = \frac{0,10289 + 0,15680}{2} = 0,1298$$

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CNCENTRACION EN BASE A LOS HIDROGRAMAS DE CAUDAL

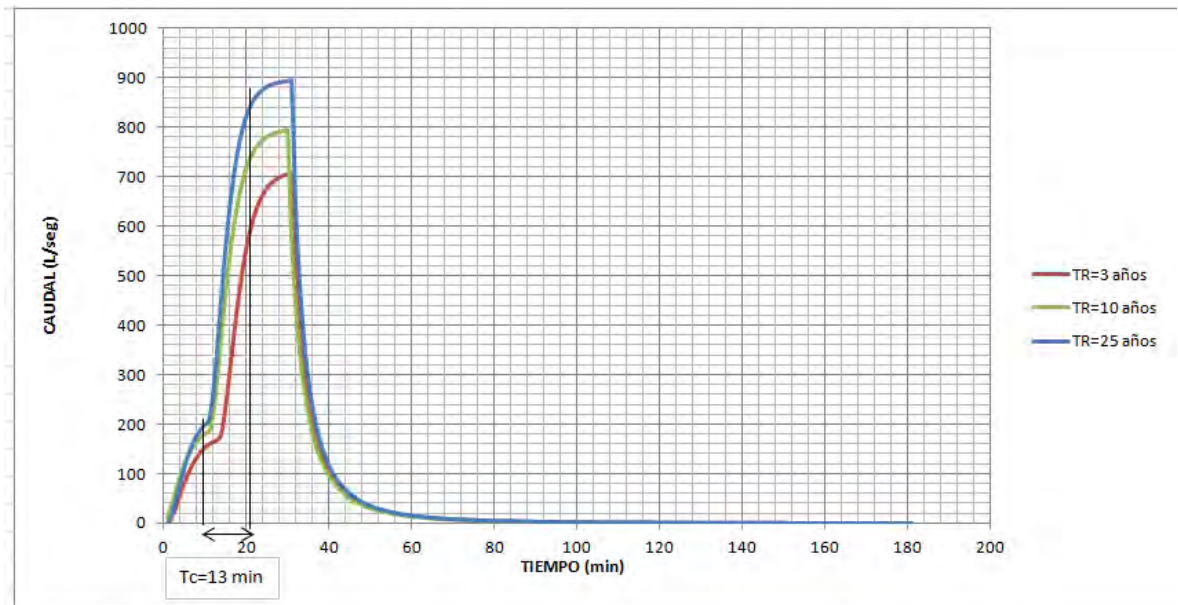
Figura. Determinación Tc con hidrogramas.



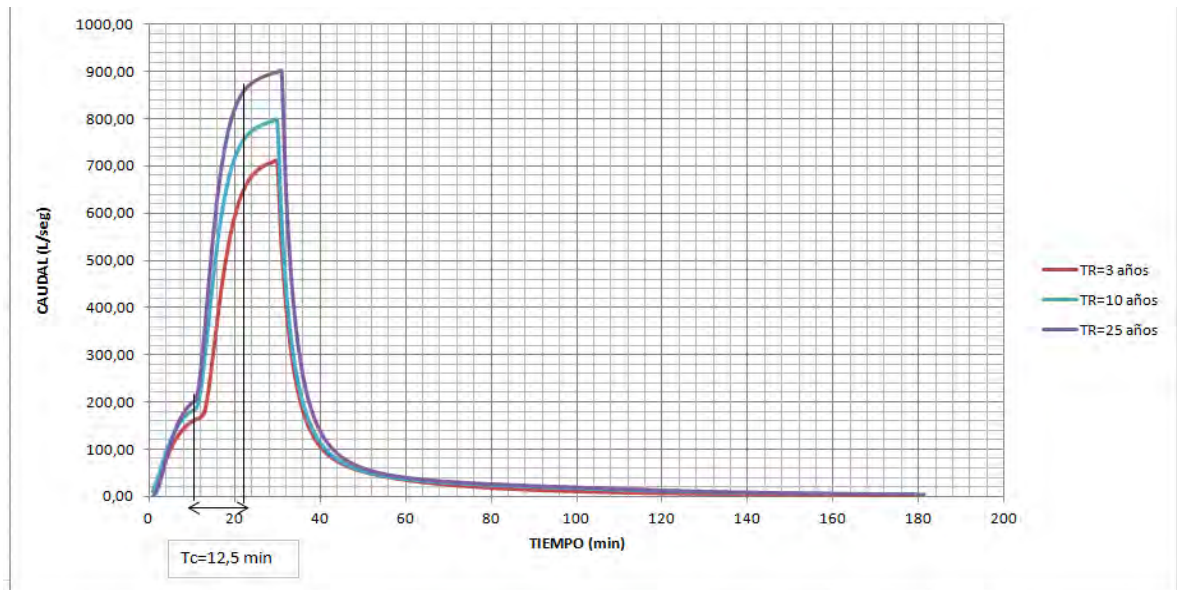
Gráfica. Determinación de Tc para escenario 1.



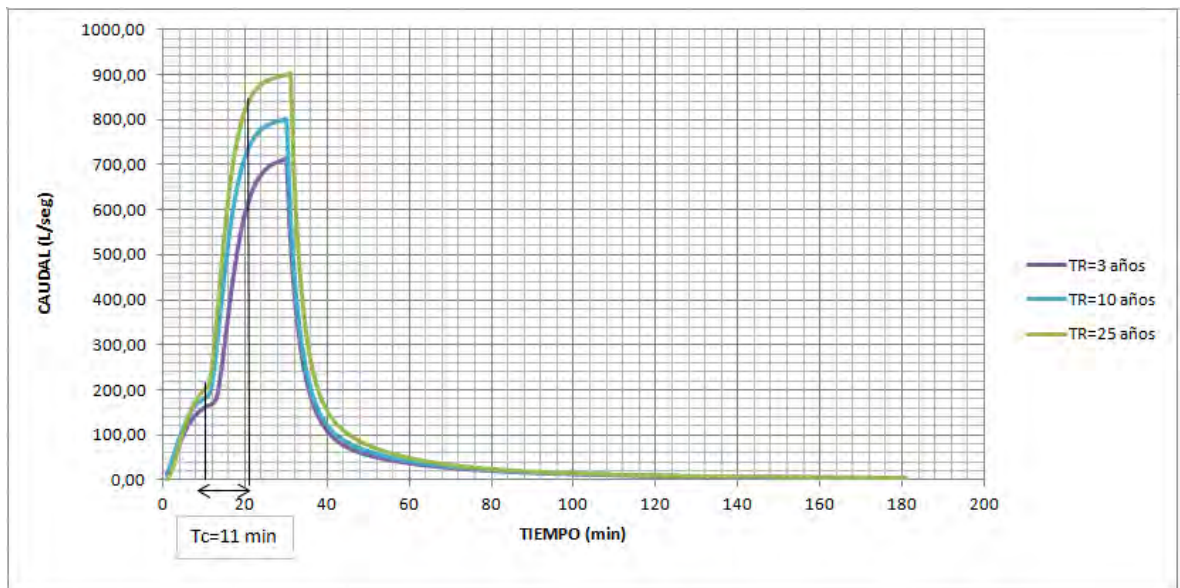
Gráfica. Determinación de Tc para escenario 2.



Gráfica. Determinación de Tc para escenario 3.



Gráfica. Determinación de Tc para escenario 4.

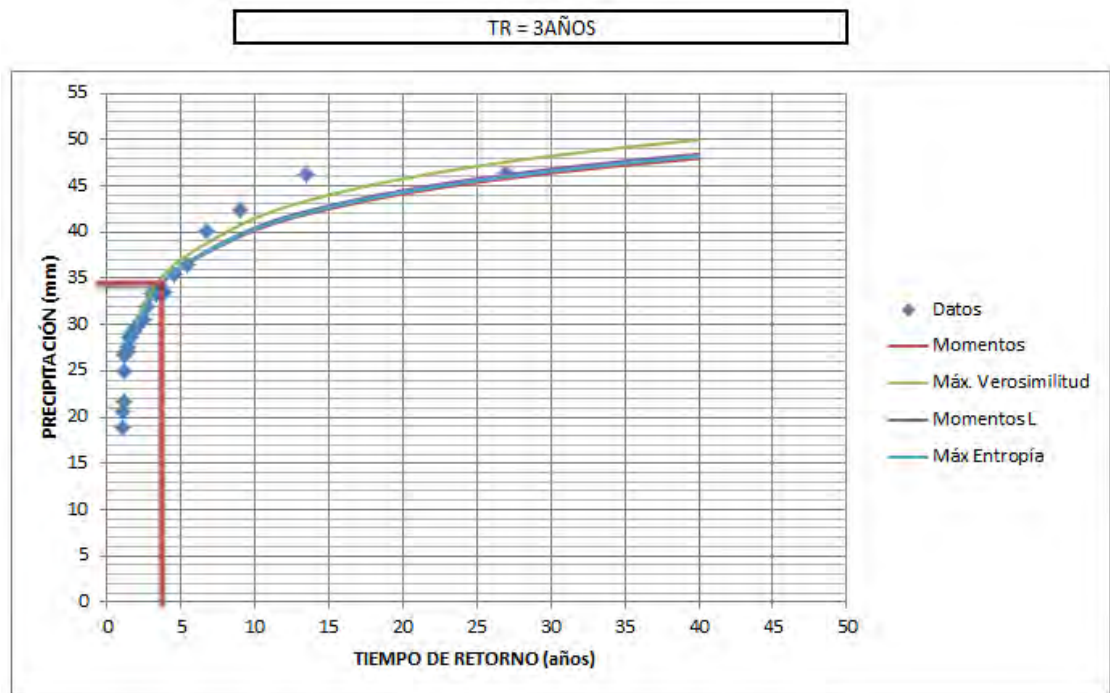


ANEXO E

LLUVIA DE DISEÑO PARA TIEMPO DE RETORNO 3 Y 10 AÑOS

- Selección de lluvia para TR= 3 años.

Gráfica. Selección de lluvia TR= 3.



Con un período de retorno de 3 años se obtiene que la precipitación es de 37,5 mm. Este valor de lluvia corresponde a un valor de precipitación diaria, pero es necesario obtener la lluvia de diseño que corresponde al tiempo de concentración para el área de drenaje en consideración, ya que la escorrentía alcanza su valor mayor en este tiempo, cuando toda el área está contribuyendo en el volumen de descarga final.

Con los coeficientes de desagregación es posible llegar desde la lluvia para un día obtenida en la gráfica, hasta la lluvia de diseño correspondiente a 15 minutos, a través del siguiente procedimiento:

$$P_{1dia} = 37,5mm$$

$$P_{15min} = X$$

$$\frac{P_{24h}}{P_{1dia}} = 1,10 \quad \rightarrow \quad P_{24h} = 1,10 * 37,5mm = 41,25 mm$$

$$\frac{P_{1h}}{P_{24h}} = 0,42 \quad \rightarrow \quad P_{1h} = 0,42 * 41,25 mm = 17,32 mm$$

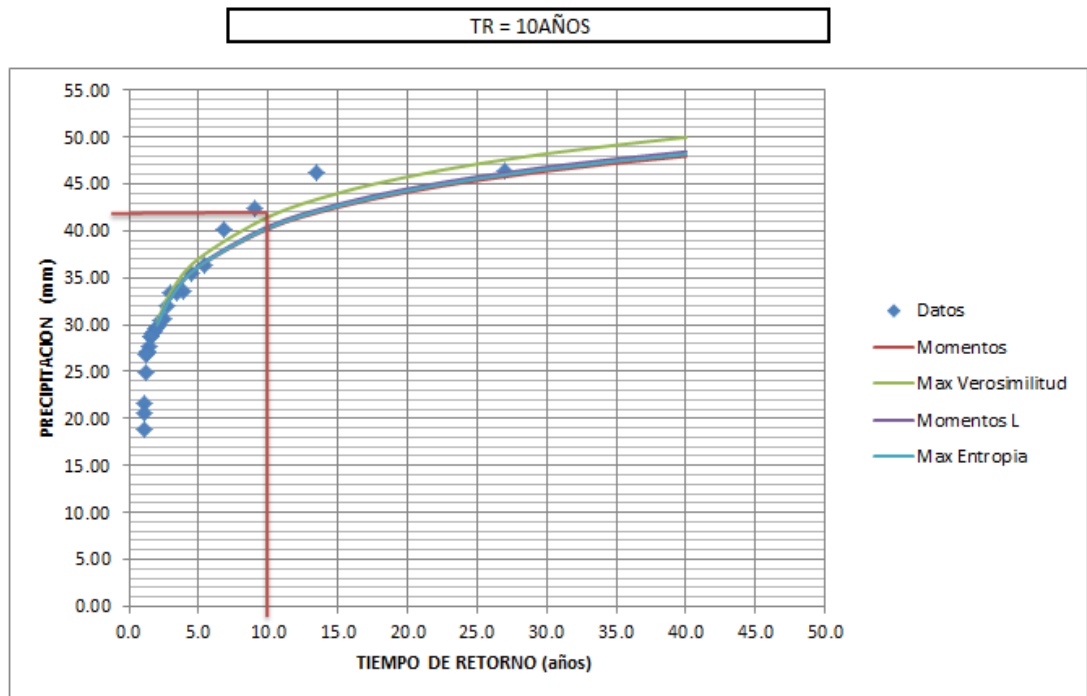
$$\frac{P_{30 min}}{P_{1h}} = 0,74 \quad \rightarrow \quad P_{30min} = 0,74 * 17,32mm = 12,82 mm$$

$$\frac{P_{15 min}}{P_{30 min}} = 0,70 \quad \rightarrow \quad P_{15 min} = 0,70 * 12,82mm = 8,97 mm$$

Por lo tanto, con base en un período de retorno de 3 años, la lluvia es de 8,97 mm/15 min.

- **Selección de lluvia para TR=10 años.**

Gráfica. Lluvia de diseño TR= 10 años.



En la gráfica, se observa que la lluvia de un día para un TR= 10 años es de 42 mm, para llegar hasta la lluvia de diseño correspondiente a 15 minutos se sigue el siguiente procedimiento:

$$P_{1\text{día}} = 42\text{mm}$$

$$P_{15\text{min}} = X$$

$$\frac{P_{24h}}{P_{1\text{día}}} = 1,10 \quad \rightarrow \quad P_{24h} = 1,10 * 42 \text{ mm} = 46,2 \text{ mm}$$

$$\frac{P_{1h}}{P_{24h}} = 0,42 \quad \rightarrow \quad P_{1h} = 0,42 * 46,2 \text{ mm} = 19,40 \text{ mm}$$

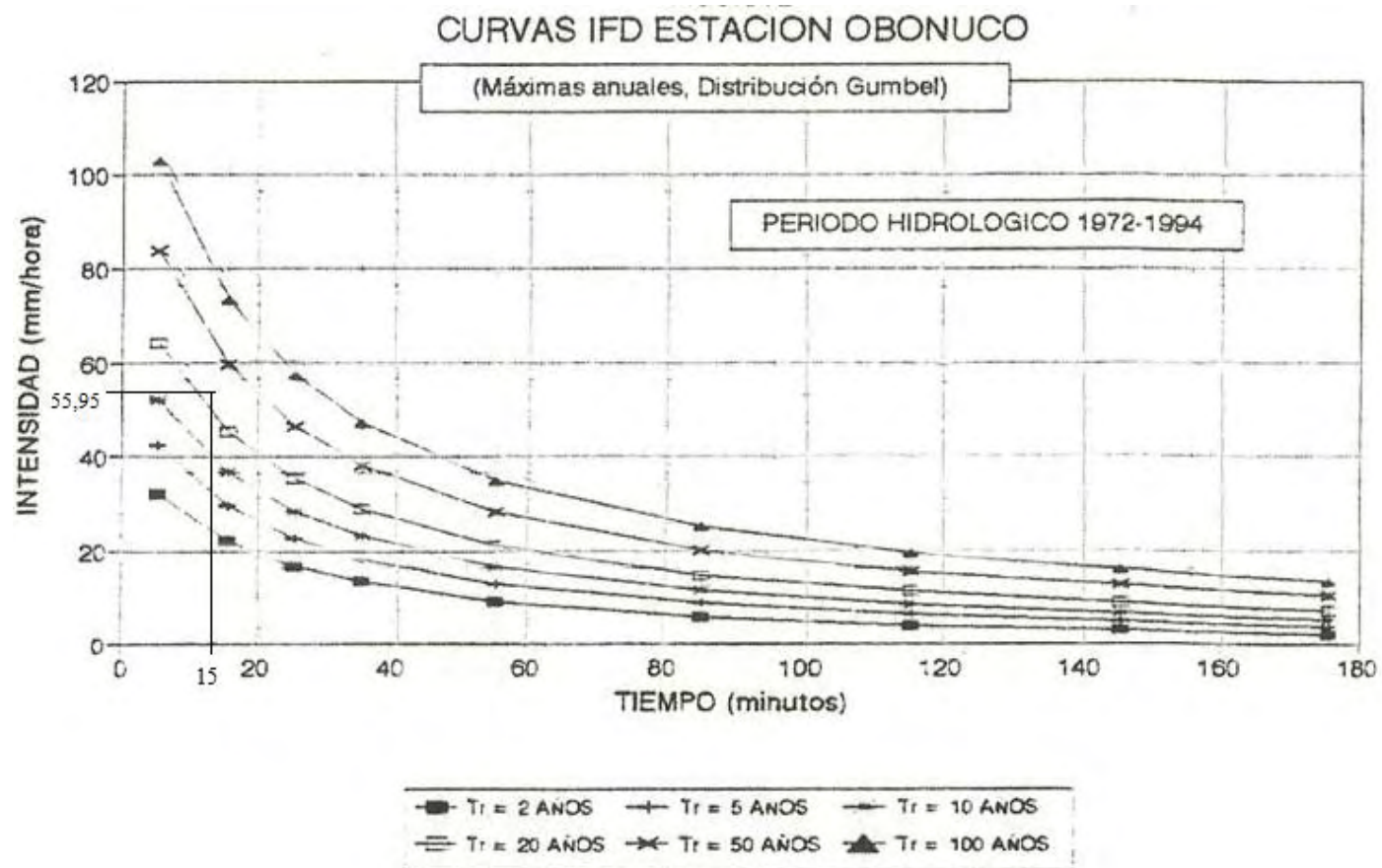
$$\frac{P_{30 \text{ min}}}{P_{1h}} = 0,74 \quad \rightarrow \quad P_{30\text{min}} = 0,74 * 19,40\text{mm} = 14,36 \text{ mm}$$

$$\frac{P_{15 \text{ min}}}{P_{30 \text{ min}}} = 0,70 \quad \rightarrow \quad P_{15 \text{ min}} = 0,70 * 14,36\text{mm} = 10,05 \text{ mm}$$

Por lo tanto, con base en un período de retorno de 10 años, la lluvia es de 10,05 mm/15 min.

ANEXO F
FAMILIA DE CURVAS IDF – EMPOPASTO S.A.

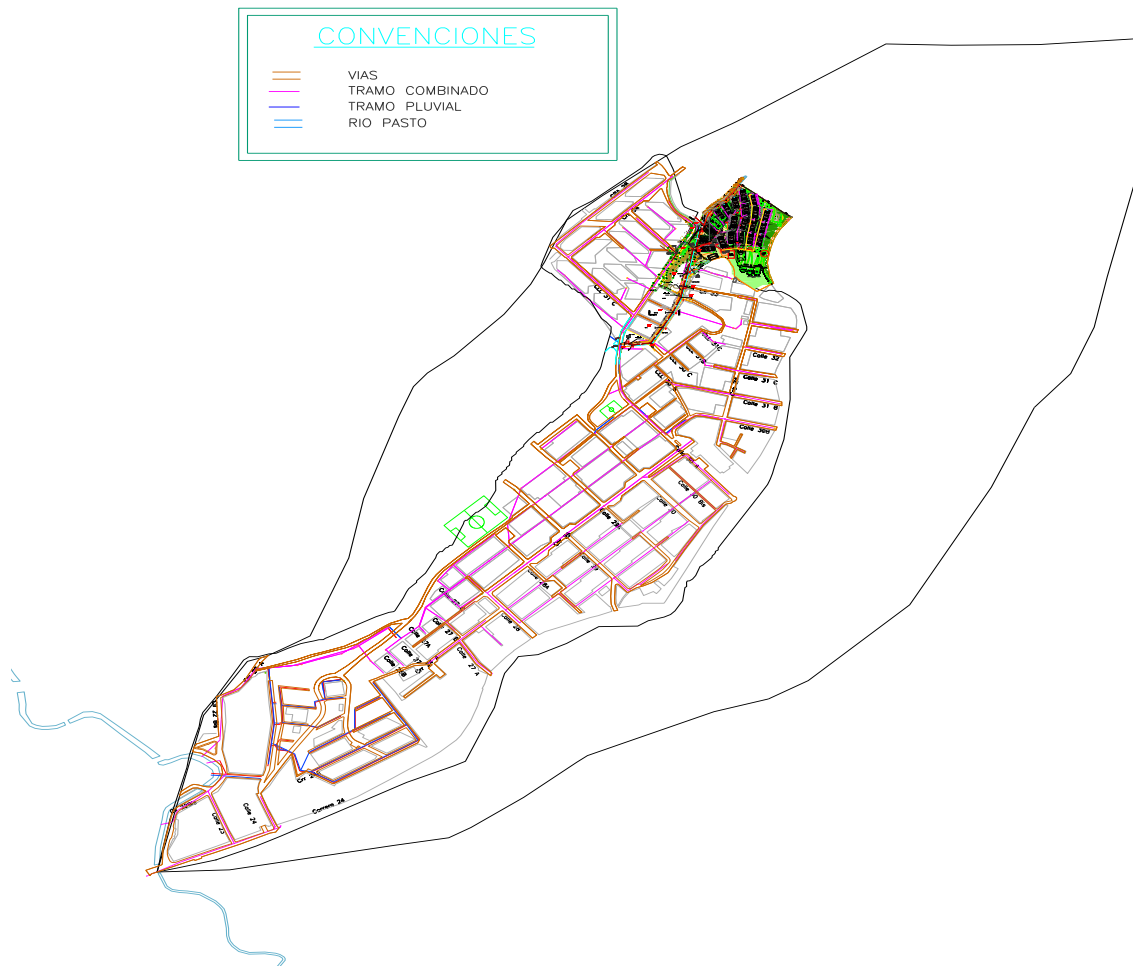
Figura. Curvas IDF EMPOPASTO S.A., Estación Obonuco.



ANEXO G

DELIMITACIÓN CUENCA URBANA

Figura. Cuenca urbana.



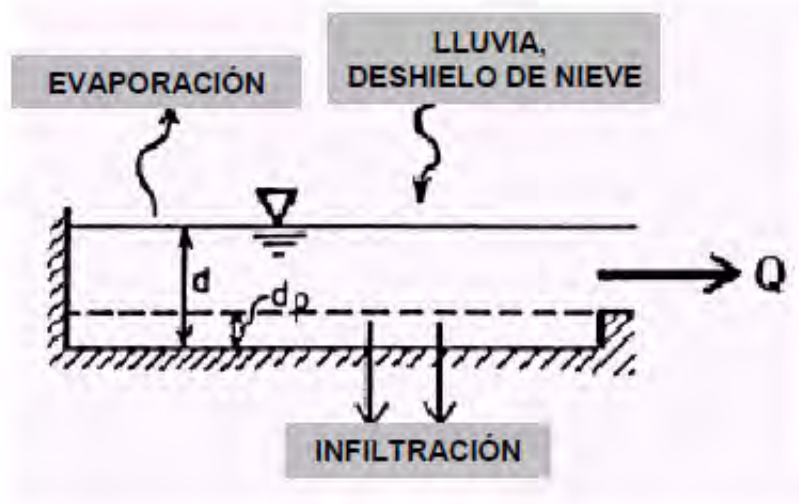
ANEXO H

METODO EMPLEADO POR SWMM

Escurrentía Superficial. La visión conceptual del fenómeno de la escurrentía utilizado por SWMM se ilustra en la Figura. Cada una de las cuencas se trata como un depósito no lineal. Los aportes de caudal provienen de la precipitación (lluvia) y de cualquier otra cuenca situada aguas arriba. Existen diferentes caudales de salida como la infiltración, la evaporación, y la escurrentía superficial.

La escurrentía superficial por unidad de área, Q se produce únicamente cuando la profundidad del agua de este “depósito” excede el valor máximo de almacenamiento en depresión, d_p , en cuyo caso el caudal de salida se obtiene por la aplicación de la Ecuación de Manning. La profundidad del agua en la cuenca se actualiza continuamente en cada uno de los instantes del cálculo (tiempo expresado en segundos)²⁹.

Figura. Visión general del fenómeno de la escurrentía en SWMM.



Modelo hidráulico de transporte. El transporte del agua por el interior de cualquiera de los conductos representados en SWMM está gobernado por ecuaciones de la conservación de la masa y la cantidad de movimiento, para el análisis y modelación se realizó con el “*Modelo de onda cinemática*”, en este modelo el caudal máximo de transporte que puede fluir por el interior de un conducto es el caudal a tubo lleno determinado por la Ecuación de Manning.

²⁹ Disponible in Internet: www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf [citado el 28 de Mayo de 2013].

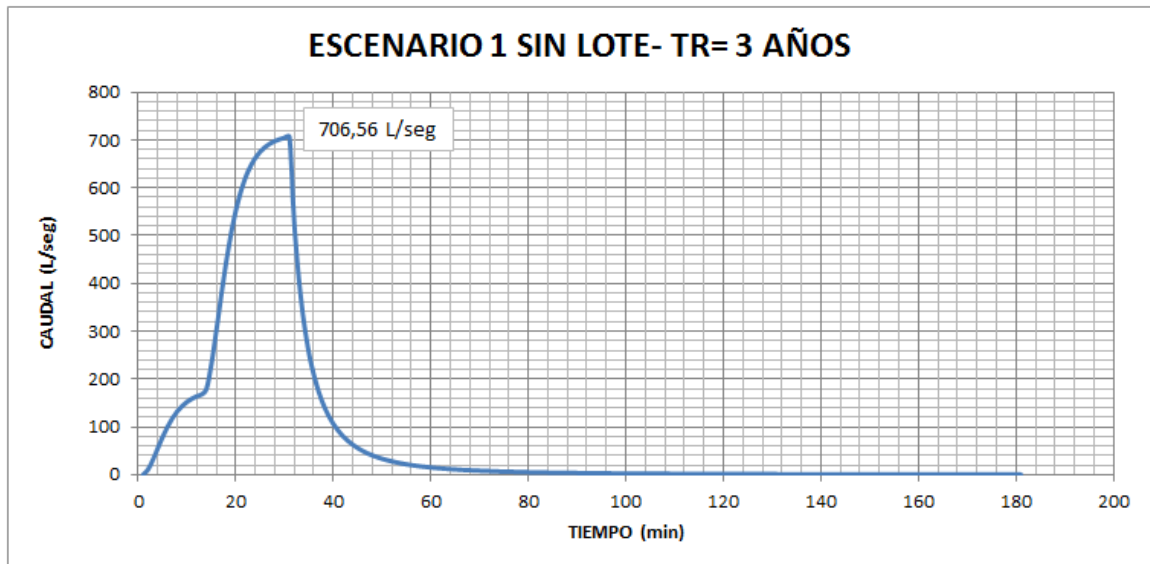
Cualquier exceso de caudal sobre este valor en el nudo de entrada del conducto se pierde del sistema o bien puede permanecer estancado en la parte superior del nudo de entrada y entrar posteriormente en el sistema cuando la capacidad del conducto lo permita.

El modelo de la onda cinemática permite que tanto el caudal como el área varíen tanto espacial como temporalmente en el interior del conducto. Esto genera una cierta atenuación y retraso en los hidrogramas de salida respecto de los caudales de entrada en los conductos.³⁰

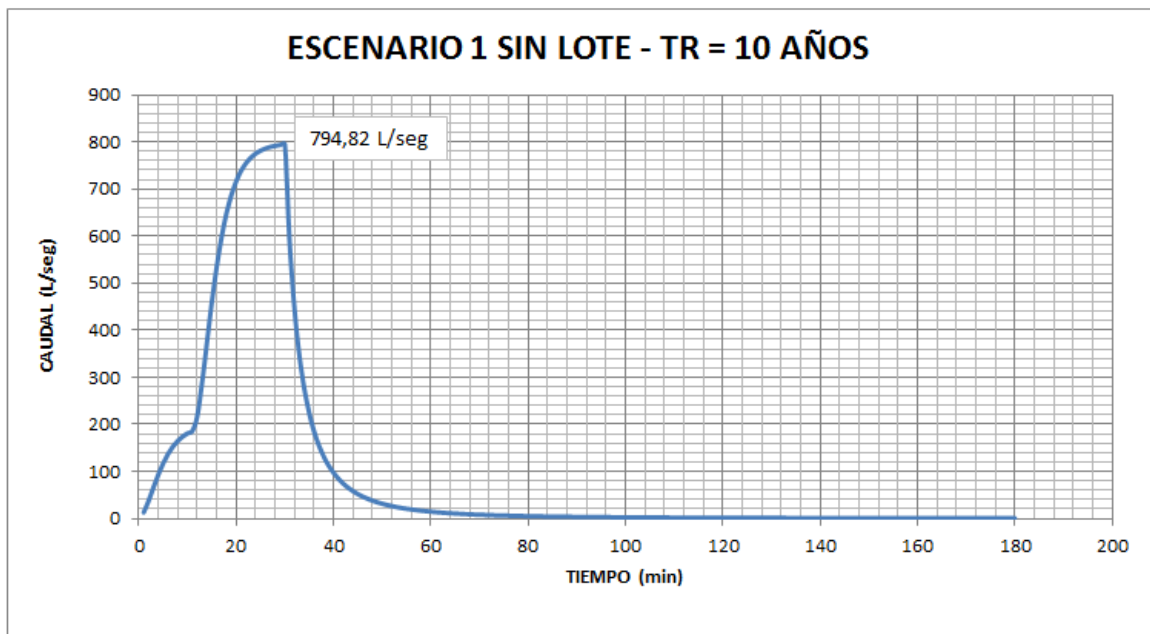
³⁰ Disponible in Internet: www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf [citado el 28 de Mayo de 2013].

ANEXO I
MODELACION ESCENARIO I CON TR=3AÑOS Y TR=10AÑOS

Gráfica. Hidrograma para TR= 3 años



Gráfica. Hidrograma para TR= 10 años.



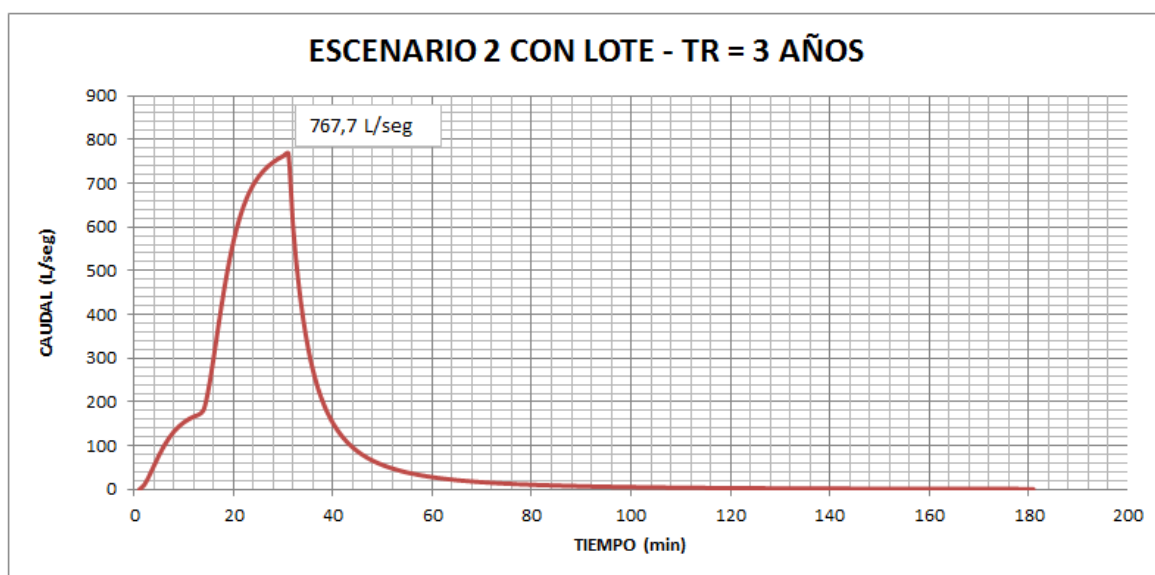
El comportamiento de los hidrogramas presenta un comportamiento inicial característico, esto es entretanto la escorrentía superficial llega a todos los puntos de captación y desembocan en el punto de descarga final, hasta éste punto los componentes que aportan volumen al caudal al cuerpo receptor son la precipitación directa y la escorrentía superficial de la zona próxima a la descarga, una vez que toda el área esté aportando flujo superficial, se observa un ascenso constante de caudal hasta un punto máximo correspondiente al caudal pico.

Tabla. Caudales máximos según tiempo de retorno.

Tiempo Retorno (años)	Caudal pico (L/seg)
3	706,56
10	794,82
25	893,10

ESCENARIO DE SIMULACIÓN II

Gráfica. Hidrograma para TR= 3 años.



Gráfica. Hidrograma para TR= 10 años.

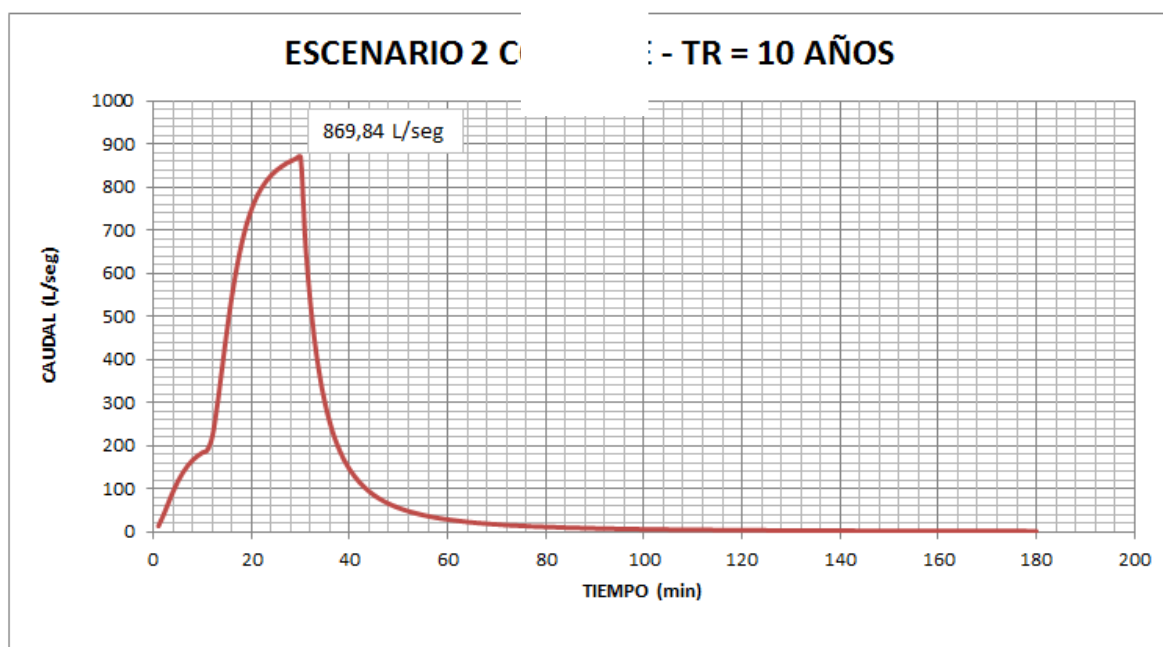


Tabla. Caudales máximos según tiempo de retorno.

Tiempo retorno (años)	Caudal pico (L/seg)
3	767,7
10	869,84
25	983,66

TECNICAS DE INFILTRACIÓN J Y ALMACENAMIENTO

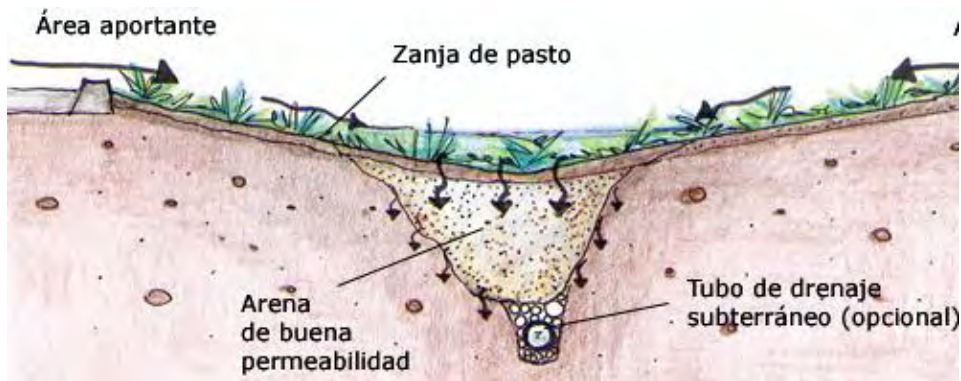
Técnicas de infiltración. Son estructuras en donde el agua es almacenada hasta producir su infiltración de tal manera que se controla su cantidad descargada, y en donde además el suelo sirve como filtro natural de contaminantes presentes en el agua de escorrentía.

Esta infiltración en el suelo ayuda a la recarga natural de los acuíferos lo que permite acumular el agua que después es utilizada para el abastecimiento de las zonas urbanas.

- ✓ **Zanja de infiltración.** Son pequeños canales longitudinales, rellenos de material granular que sirven para recoger y almacenar el agua de escorrentía hasta que se produce la infiltración de la misma al terreno natural. Al infiltrarse la escorrentía se logra un alto nivel de remoción de partículas, sólidos suspendidos, bacterias, metales y nutrientes. Las zanjas pueden diseñarse para infiltrar la totalidad del volumen recibido o parte de él. En este último caso, se utiliza una tubería perforada en su interior que conduce parte del flujo a otros sistemas de drenaje como colectores.

Estas obras se integran fácilmente al paisaje urbano, sin embargo requieren mayores cuidados al tener que verificar el correcto funcionamiento del material granular de relleno que tenderá a colmatarse³¹.

Figura. Esquema de una zanja de infiltración.



- ✓ **Estanques de infiltración.** Son depresiones de poca profundidad en áreas abiertas, capaces de almacenar temporalmente un bajo volumen de agua para infiltrarla en un período de días. Idealmente se diseñan para una altura de agua de hasta 10 cm con una retención máxima de 36 horas³². Su construcción incluye un desagüe de emergencia en caso de que si se supera la capacidad de almacenamiento es evacuada.

Su diseño debe tener en cuenta las características de superficie con cubierta vegetal y buena permeabilidad del suelo, de tal manera que se permita una alta remoción de contaminantes mediante mecanismos de infiltración, adsorción y descomposición microbiana.

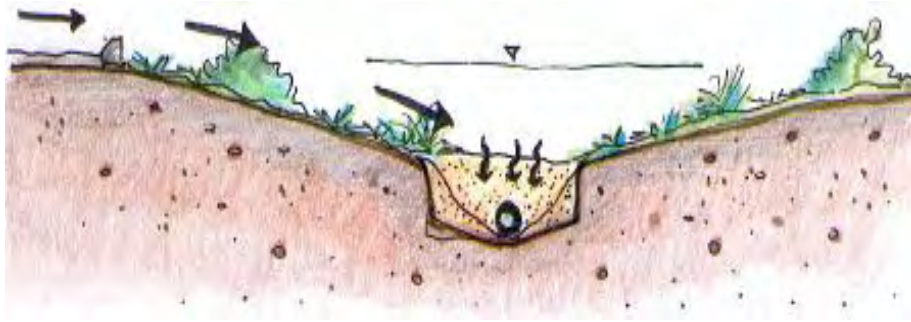
La gran ventaja de estas obras es que después de los eventos de tormenta y la infiltración de las escorrentías, su fondo queda seco y puede aprovecharse para realizar otro tipo de actividades de tipo recreacional o de paisaje³³.

Figura. Esquema de estanque de infiltración.

³¹ Disponible en Internet: <http://www.centroaguasurbanas.cl/main.htm> [citado el 12 de Junio de 2013].

³² Disponible en Internet: http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20070317102718&hdd_nom_archivo=Capitulo_43_46_Disenio%20Seleccion%20y%20Presentacion%20de%20Obras.pdf [citado el 13 de Junio de 2013].

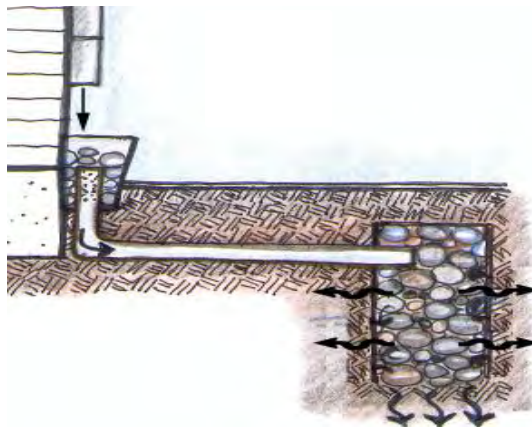
³³ Disponible en Internet: <http://www.centroaguasurbanas.cl/main.htm> [citado el 13 de Junio de 2013].



- ✓ **Pozos de infiltración.** Su funcionamiento es parecido a las zanjas de infiltración con la diferencia que son excavaciones más profundas verticalmente y normalmente cilíndricas. Su diseño se hace para suelos con buena permeabilidad, donde no es posible realizar obras superficiales.

Estas excavaciones pueden o no estar rellenas de material poroso y generalmente van rodeados de un material geotextil. Es posible construir pequeños o grandes pozos de infiltración. Los pozos pequeños son pensados para infiltrar la escorrentía de superficies pequeñas, como el techo de una casa, por ejemplo. Los grandes pozos de infiltración, por otra parte, pueden tener varios metros de profundidad e infiltrar las aguas lluvias de un pequeño vecindario. Estas soluciones necesitan de un mayor mantenimiento, que verifique el buen estado del relleno del pozo, así como su capacidad de almacenamiento³⁴.

Figura. Esquema pozo de infiltración.



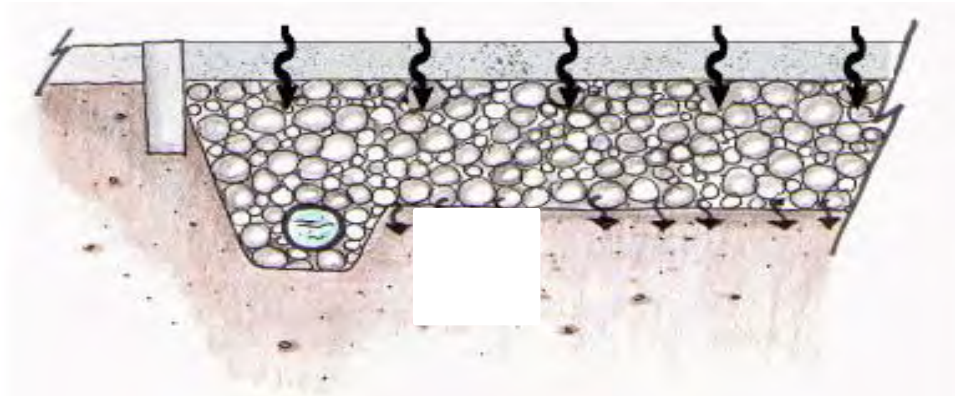
Pavimentos permeables. Son superficies que permiten la infiltración de la escorrentía, constituidas por una capa de pavimento con alta permeabilidad o de una superficie estabilizada permanente y una subbase permeable. Su estructura

³⁴ Ibíd.

brinda una resistencia que hace de este pavimento útil en áreas de estacionamientos residenciales, y en zonas con niveles bajos de tránsito³⁵.

Su construcción debe tener un cuidado especial en la compactación para mantener una permeabilidad óptima y así evitar riesgos de colmatación del pavimento debido a los sedimentos arrastrados por el escurrimiento. Su instalación permite o bien infiltrar el agua directamente al suelo o bien almacenarla en la subbase y después drenarla a otro lugar. Esta alta capacidad de detención y almacenamiento de aguas lluvias también tiene la ventaja que retiene los contaminantes presentes en el agua mejorando su calidad. Por otro lado, permiten una mejor adherencia con el neumático a mayores velocidades, disminuyendo riesgos de circulación en eventos de tormenta.³⁶

Figura. Esquema de pavimento permeable.



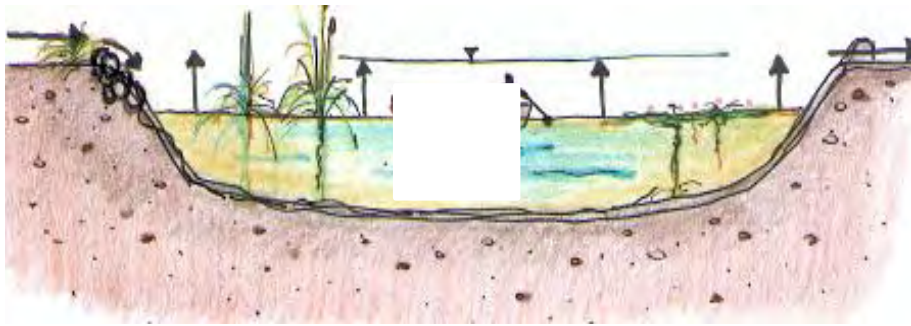
Técnicas de almacenamiento. Estas obras están diseñadas para frenar durante unas horas la escorrentía de las tormentas, liberando el volumen gradualmente a la red de colectores o al sistema natural de drenaje. El objetivo de estas soluciones es disminuir los caudales máximos aguas abajo mitigando los daños en los cauces por erosión y en la urbanización por inundaciones. Estas obras se ubican aguas debajo de las zonas que drenan, utilizando extensos terrenos, sin infiltrar las escorrentías captadas. (Ver Anexo J).

³⁵ Disponible en Internet: <http://www.centroaguasurbanas.cl/main.htm> [citado el 13 de Junio de 2013].

³⁶ Disponible en Internet: http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20070317102718&hdd_nom_archivo=Capitulo_43_46_Disenio%20Seleccion%20y%20Presentacion%20de%20Obras.pdf [citado el 13 de Junio de 2013].

- ✓ **Lagunas de retención.** Estas obras retienen un volumen de escorrentías para tormentas frecuentes, manteniendo un nivel permanente de aguas. Su función principal es almacenar aguas lluvias para luego descargarlas controladamente, de modo de amortiguar las crecidas urbanas. Además estas lagunas artificiales son elementos muy eficientes para la remoción de sedimentos y contaminantes mediante sedimentación. Estas obras tienen alto valor estético y de biodiversidad. Permiten la utilización de las aguas para otros fines (riego o apagado de incendios, pesca)³⁷.

Figura. Corte transversal en esquema de laguna de retención.

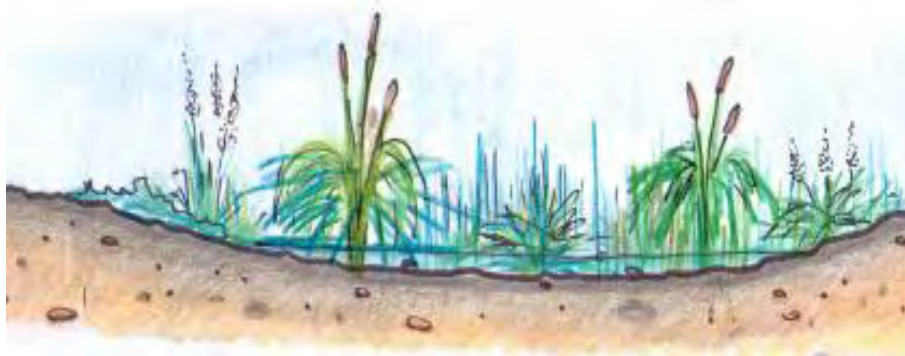


- ✓ **Humedales.** Son terrenos inundados permanente o temporalmente, debido a la saturación de los suelos. La vegetación debe ser escogida especialmente para condiciones acuáticas y de humedad permanente, de tal manera de contribuir a la disminución de la velocidad de las aguas producto de inundaciones. Los humedales permiten una gran remoción de contaminantes debido a procesos como la retención, sedimentación, adsorción por medio de tratamientos biológicos³⁸.

Figura. Corte transversal en esquema de un humedal.

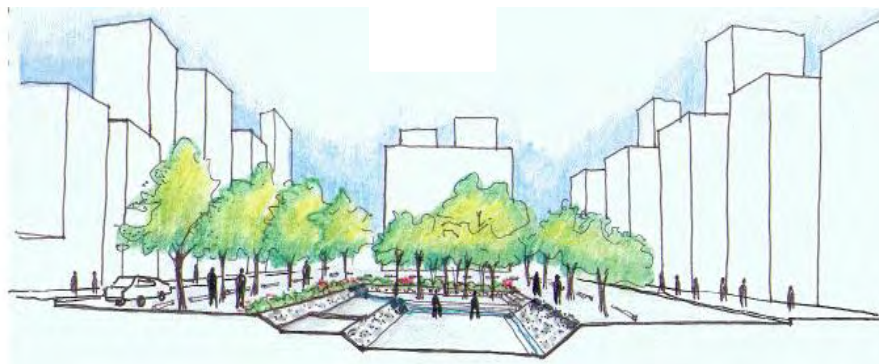
³⁷ Disponible en Internet: <http://www.centroaguasurbanas.cl/main.htm> [citado el 13 de Junio de 2013].

³⁸ Ibíd.



- ✓ **Estanques.** Son grandes zonas diseñadas para interceptar aguas lluvias durante las tormentas y vaciarse completa y controladamente al sistema de drenaje. Su vaciado se estima en no más de 24 horas. El principal objetivo de estas obras es controlar la cantidad de escorrentías, reduciendo los caudales máximos. Pueden recibir escorrentías de conjuntos residenciales, áreas comerciales, calles y techos para controlar la evacuación hacia aguas abajo. Dependiendo del diseño del estanque varía su uso para otros fines en beneficio de la comunidad con fines de recreación o paisaje. Su mantención se remite especialmente a la limpieza de su superficie tras eventos de tormenta³⁹.

Figura. Uso de estanque de almacenamiento como parque.



Los sistemas de drenaje urbano mencionados anteriormente son los de mayor aplicación, su planificación depende de las condiciones geográficas de la zona, la cantidad de escurrimiento a evacuar, y las condiciones de impermeabilidad del terreno, su buen funcionamiento durante los eventos de lluvia depende de una escogencia acorde a las necesidades de la población y además de un mantenimiento periódico.

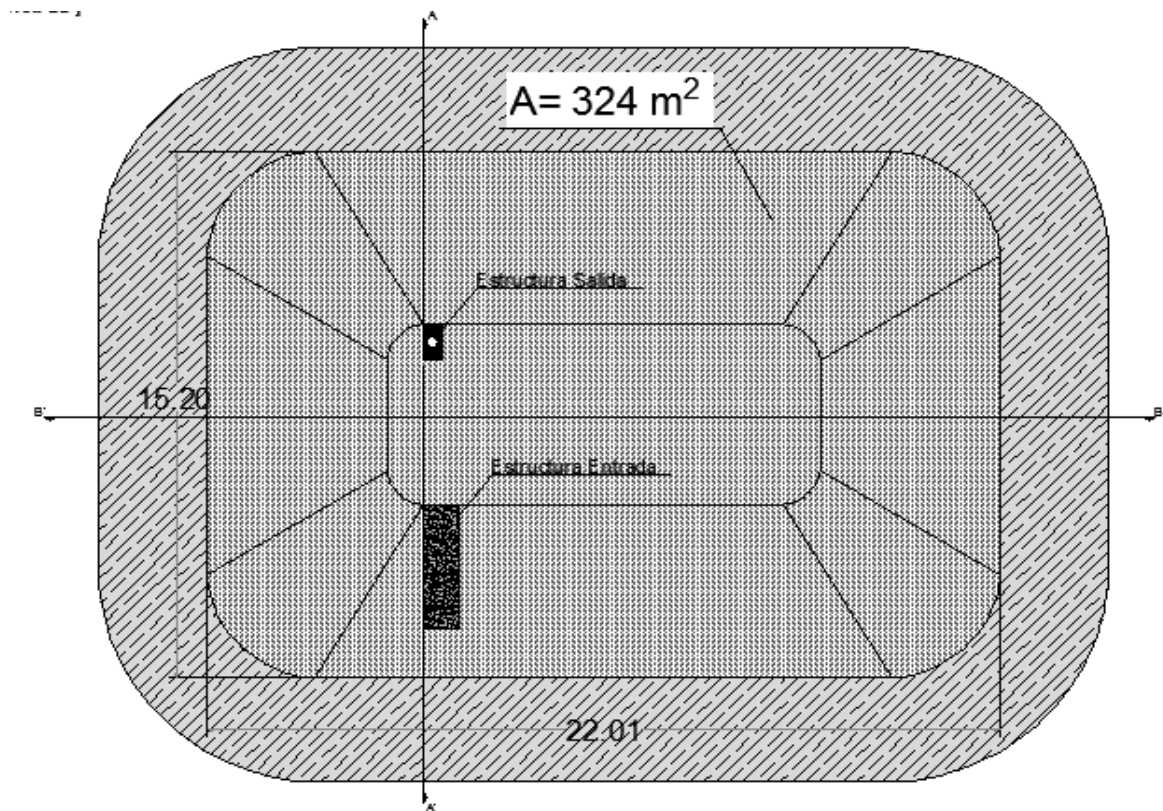
³⁹ Disponible en Internet: <http://www.centroaguasurbanas.cl/main.htm> [citado el 14 de Junio de 2013].

El presente estudio considera el control de la cantidad de las aguas lluvia, mediante obras de almacenamiento, para prevenir, regular y tratar el volumen de esorrentía generado en un punto (Urbanización Multifamiliar San Sebastián) de tal manera que se evite saturaciones en el transporte de la esorrentía aguas abajo.

ANEXO K

DETALLES PLANOS RESERVORIO Y CANALETAS

Figura. Planta Skatepark.



Este reservorio se va a construir con una base de arcilla compactada y un recubrimiento de suelo cemento para evitar erosiones y filtraciones, en la entrada se va a disponer de un cabezal de entrada y aliviaderos en concreto para impedir la socavación del material por la fuerza del agua y por ende tenga una vida útil mayor (Figura. Corte A-A' y Figura. Detalle estructura de entrada).

La estructura de salida está provista de una rejilla la cual está encargada de impedir el ingreso de materiales extraños que puedan causar daños y mal funcionamiento al cumplir su función principal que es servir como mecanismo de detención de aguas lluvia (Figura. Detalle estructura de salida) la se puede observar en detalle la rejilla, la cual está proyectada con varillas corrugadas de ½ pulgada y una separación de 5cm.

Figura. Corte A – A`

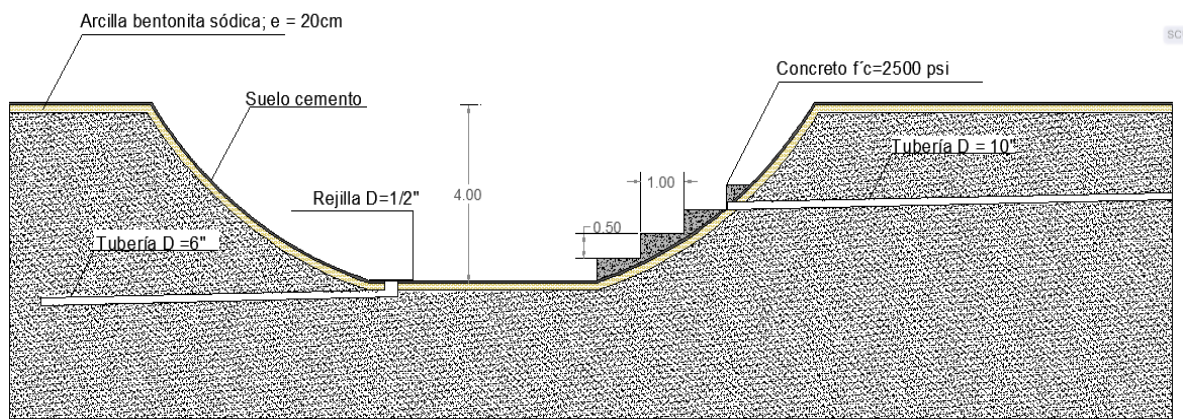


Figura. Corte B – B`

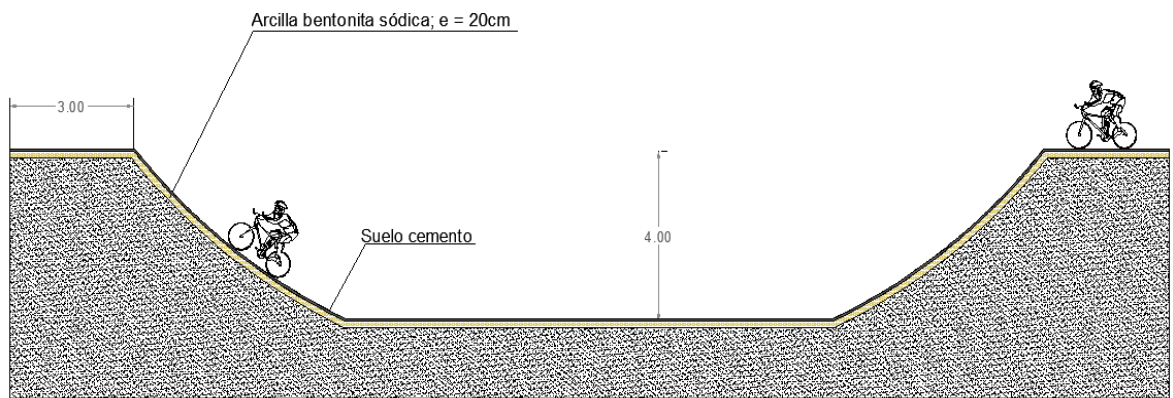


Figura. Detalle estructura de entrada.

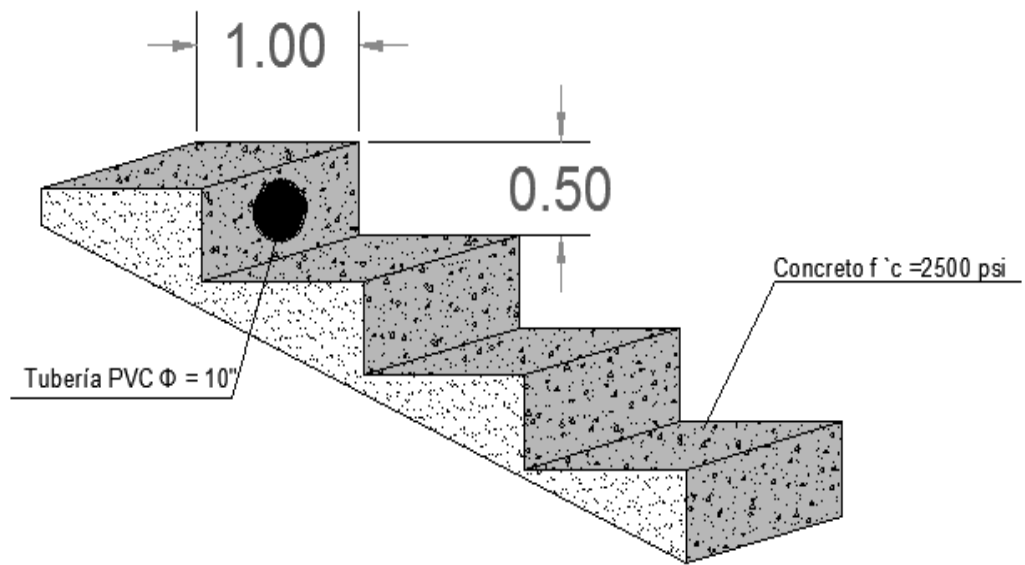


Figura. Detalle estructura salida.

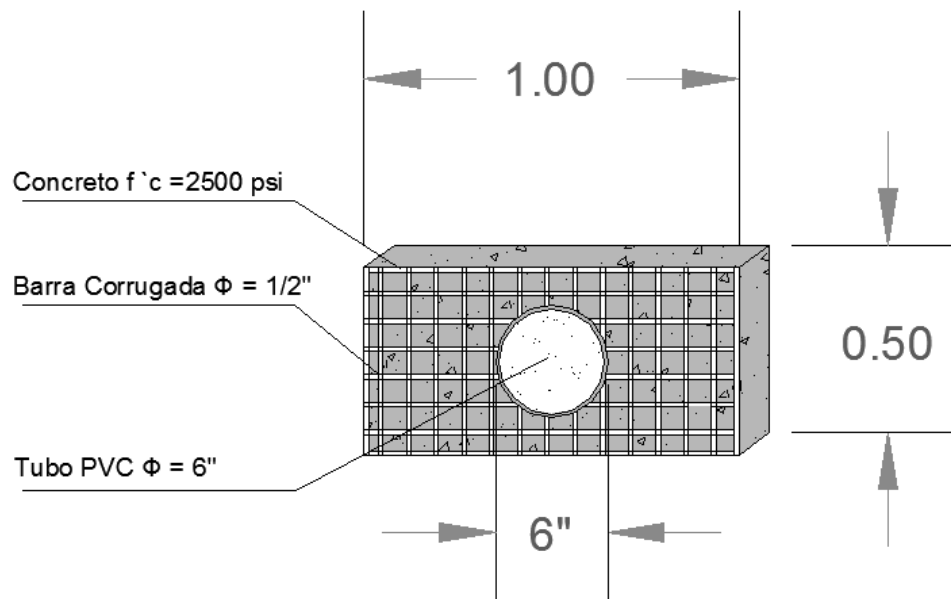
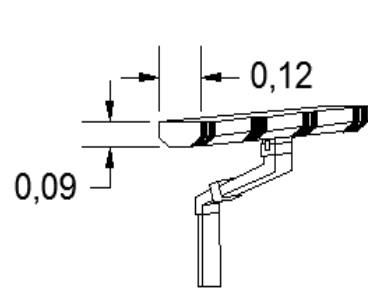
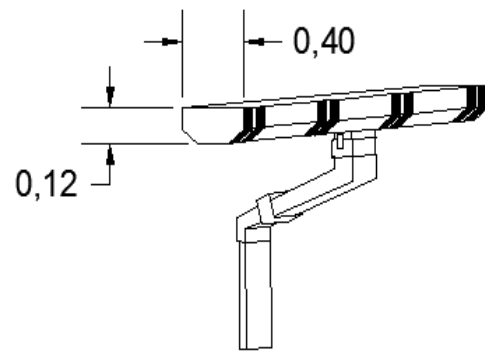


Figura. Detalle canaletas.



CANALETA CONVENCIONAL



CANALETA ALTERNATIVA DISEÑO