

**ESTUDIO Y DIAGNÓSTICO DE LA MICROCUENCA DEL ARROYO LA
SELVA CON PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS
HIDRAULICAS
(SINCELEJO – SUCRE)**

**FRANCISCO JAVIER ACOSTA SEVERICHE
ALFREDO MIGUEL SANCHEZ PÉREZ**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SINCELEJO 2007**

**ESTUDIO Y DIAGNÓSTICO DE LA MICROCUENCA DEL ARROYO LA
SELVA CON PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS
HIDRAULICAS
(SINCELEJO – SUCRE)**

**FRANCISCO JAVIER ACOSTA SEVERICHE
ALFREDO MIGUEL SANCHEZ PÉREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero agrícola**

Director.

**GUSTAVO BARROS CANTILLO
Ing. Agrícola Esp. Ciencias Ambientales**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SINCELEJO 2007**

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, Abril de 2007

“Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo”

DEDICATORIA

A Dios principalmente por darme el deseo y las fuerzas para superarme, a mis padres que por su esfuerzo y apoyo hicieron de mi una persona noble y victoriosa.

Francisco Javier Acosta Severiche

A Dios principalmente, a mi esposa e hijos por brindarme el apoyo y el deseo de salir adelante, a mis padres por ayudarme hacer mi sueño realidad.

Alfredo Miguel Sanchez Perez

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo manifiestan los más sinceros agradecimientos a:

Gustavo Barros Cantillo, Ing. Agrícola Especialista en ciencias ambientales.
Director del trabajo

Jorge Ordosgoitia, Topógrafo Docente del Sena. Por su colaboración y
asesoria en el presente trabajo

Carlos serpa, Estudiante de ingeniería civil de la Universidad de Sucre. Por su
asesoria en la digitalización de los planos topográficos.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para la
elaboración de este proyecto. **A TODOS MUCHAS GRACIAS**

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
1 ESTADO DEL ARTE	17
1.1 La cuenca:	17
1.1.1 Funciones de la Cuenca	17
1.1.2 ÁREA DE LA CUENCA	18
1.1.3 FORMA DE LA CUENCA	20
1.1.4 RELIEVE DE LA CUENCA	20
1.1.5 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	21
1.2 ESTRUCTURAS DE CONDUCCIÓN Y MANEJO DE AGUAS	22
1.3 MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS ESCORRENTIAS	25
2. METODOLOGÍA	29
2.1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	29
2.2 ESTUDIO FISIOGRÁFICO DE LA CUENCA	29
2.3 CÁLCULO DE CAUDALES	30
2.4 PRORUESTA DE ESTRUCTURAS	31
2.5 MATERIALES Y EQUIPOS	31
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	32
3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	32
3.1.1 Geografía física	32

3.1.2 Localización	33
3.1.3 Territorio	33
3.1.4 Suelo Urbano	33
3.1.5 Geomorfología	33
3.1.6 Geología	34
3.1.7 Climatología	34
3.2 CLASIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO DENTRO DEL SUELO MUNICIPAL	36
3.2.1 Área de protección de los arroyos.	36
3.2.2 Hidrografía	37
3.3 COMPONENTE HUMANO, AMBIENTAL Y SOCIAL	38
3.3.1 Servicios básicos de saneamiento	39
3.4 LOS IMPACTOS DE LOS VERTIMIENTOS URBANOS SOBRE EL ARROYO LA SELVA	41
3.5 PARAMETROS FISIOGRAFICOS DE LA CUENCA	42
3.5.1 Forma de la unidad	42
3.5.2 Sistema básico de drenaje	42
3.5.3 Corriente principal	43
3.6 DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE EXCESO	50
3.6.1 Distribución de Gumbell.	50
3.6.2 Distribución normal o gauss.	52
3.6.3 Distribución de pearson tipo III.	55
3.7 DETERMINACIÓN DE RIESGOS PERMISIBLES	57
3.8 CÁLCULO DEL CAUDAL POR EL MÉTODO DEL NÚMERO DE LA CURVA	57
3.8.1 UNIDAD N° 1	58
3.8.2 UNIDAD N° 2	59
3.8.3 UNIDAD N° 3	59
3.8.4 UNIDAD N° 4	60
3.9 CALCULO EL NÚMERO DE LA CURVA PARA TODA LA CUENCA	61

3.10. CALCULO LA PRECIPITACIÓN DE EXCESO.	62
3.11. CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD Nº 1	63
3.12. CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD Nº 2	64
3.13. CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD Nº 3	65
3.14 CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD Nº 4	66
3.15 CÁLCULO DEL CAUDAL TOTAL, Q_T	67
3.16 INVENTARIO DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES	68
3.17 DISEÑO DE SECCIÓN DE CANALES	69
3.17.1 Tramo K0 + 385 a K0 + 485(Canal rectangular sector pablo Sexto)	69
3.17.2 Tramo K0 + 485 a K0 + 618(Canal rectangular sector pablo Sexto)	72
3.17.3 Tramo K0 + 618 a K0 + 765(Canal rectangular sector pablo sexto)	72
3.17.4 Tramo K0 + 765 a K0 + 855(Canal rectangular sector pablo sexto)	73
3.17.5 Tramo K0 + 855 a K1 + 045(Fin del Canal rectangular Sector pablo sexto)	74
3.17.6 Tramo K1+ 045 a K1 + 174 (Canal trapezoidal)	74
3.17.6.1 Transición K1 + 045 a K1 + 065	77
3.17.7 Tramo K1 + 174 a K1 + 495 (Canal trapezoidal)	78
3.17.8 Tramo K1 + 495 a K1 + 649 (Canal trapezoidal)	80
3.17.8.1 Transición K1 + 495 a K1 + 545	83
3.17.9 Tramo K1 + 649 a K2 + 062.07 (Canal trapezoidal)	84
3.18 CÁLCULO DE SOBRE –ELEVACIÓN EN LA PARTE EXTERIOR DE LAS CURVAS EN CANALES	87
3.18.1 Cálculo de la curvatura Nº 1	87
3.18.2 Cálculo de la curvatura Nº 2	88
3.18.3 Cálculo de la curvatura Nº 3	88
3.18.4 Cálculo de la curvatura Nº 4	88
3.19 DISIPADORES CON BLOQUES DE IMPACTO	89
3.19.1 CÁLCULO DE LOS DISIPADORES	90
3.20 CONCLUSIONES	93
3.21RECOMENDACIONES	94

3.22 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
3.23 Anexos	96

LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1: Clasificación según el área aportante	19
CUADRO N° 2: Clasificación de la cuenca según el índice de forma	20
CUADRO N° 3: taludes apropiados para la construcción de canales	24
CUADRO N° 4: Indicador de la cobertura vegetal	26
CUADRO N° 5: Clasificación de todas las corrientes	43
CUADRO N° 6 Parámetros fisiográficos de la cuenca	45
CUADRO N° 7 Cálculo de elevación media	46
CUADRO N° 8 Precipitaciones máximas anuales	48
CUADRO N° 9 Precipitaciones máximas anuales	49
CUADRO N° 10 Determinación del tiempo de retorno (Método de Gumbell).	51
CUADRO N° 11 Periodo de retorno de acuerdo al proyecto	53
CUADRO N° 12 Distribución normal o gauss	54
CUADRO N° 13 Distribución de pearson tipo III	56
CUADRO N° 14 Tramo K0 + 485 a K0 + 618(Canal rectangular Sector Pablo sexto)	101
CUADRO N° 15 Tramo K0 + 618 a K0 + 765 (Canal rectangular Sector pablo sexto)	101
CUADRO N° 16 Tramo K0 + 765 a K0 + 855 (Canal rectangular Sector Pablo sexto)	101

CUADRO N° 17 Tramo K0 + 855 a K1 + 045 (Fin del Canal rectangular Sector Pablo sexto)	101
--	------------

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1: geografía física del departamento	32
Gráfica N° 2: Parteaguas de la cuenca y clasificación de las corrientes	47

LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1. Condiciones antecedentes de humedad II	97
Anexo N° 2. Valores de K_t , para la distribución de pearson tipo III. (Asimetría positiva).	98
Anexo N° 3. Probabilidad acumulada de la distribución normal estándar	99
Anexo N° 4. Elementos geométricos de secciones de canal	100
ANEXO N° 5. Características hidráulicas y geométricas de las secciones del canal propuesto	101
ANEXO N° 6. Distribución de Gumbell	102

LISTA DE PLANOS

Plano N° 1. Levantamiento planimétrico y altimétrico del arroyo la Selva y eje del canal propuesto.

Plano N° 2. Trazado de parteaguas, sub-unidad de cuenca y corriente principal

Plano N° 3. Secciones naturales, secciones propuestas, disipadores de canales y comportamiento del flujo

RESUMEN

El arroyo la Selva es una corriente superficial la cual drena los barrios Camilo Torres, Vallejo, Pablo VI, la invasión 6 de Noviembre y la Selva. Esta corriente además recoge las aguas servidas producto de los lavaderos, talleres y las viviendas de estos barrios. La falta de un sistema de canalización de esta corriente contribuye a empeorar la situación, la presencia de un sistema inadecuado de alcantarillado en estos sectores generan un vertimiento directo de estas aguas residuales al cauce del arroyo produciendo todo tipo de malos olores que en ocasiones se hacen insostenible para sus habitantes.

La falta de una limpieza continua por parte de las entidades gubernamentales permite la acumulación de residuos como basuras, desechos orgánicos entre otros.

Para el estudio de la unidad del arroyo la selva nos basamos en los registros de precipitación diaria de la estación La Normal los cuales se utilizaron para el cálculo de la precipitación de exceso que cae sobre el área de estudio, por otra parte se realizaron estudios topográficos de planimetría y altimetría concientes al arroyo, se determinó el parte aguas de la cuenca teniendo en cuenta las curvas de nivel con el fin de definir los parámetros fisiográficos que permitieron caracterizar y clasificar cualitativamente a la cuenca, para su mejor estudio se dividió en cuatro unidades y esta a la vez se subdividió en 6 sub-

unidades, según características propias teniendo en cuenta los aportes de caudal al cauce principal según parámetros como (cobertura vegetal, grupo hidrológico, etc); de acuerdo a estos parámetros se determinaron los caudales respectivos para cada unidad mediante el método del número de la curva para la condición de humedad III, con los que se diseñaron las secciones hidráulicas presentadas como propuesta en este trabajo. Con base en la ecuación de Manning y según criterio de sección de máxima eficiencia se determinaron las características geométricas e hidráulicas de las estructuras.

ABSTRACT

The stream of the forest is a superficial current the one which drains the neighborhoods Camilo Toasts, Vallejo, Pablo VI and the Forest. This current picks up the waters served product of the laundries, shops and the housings of these neighborhoods.

The lack of a system of canalization of this current contributes to worsen the situation, the presence of an inadequate system of sewer system in these sectors generates a direct vertimiento from these waste waters to the bed of the stream producing all type of bad scents that you/they become unbearable in occasions for its inhabitants.

The lack of a continuous cleaning on the part of the government entities allows the accumulation of residuals as garbages, organic waste among others

For the study of the unit of the stream the forest bases ourselves on the registrations of daily precipitation of the station the normal one which were used for the I calculate on the other hand of the precipitation of the excess that falls on the study area, they were carried out topographical studies of mapping and concerning altimetria to the stream, you determines the part it dilutes of the basin having en cuenta the level curves with the purpose of defining the parámetros fisiográficos that allowed to characterize and to classify qualitatively to the basin, for its best study it was divided in four units and this at

the same time was subdivided in six subunidades, own characteristic segùn having encuesta the flow contributions to the bed main segùn paràmetros like (vegetable covering, hydrological group, etc) according to these paràmetros you determines the respective flows for each unit by means of the mètodo of the nùmero of the curve for the condiciòn of humidity III, with what the hydraulic sections were designed. Presented as proposals in this work. With base in the equation of Maning and segùn approach of section of maximum efficiency the geometric and hydraulic characteristics of the structures were determined

INTRODUCCIÓN

Sincelejo, se ha venido desarrollando sin ninguna visiòn del futuro, ni acciòn planificadora de su desarrollo en el tiempo; pero que por el acelerado proceso de urbanizaciòn que se ha venido observando durante los ùltimos veinte años nos vemos en la obligaciòn de emplear proceso de planificaciòn que permitan el buen manejo de los recursos, con el fin de garantizar la òptima utilizaciòn del suelo, e identificar hacia dònde dirigir los esfuerzos polìtico y econòmicos, pùblicos y privados.

EL manejo de las corrientes superficiales es uno de los principales problemas en la ciudad de Sincelejo.

La necesidad de promover campañas educativas de sensibilizaciòn hacia la conservaciòn del medio ambiente; diseñar y poner en ejecuciòn planes estratègicos para la recuperaciòn de los arroyos contaminados de la ciudad y el municipio, que incluyan la recolecciòn con tuberías de las aguas negras, la limpieza, dragado y protecciòn de los cauces y, la reforestaciòn de sus riveras y nacimientos.

La falta de un plan de canalización adecuado de sus arroyos, hace que el problema se incremente a medida que pasen los años, la acumulación de residuos sólidos “basuras, desechos orgánicos” y la falta de una limpieza continua junto con la erosión de sus canales contribuyen a que estas corrientes se desborden de sus cauces principales; generalmente en las épocas de invierno, provocando inundaciones en las zonas bajas permitiendo la proliferación de todo tipo de enfermedades y malos olores que perjudican a sus habitantes.

A este problema se le suma el mal manejo de las aguas residuales, las cuales en su mayor parte son vertidas a estas corrientes. La falta de políticas claras, por parte de los gobiernos, ha impedido solucionar esta situación.

Dentro de los objetivos que se persiguen en este trabajo es el de realizar un estudio diagnóstico de la micro cuenca y de las diversas estructuras hidráulicas a lo largo del arroyo la selva y proponer alternativas de solución, por lo que fue necesario realizar:

- Delimitar la cuenca del arroyo la selva con el fin de caracterizarla fisiográficamente y fisiométricamente
- Identificar las zonas de riesgo
- Determinar cuales pueden ser los caudales máximos instantáneos que se generan en la micro cuenca, y que efectos tiene en los puntos críticos.
- Revisar las estructuras existentes “incluyendo el canal” a lo largo del cauce principal y proponer cambios o reparaciones

El arroyo la selva constituye una molestia para los habitantes del barrio la Selva, ya que presenta problemas en su cauce por no estar canalizado en su totalidad, además presenta un alto grado de contaminación debido que recibe las aguas residuales de algunos barrios de la zona que no cuentan con un sistema de alcantarillado eficiente.

La falta de mantenimiento y ausencia de algunas estructuras han ocasionado el colapso de las mismas y la improvisación de obras por parte de sus habitantes que se han convertido en un peligro para la circulación peatonal.

Debido a la importancia que tiene estas corrientes, se justifica realizar el estudio de la microcuenca con el fin de proponer soluciones a corto, mediano y largo plazo, para disminuir los riesgos que estos arroyos en su estado natural causan, pues se convierte en foco de contaminación física, ambiental y paisajista.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. **La cuenca:** Es una zona de la superficie terrestre en donde las precipitaciones que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes ya sean superficiales o subsuperficiales hacia un mismo punto de salida.

1.1.1 **Funciones de la Cuenca:** Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema: Dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones a continuación se describen:

- **Función Hidrológica**

1. Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.

2. Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
3. Descarga del agua como escurrimiento.

- **Función Ecológica**

1. Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
2. Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua

- **Función Ambiental**

1. Constituyen sumideros de CO₂.
2. Alberga bancos de germoplasma.
3. Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
4. Conserva la biodiversidad.
5. Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos

- **Función Socioeconómica**

1. Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
2. Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

1.1.2 ÁREA DE LA CUENCA: El área de la cuenca esta determinada por la línea imaginaria o parte aguas, que une los puntos más altos y encierran el área de confluencia, la cual influye en la magnitud del caudal de drenaje, pues

dependiendo de su tamaño, así serán mayores o menores los caudales resultantes (Jiménez H. 1986).

- **Usos de planos:** Los planos mas utilizados son los proporcionados por el instituto geográfico AGUSTIN CODAZZI a escala 1:25000, con curvas de nivel cada 25m (Barros Cantillo 1994).
- **Uso de la fotografía aérea:** De la fotografía aérea se puede obtener información hidrológica por medio de dos disciplinas que son fotogrametría y fotointerpretación.
- **Aplicación de la fotogrametría:** Por proceso fotogramétrico y utilizado instrumentos sencillos, como la barra de paralaje, curvímetero, etc. Se puede delimitar la cuenca, Obteniendo planos aproximados con curvas de nivel, se calcula también diferencia de altura aplicando la formula de paralaje, se puede medir el área de la cuenca, así como su ancho, longitud, y pendiente del cauce principal (Barros Cantillo 1994).
- **Aplicación de la fotointerpretación:** Fotointerpretando el área se completa la información, se delimitan zonas cultivadas de áreas en pastoreos, se definen patrones de drenajes, tipos de vegetación, lo que proporciona información para determinar potencial de escurrimiento superficial. (Barros Cantillo 1994).
- **Topográficamente:** Se plantea por medio de un levantamiento topográfico para determinar las áreas y clasificar las cuencas como:

CUADRO N° 1: Clasificación según el área aportante

UNIDAD	5 Km ² o menos
Sector	5 Km ² y 20 Km ²
Micro cuenca	20 Km ² y 100 Km ²
Subcuenca	100 Km ² y 300 Km ²
Cuenca	> 300 Km ²

1.1.3 FORMA DE LA CUENCA: La forma de la cuenca contribuye tanto en la recepción de la lluvia, como en el tiempo que demora la cuenca en responder hidrológicamente. Para determinar la forma de la cuenca se han establecido algunos índices:

- **Índice de Grávelius (Kc):** Conocido también como coeficiente de compacidad. Es la relación entre el perímetro de la hoya y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la hoya. (Barros Cantillo 1994).
- **Índice de forma (Kf):** Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud total de la misma. Proporciona un valor relacionado con el tiempo en el cual la cuenca aporta un determinado volumen de agua, o sea con su respuesta hidrológica (Barros Cantillo 1994).

CUADRO N° 2: Clasificación de la cuenca según el índice de forma

Kf > 1	Cuenca achatada
Kf < 1	Cuenca alargada
Kf = 1	Cuenca patrón

- **Índice de alargamiento:** Relaciona la longitud máxima de la cuenca (L), con el ancho de la cuenca (X), medio perpendicular a (L). (Barros Cantillo 1994).

1.1.4 RELIEVE DE LA CUENCA: Uno de los factores que tiene gran importancia en la respuesta Hidrológica tanto torrencial como el volumen de aporte de la cuenca, es el relieve, de este depende la velocidad de escorrentía superficial y la tasa de infiltración.

- **Curva Hipsométrica:** Es un gráfico que representa el relieve de la cuenca. Se construye en papel aritmético, el gráfico obtenido muestra algunas características de la cuenca referente a su relieve. Mediante la curva Hipsométrica se puede hallar la elevación mediana de la cuenca. (Barros Cantillo 1994).
- **Pendiente del cauce principal:** Este valor es importante en la determinación de algunos valores como el tiempo de concentración de la cuenca, la pendiente del cauce principal se puede calcular dividiendo la diferencia entre la cota de su inicio y la salida, entre su longitud. (Barros Cantillo 1994).
- **Tiempo de concentración:** El tiempo de concentración se ha definido como el lapso entre el inicio de la precipitación y el momento en que toda el área de drenaje contribuye al escurrimiento superficial. El tiempo de concentración se calcula mediante formulas que toman en cuenta fundamentalmente la longitud y la pendiente del cauce principal.

1.1.5 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL: El escurrimiento superficial es el volumen de agua que se desplaza sobre la superficie de la tierra hasta los cauces naturales de drenaje. Este ocurre cuando la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración del suelo. (Hernán Materon Muñoz 1985).

- **Factores que afectan el escurrimiento:** La complejidad del proceso del ciclo de escurrimiento se encuentra influenciada por numerosos factores que varían de un punto a otro dentro de la cuenca.

- **Factores geométricos:** (Área de la cuenca, Forma de la cuenca, Relieve de la cuenca, Pendiente del terreno, Pendiente del cauce, Red de drenaje)
- **Factores físicos:** (Tipo de suelo, Permeabilidad, Homogeneidad, Composición, Tipo de vegetación, Densidad de vegetación)
- **Características de la precipitación:** (Cantidad y distribución espacial de la precipitación, Intensidad, Frecuencia, Duración)

1.2 ESTRUCTURAS DE CONDUCCIÓN Y MANEJO DE AGUAS

- **Canal no erosionable:** Se consideran a si a los conductos abiertos que pueden soportar satisfactoriamente la erosión producida por el paso del agua. Su diseño se plantea cuando se desea controlar la infiltración o cuando se requiere minimizar la erosión en el cuerpo del canal. (Hernán Materon Muñoz). En el diseño de estos canales, los factores que se consideran en él son: La clase del material que conforman el cuerpo del canal, la cual determina el coeficiente de rugosidad; la velocidad mínima permisible, para evitar la depositación si el agua mueve limos o basuras; la pendiente del fondo del canal y las pendientes laterales o taludes; el borde libre; y la sección más eficiente, ya sea determinada hidráulica o empíricamente. (Ven Te Chow 1994).

Los criterios de diseño son los siguientes:

- Calcular las dimensiones del canal por medio de una fórmula de flujo uniforme

- Ajustar las dimensiones finales con base en el concepto de la eficiencia hidráulica o mediante reglas empíricas de mejor sección desde el punto de vista práctico y económico.

Los factores a tener en cuenta:

- Uso de materiales no erodables y revestimiento, se supone que el agua no lleva sedimentos que golpeen fuertemente el cuerpo del canal.
- Pendiente del canal: Se selecciona según la topografía y carga de energía; se busca niveles altos en canales de riego y bajos en los canales de drenaje
- Talud o pendiente lateral: Depende de la clase de material, en general en función de los métodos de construcción y tamaño del canal, estabilidad y respuesta a una alta eficiencia hidráulica.
- Borde libre: La suficiente para prevenir fluctuaciones en los niveles hidrométricos y evitar desbordamientos. En el diseño de los canales no erodables factores tales como la velocidad permisible y la fuerza tractiva permisible no son tenidos en cuenta. Se debe chequear el revestimiento del canal si existen grandes velocidades de agua con sedimentos, y diseñar contra esta eventualidad.
- **Materiales y revestimiento:** El propósito del revestimiento de un canal artificial, en la mayor parte de los casos, es para prevenir la erosión, pero en ocasiones puede ser el de evitar las pérdidas de agua por infiltración. (Ven Te Chow 1994).
- **Velocidad mínima permisible:** La velocidad mínima permisible o velocidad no sedimentante, es la menor velocidad que no permite el inicio de la

sedimentación, y no induce en el crecimiento de plantas acuáticas y de musgo. En general puede adoptarse una velocidad media de 2 a 3 pies/seg cuando el porcentaje de limos presente en el canal es pequeño. (Ven Te Chow 1994).

- **Pendiente del fondo del canal y sus laterales:** La pendiente longitudinal del fondo del canal por lo general está dada por la topografía y por la altura de energía requerida para el flujo de agua. Otros factores que deben considerarse para determinar las pendientes laterales son el método de construcción, la condición de pérdida por infiltración, los cambios climáticos, el tamaño del canal, etc.

CUADRO N° 3: taludes apropiados para la construcción de canales

Material	Talud
Roca	Aproximada vertical
Estierco y suelo de tuba	$\frac{1}{4} : 1$
Arcilla rígida o tierra con recubrimiento de concreto	$\frac{1}{2} : 1$ a $1:1$
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en canales grandes	$1:1$
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	$1.5: 1$
Tierra arenosa suelta	$2:1$
Marga arenosa o arcilla porosa	$3:1$

(Ven Te Chow 1994).

- **Borde libre:** El borde libre de un canal es la distancia vertical desde la parte superior del canal hasta la superficie del agua en la condición de diseño. Esta distancia debe ser lo suficientemente grande para prevenir que ondas o

fluctuaciones en la superficie del agua. En el diseño es común el uso de bordes libre que varían desde menos del 5% a más del 30% de la profundidad de flujo. (Ven Te Chow 1994).

- **Sección hidráulica óptima:** Dentro de todas las secciones el semicírculo tiene el menor perímetro mojado para un área determinada; por consiguiente es la sección hidráulica más eficiente de todas las secciones. Pero no siempre estas secciones son prácticas, debido a dificultades en la construcción y en el uso de material. (Ven Te Chow 1994).

1.3 MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS ESCORRENTIAS

Existen muchos métodos para calcular la escorrentía, en el caso de drenaje nos interesa calcular la escorrentía superficial total y las crecidas máxima, la escorrentía superficial total se calcula para evacuar el exceso de agua en un tiempo razonable.

- **MÉTODO DEL NÚMERO DE LA CURVA:** Este método es recomendado por el servicio de conservación de suelos de EE.UU. y proporciona datos más exactos, la escorrentía total se determina a través de la siguiente formula.

$$ESC = \frac{(p - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

ESC = Escorrentía total

P = Lluvia máxima para el tiempo de retorno

S = Infiltración potencial se calcula a partir del número de curva mediante

$$S = \frac{2540}{NC - 25,4}$$

NC = (Número de la curva).Depende de las condiciones hidrológicas, tipo de suelo, infiltración básica, Condición de humedad antecedente y uso del suelo este valor se obtiene (**Anexo N° 1**)

CUADRO N° 4: Indicador de la cobertura vegetal

CONDICIÓN HIDROLÓGICA	COBERTURA VEGETAL
Buena	> 75 % del área
Regular	50 ---- 75 % del área
Mala	< 50 % del área

NOTA: Se debe diseñar con la condición de humedad III

Para el cálculo del caudal de diseño para zonas quebradas se determina mediante la siguiente formula:

$$Q = \frac{P * A * C}{86400}$$

Donde:

Q = Caudal a evacuar en $\frac{\text{Lit / seg.}}{24 \text{ horas}}$

P = Precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 10 años

A = Área a drenar en m²

C = Coeficiente de escorrentía

$$C = \frac{E}{P}$$

E = Escorrentía

Para diseñar las estructuras hidráulicas dentro de la estación de drenaje se necesita calcular la crecida máxima o el caudal máximo instantáneo.

Para el cálculo se utilizan varios métodos entre estos tenemos:

- **MÉTODO DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELO DE LOS ESTADOS UNIDOS:**

El caudal máximo esta dado por la siguiente ecuación.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{2,08 * A * E}{(D / 2) + TL}$$

Donde:

Q = Caudal máximo de diseño en m³/seg.

E = Escorrentía total en m³/día

A = Área de la cuenca en hectáreas

D = Tiempo de concentración se pueden tomar 6 horas

$$TL = \frac{L^{0.8} * (S+1)^{0.7}}{735 * Y^{0.5}}$$

Donde:

TL = Tiempo de retardo en horas

L = Longitud de la corriente principal

S = Infiltración potencial cm/día

Y = Pendiente promedio de la cuenca o tramo en %

$$Y = \frac{\Delta H}{L}$$

- **MÉTODO RACIONAL:** Es valido para áreas menores de 500 Hectáreas, el principio en el cual se basa este método consiste en que la descarga máxima debe esperarse en un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q = Descarga máxima m³/seg.

C = Coeficiente de escorrentías

I = Intensidad de la lluvia en un tiempo igual a un tiempo de concentración

A = Área de la cuenca en hectáreas

El coeficiente de escorrentías es variable según los factores que afectan la relación precipitación escorrentía, los cuales son básicamente densidad de cobertura, infiltración, textura, y pendiente del terreno.

2. METODOLOGÍA

2.1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA:

Esta parte implica una visita de campo que comprende todo lo relacionado a la toma de datos directos en el terreno. Donde se realizarán estudios topográficos concernientes al arroyo, con ayuda de las planchas del IGAC a escala 1:2000 se determinará el parte agua de la cuenca y se localizarán las diferentes corrientes, tanto principal como los tributarios.

Posteriormente se procederá a calcular el área total de la cuenca para la cual se dividirá en sub-unidades de acuerdo a las curvas de nivel y los aportes de éstas al cauce principal.

Además se determinará las direcciones de los flujos teniendo en cuenta las pendientes de las calles, carreras y otras zona portantes, de igual forma se revisará y evaluarán las estructuras hidráulicas existentes, se hará un reconocimiento e identificación de las diferentes zonas de riesgo donde se ubican las áreas de inundación y residencias en alto riesgo de inundación.

2.2 ESTUDIO FISIOGRAFICO DE LA CUENCA

Para el estudio fisiográfico de la cuenca se realizarán levantamientos topográficos de altimetría y planimetría correspondiente al arroyo, allí se detallarán las secciones del cauce principal cada 20 o 50 metros según sea necesario. De igual forma se revisarán y evaluarán las estructuras hidráulicas existentes, se hará un reconocimiento e identificación de las diferentes zonas de riesgo donde se ubicarán las áreas de inundación y residencias en alto riesgo de inundación.

2.3 CÁLCULO DE CAUDALES

La magnitud y variabilidad de los caudales que escurren son muy importantes para definir las dimensiones de obras hidráulicas de captación, conducción, y de control de escurrimiento. Tratándose de zonas urbanas. Para el cálculo de los caudales se recomienda utilizar la formula racional. Pero en nuestro caso por no contar con los datos de intensidad de lluvia, se aplicará el método del número de la curva, recomendado por el servicio de conservación de suelo. Este último trabaja con valores de lámina máxima diaria.

En cuanto a los caudales máximos se trabajarán con los datos de máxima de excedencia anual, teniendo en cuenta la vida útil de la obra, el riesgo de inundación.

Con los datos pluviométricos de la estación la Normal y con base en distribuciones de probabilidades de aplicación en hidrología, se calculará la precipitación de excesos. Junto con la información de la cuenca (Área, longitud de cauce, Diferencia de cotas y pendientes) se determinará el tiempo de concentración, y posteriormente los caudales que fluyen por el punto de interés de la cuenca que es el caudal de diseño para las secciones hidráulicas del canal y las estructuras de estudio.

2.4 PROPUESTA DE ESTRUCTURAS

Una vez revisadas las existentes se propondrán algunas estructuras hidráulicas que contribuyan a mejorar el control y conducción de los caudales con el fin de mejorar las condiciones de la cuenca

2.5 MATERIALES Y EQUIPOS

En la ejecución del proyecto se usarán los siguientes materiales y equipos:

- Mapas y planchas Topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) actualizada y a escala 1:2000.
- Equipos topográficos:(Nivel, Teodolito, Cinta métrica, Mira, Planímetro, Cámara fotográfica)

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Sucre (departamento, Colombia), localizado en la parte central de la región del Caribe, entre el río Cauca y el mar Caribe; sus coordenadas geográficas lo sitúan entre los 8° 17' y 10° 08' de latitud N y los 74° 32' y 75° 43' de longitud O. Limita al norte y al este con el departamento de Bolívar, al sur y el oeste con el de Córdoba, y al oeste y norte con el mar Caribe.

3.1.1 Geografía física

La superficie departamental es de 10.917 km² y tiene una temperatura cuyo promedio anual es de 28 grados centígrados.

El territorio departamental está comprendido en una gran llanura y la mayor parte de sus tierras son llanas o ligeramente onduladas; hacia el sur se encuentra la región denominada depresión momposina, constituida por ciénagas y pantanos que retienen los desbordamientos de los ríos Cauca, Magdalena y San Jorge. Son destacados como accidentes geográficos las serranías de San Jerónimo y Tolú viejo y las cuchillas de Buenos Aires, La Campana, La Vela, Piedra de Moler y Providencia. Entre los accidentes costeros se encuentran el golfo de Morrosquillo y las puntas Chinchimán, Piedra, Rincón y San Bernardo.



Grafica N° 1: geografía física del departamento

3.1.2 Localización

La ciudad de Sincelejo, se encuentra ubicado al noreste del país de 9° 18 "latitud norte, 75°. 23" latitud oeste del meridiano de Greenwich, tiene una extensión total de 28.134 has, con una altura sobre el nivel del mar de 213 metros y limita al sur con el Municipio de Sampués y con el Departamento de Córdoba; por el oeste con los municipios de Palmito y Tolú; por el norte con los Municipios de Tolú y Tolú viejo y por el este con los municipios de Corozal y Morroa.

3.1.3 Territorio

El área urbana del municipio ocupa un total de 1.892.64 has. Y el perímetro urbano tiene una longitud total de 32.39 Km., el área rural tiene 25.953 has., para un total de 27.845 has. Urbano y rural.

3.1.4 Suelo Urbano

El área de territorio destinada para el uso del suelo urbano en el municipio de Sincelejo es de **21'431.833 mts** es decir **2.143,1 hectáreas**, que corresponden al **7.53%** del total del territorio municipal. Al interior del perímetro urbano se encuentra un importante número de áreas libres sin urbanizar conformadas en su mayoría por lotes de gran proporción que corresponden a un área aproximada de 174,25 hectáreas y equivalen al 8,1% del total del área urbana.

3.1.5 Geomorfología

Los Montes de María son una geoforma constituida por altas colinas más o menos continuas en su encadenamiento, que en el territorio del Departamento de Bolívar recibe el nombre de Serranía de San Jacinto y que es la prolongación de la Serranía de San Jacinto, una de las tres cadenas

montañosas en que se divide la Cordillera Occidental de Colombia (Nudo de Paramillo); dicha Serranía con un rumbo suroeste a noroeste incrementa su altura de 200 a 300 msnm entre Coloso y Ovejas para alcanzar hasta los 700 metros en el Cerro de Pita en los límites con Bolívar. En el Departamento de Sucre, las poblaciones directamente influenciadas por los Montes de María son: Sincelejo Chalán, Tolú Viejo, Morroa, Ovejas y Coloso; en general las colinas que conforman la Serranía tienen una marcada intervención antropica de deforestación.

3.1.6 Geología

La gran mayoría de las rocas aflorantes en el territorio del Municipio de Sincelejo son de origen sedimentario, depositadas en un ambiente de transición marino continental, plegadas y fallas durante la orogenia del terciario y cubiertas por extensos y potentes depósitos cuaternarios de origen fluvial, fluviomarinos y lacustre.

Formación Sincelejo interior, ubicada alrededor del casco urbano de Sincelejo, esta compuesta por una serie de arenisca de grano grueso, color gris, lentes conglomerativos e intercalados de arcillolitas.

Formación Sincelejo inferior, ubicada alrededor del caso urbano de Sincelejo, suprayacente a la formación Sincelejo inferior está compuesta por arenisca de grano grueso, color amarillo y conglomerado con abundante oxido de hierro e intercalaciones de arcillolitas.

3.1.7 Climatología

- **Temperatura:** La temperatura media anual está cercana a los 27.15°C; con una mínima promedio anual de 19,7°C y una máxima de 35,3°C. Se aprecia un mayor rango, durante el verano donde hay marcados efectos ocasionados por bajas temperaturas en la madrugada y fuertes calores en las horas de la tarde. Con la llegada de las lluvias tiende a

estabilizarse, con menos variaciones y una ligera disminución general, con el aumento de la humedad relativa.

- **Régimen de Lluvias:** La precipitación tiene un promedio anual de 1.192.9 mm, este promedio de precipitación va aumentando de oriente a occidente de acuerdo con la ubicación de las estaciones, presentándose 1.029.5 mm en la más oriental (Aeropuerto Rafael Barvo en el municipio de Corozal), 1.227.6 mm, en la estación de la Universidad de Sucre en la Granja Perico al Sur del territorio municipal en jurisdicción del municipio de Sampués, llegando hasta 1316.5mm en la estación de La Pastora hacia el occidente del territorio municipal en el Corregimiento de San Antonio.
- **Humedad Relativa:** Es muy estable alrededor de su media anual del 80% aumentando ligeramente con la nubosidad y la temperatura. La humedad del aire afecta directamente los procesos de evapotranspiración, sensación climática y punto de rocío, importantes en los procesos de intercambio hídrico estomatal y epidérmico de organismos vivos.
- **Clima:** El clima es importante, desde el punto de vista físico-biótico por su directa intervención en la evolución de los suelos y el paisaje. Además por ser uno de los elementos o insumos necesarios para la determinación de los riesgos naturales y desde el punto de vista socioeconómico por su influencia en la decisión de utilización de las tierras para determinados usos. De acuerdo con los índices calculados la clasificación climática de Sincelejo es: Tipo de Clima =Semiseco (CI) y mega térmico (A).

3.2 CLASIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO DENTRO DEL SUELO MUNICIPAL

- **Clases de Suelo:** La zona de estudio por encontrarse dentro del perímetro urbano de la ciudad de Sincelejo pertenece a la clasificación de suelo urbano, esta cuenta aun con sectores deshabitados pero que están destinados al desarrollo urbano.
- **Suelo Urbano:** La mayor parte de la zona de estudio esta destinada al desarrollo urbano, debido que cuenta con infraestructuras vial y redes primarias del servicio publico los cuales posibilitan la urbanización de aquellos sectores como la **sub-unidad 1A** y la **sub-unidad 3A** que actualmente no presentan proceso alguno de urbanización.
- **División del Suelo Urbano:** Para un mejor manejo político administrativo el suelo urbano se divide en 9 comunas y éstas a su vez integran barrios con características morfológicas urbanas, la tipología de las edificaciones, el uso del suelo y el estrato socio – económico. Dentro de ese marco político administrativo la zona de estudio se encuentra contemplada en la comuna N° 1
- **Comuna No. 1. Noreste:** Conformada por los sectores 1 y 3 y los barrios: La Estrella, Media Luna, El Rubí, Divino Salvador, Todo Poderoso, La Pollita, Villa Orieta, Virgen del Carmen, Los Laureles, Las Canarias, 2 de Septiembre, Ciudad Satélite, San Rafael, Pablo VI, Vallejo, La Selva, Colegio dulce Nombre de Jesús.

3.2.1 Área de protección de los arroyos.

El arroyo la Selva presenta un área de protección y conservación que hacen parte fundamental de la estructura ambiental pública natural; dicha franja requiere fortalecerse mediante la siembra de especies o árboles nativos de

la región fijando como límite mínimo de amplitud un total de 10 metros a lado y lado del borde del arroyo. Para los tramos K0 + 365 a K1 + 0.45 pertenecientes al canal revertido del sector Pablo VI.

Para el caso específico de los tramos K1 +0.45 a K1 + 425, se recomienda una franja de 20 metros a lado y lado del borde superior del arroyo debido a que no se encuentra revertido, esta franja debe ser recuperada mediante la reforestación con especies vegetales autóctonas, de rápido crecimiento y amplia cobertura vegetal y un programa de conservación y mantenimiento liderado por el municipio mediante alianzas con la comunidad vecina de estas áreas. En la actualidad, el arroyo la selva en su mayor parte no cuenta con un área de conservación superior a los 6 metros a lado y lado del arroyo, incluso hay sectores como K1 + 649 a K2 + 062.07 en el cual el arroyo pega con el costado de las casas. Convirtiéndose en alto riesgo para los que en ellas habitan.

Es recomendable que las edificaciones que actualmente están construidas sobre estas áreas de protección del arroyo no aumenten su densidad y aquellas altamente vulnerables por avalancha e inundación sean objeto de un programa de reubicación.

3.2.2 Hidrografía

El arroyo la selva forma parte de una compleja red superficial, sus aguas son vertidas al arroyo el pintao lo que lo convierte en un tributario de esta corriente.

El arroyo la selva evacua solo un sector de todo este complejo hídrico correspondiente a los barrios Pablo VI, Camilo Torres, la Selva, etc. Es de hay la importancia que tiene esta corriente para estas comunidades ya que es el único medio natural de evacuación con que cuentan estos sectores, actualmente esta corriente no cuenta con un sistema de canalización que le

permita drenar eficientemente sus aguas por lo que genera a sus habitantes todo tipo de incomodidades.

En el municipio existen alrededor de 21 arroyos de los cuales la mayoría presenta los mismos problemas. Los arroyos de Sincelejo son canales de escorrentía estacionales que solo conducen aguas después de los aguaceros y además conducen permanentemente aguas residuales domesticas.

3.3 COMPONENTE HUMANO, AMBIENTAL Y SOCIAL

La cuenca en estudio por estar ubicada sobre una zona urbana, recoge las aguas de los barrios Camilo Torres, Pablo Sexto, la invasión 6 de Noviembre, Vallejo y la Selva, las cuales en su mayor parte son aguas residuales que llevan todo tipo de contaminante, entre estos: lavaderos de autos, residuos químicos de talleres de automotriz, residuos fecales debido a la falta y mal estado de los sistema de alcantarillado en algunos barrios.

La falta de una cultura de limpieza y protección del arroyo por parte de los habitantes ocasiona un vertimiento continuo de basuras y todo tipo de residuo sólidos al cauce principal, generando la proliferación de enfermedades y malos olores.

La falta de mantenimiento del cauce principal, ha permitido el paso del arroyo a través de los patios de algunos lotes y casas colindantes con el arroyo. Esto evidencia la necesidad de construir un canal colector revestido en concreto que evacue total y eficientemente las aguas de drenaje y mejorar los sistemas de alcantarillados para dichos barrios.

Consecuentemente se presentan enfermedades a causa de la contaminación dentro de las cuales podemos destacar: alergia en la piel, problema en la respiración, etc.

Vale destacar el problema de inseguridad que genera para la comunidad por falta de una limpieza, éste se presta para cometer todo tipo de delitos.

Con el fin de evaluar el impacto ambiental y consecuentemente a la comunidad más afectada se realizará una encuesta con el objeto de conocer las necesidades y la magnitud del problema.

3.3.1 Servicios básicos de saneamiento

- **Acceso a agua potable**

Los sectores concernientes a la zona de estudio presentan un servicio de agua potable deficiente con una frecuencia de bombeo una vez por semana lo que trae como consecuencia un padecimiento del servicio lo que obliga a la mayoría de sus habitantes tener reservorio o albercas en sus hogares.

- **Aguas servidas/Aguas de desecho:** La mayor parte de los habitantes de estos barrios normalmente vierten las aguas utilizadas al cauce del arroyo. Estas aguas que transcurren por el arroyo la selva son propagadoras de malos olores generando acumulaciones en algunos sectores como es el caso en el tramo K1 + 109 en donde los residuos orgánicos son evidentes a toda hora del día (**ver plano 1**).

- **Alcantarillado**

Los sistemas de alcantarillados de estos sectores Vallejo, La selva, Pablo VI, se encuentran en pésimas condiciones existen puntos en los cuales los vertimientos de esta agua se hacen directos al cauce del arroyo, en épocas de invierno es comúnmente presenciar los rebosamientos de los manjoles como es el caso del manjol ubicado en la calle 23. Dentro de los puntos de contaminación que se encuentran en el arroyo la selva podemos destacar los puntos K1 + 109, K1 y K2 + 0.34 en los que se localizan unos manjoles del servicio de alcantarillado los cuales permanentemente emiten estas aguas al cauce del arroyo (**ver**

plano 1). La reubicación o eliminación de estos puntos se hace obligatorio por encontrarse dentro del cauce principal lo que se convierte en un foco directo de contaminación.

- **Saneamiento**

Para estos sectores el servicio de recolección de basura es muy ineficiente presenta una frecuencia de una vez por semana lo que genera una acumulación de basuras por parte de sus habitantes y estas van a parar al arroyo aumentando el grado de contaminación que este presenta. Se sugiere la implementación de tanque colectores de basura, ubicados en puntos estratégicos cercanos, para que los habitantes depositen las basuras en los días en que no se presta el servicio de recolección, esto evitaría que estas basuras vayan a parar al arroyo.

- **Servicios sociales**

La mayor parte de la zona de estudio cuenta con los servicios básicos a excepción del servicio hospitalario. En algunos sectores la falta de estos servicios son evidentes como es el caso de la SUB - UNIDAD 3A y SUB-UNIDAD 4F (**ver Plano 2**) que comprende los barrios Vallejo y un sector de Camilo torres, en donde el mal estado de las calles, la falta del servicio de recolección de basura y el mal estado del sistema de alcantarillado son los principales propulsores de la contaminación del arroyo.

- **Enfermedades transmitidas por el agua del arroyo**

Las enfermedades que comúnmente padecen los habitantes de estos sectores en particular niños entre 5 y 12 años de edad son enfermedades producidas por el "agua sucia" que circunda por el arroyo. Esta agua arrastran consigo todo tipo de desechos humanos, animales y químicos. La falta de un servicios adecuado de evacuación sanitaria de desechos y de agua limpia para beber, cocinar y lavar es la causa principal. Las enfermedades diarreicas, alergias, dengue clásico son las más comunes en padecer los habitantes de estos sectores

3.4 LOS IMPACTOS DE LOS VERTIMIENTOS URBANOS SOBRE EL ARROYO LA SELVA

Se llaman impactos de los vertimientos urbanos el conjunto de las consecuencias, directas o indirectas, de los vertimientos sobre el medio natural. Dentro de los impactos que más se evidencian en el arroyo la selva tenemos:

- **Impactos Físico - Químico**

Se denomina el primer nivel. Sólo hace intervenir el parámetro de polución, considerado independiente de los otros parámetros.

- **Impactos inmediatos:**

- Aumento de la turbiedad (el agua de arroyo normalmente presenta una coloración oscura debido al alto grado de sedimento que arrastra aguas arriba)
- Aumento de materia orgánica y nutrientes (presenta un alto grado producto de la alta vegetación que circunda el arroyo)
- Aumento de bacterias patógenas (se generan apartir de la descomposición de los residuos fecales que se emiten al arroyo)
- Aumento del impacto visual: (El mal estado del arroyo y la ausencia de zonas verdes lo convierte en foco de contaminación física, ambiental y paisajística).

- **Impactos hidráulicos y morfodinámicos**

El impacto morfodinámico se refiere a una colmatación del lecho de la corriente y por lo tanto a una modificación de flujo que puede conducir a una desaceleración o una aceleración hidráulica que puede generar el desbodamiento de la corriente.

La desestabilización de los taludes y la socavación del fondo del arroyo han producido una sección natural la cual genera un comportamiento inadecuado del flujo a través de este, permitiendo la acumulación de sedimento que ocasionan una respuesta violenta en épocas de invierno por los grandes caudales que en estas épocas se producen.

3.5 PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS DE LA CUENCA

El área de estudio se encuentra contemplada en las planchas 9 y 13 de AGUSTIN CODAZZI en escala 1: 2000 que comprende los barrios (Pablo Sexto, Camilo Torres, Vallejo, la Selva) de las cuales con la ayuda del programa espring 4.1 y la utilización de implementos de fotointerpretación se extrajo la información necesaria para la discriminación de la cuenca. (Áreas, perímetros, longitudes, orden de los cauces, etc.), y con base en las ecuaciones descritas en la metodología se presenta el (**Cuadro N° 6**).

De acuerdo con la extensión del área aportante de la zona de estudio, que comprende un total de 516200 m² ésta se clasifica como una unidad debido que presenta un área menor de 5 Km²

3.5.1 Forma de la unidad: De acuerdo con el índice de forma $K_f = 0.274$ la unidad se clasifica como alargada, y con un índice de compacidad $K_c = 1,33$ lo que la caracteriza por ser deformada e irregular.

Este tipo de forma implica ciertas características en el sistema básico de drenaje, lo que genera una respuesta lenta de la unidad que tiende a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimientos, y son susceptibles a inundaciones.

3.5.2 Sistema básico de drenaje: Comprende al sistema dendrítico cuya formación se debe a la presencia de rocas duras homogéneas y con resistencia uniforme a la erosión, presentan baja permeabilidad, granulación fina y materiales homogéneos. Materiales predominantes Lutitas, Arcillas, Limonitas, Granitos. Topografía horizontal y pendientes suaves.

3.5.3 Corriente principal: Este presenta su nacimiento en la avenida San Carlos, cercanías a la Escuela Normal Superior de la ciudad de Sincelejo, éste a su paso recoge las aguas de los barrios Pablo Sexto, Camilo Torres, Vallejo y la Selva.

El cauce principal presenta una longitud de 1.552 m con una pendiente de 2.061% el cual se considerada plana, por lo que se generan problemas de sedimentación y acumulación de aguas en diversos puntos del arroyo.

Teniendo en cuenta el orden y distribución de la red tributaria al punto de interés de la unidad, encontramos los siguientes órdenes.

CUADRO N° 5 Clasificación de todas las corrientes

ORDEN	CLASIFICACIÓN	LONGITUD (m)
Corriente de primer orden (C 1,1)	Los que no tienen tributarios	318
Corriente de primer orden (C 1,2)	Los que no tienen tributarios	300
Corriente de segundo orden (C 2,1)	Formados por dos corrientes de primer orden	574
Corriente de primer orden (C 1,4)	Los que no tienen tributarios	96
Corriente de primer orden (C 1,3)	Los que no tienen tributarios	142
Corriente de segundo orden (C 2,2)	Formados por dos corrientes de primer orden	66
Corriente de tercer orden (C 3)	Formados por dos corrientes de segundo orden	660

Ver grafica N° 2

$$\begin{aligned}\text{Longitud de todas las corrientes} &= (318+300+574+96+142+66+660) \\ &= 2156 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Longitud del cauce principal} &= (660+574+318) \text{ m} \\ &= 1552 \text{ m}\end{aligned}$$

La pendiente del cauce principal se determinó por el método de valores extremos.

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{226m - 194m}{1552m}$$

$$S = 0.0206 = 2.061 \%$$

CUADRO N° 6 Parámetros fisiográficos de la cuenca

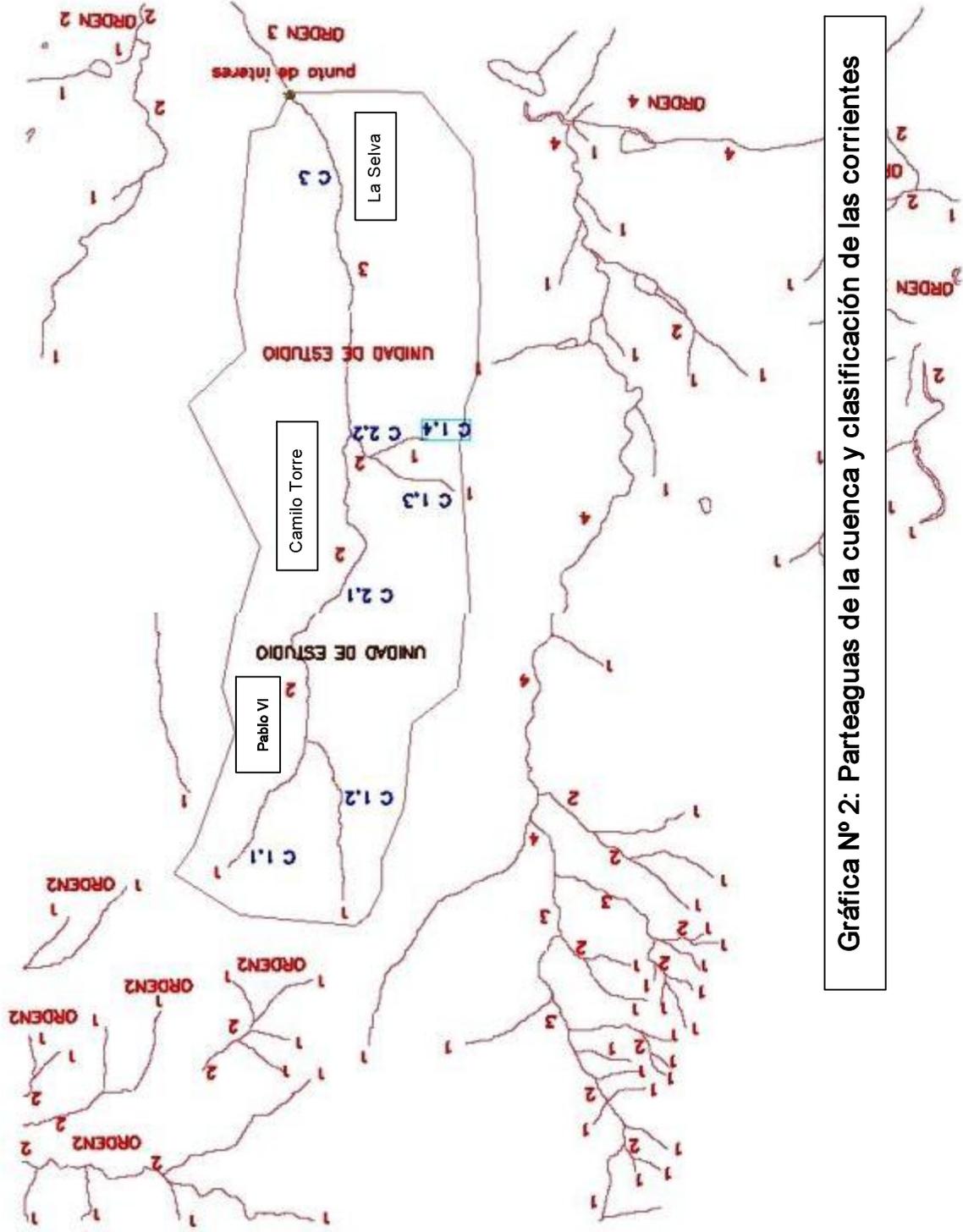
PARÁMETROS	NOMENCLATURA	VALOR	INTERPRETACIÓN
Área total	At	516200 m ²	At < 500 Ha. Es una unidad
Área de vertiente mayor	AVM	295680 m ²	AVM > AVm Es asimétrica
Área de vertiente menor	AVm	220520 m ²	
Perímetro de la cuenca	P	3432 m	
Ancho Máximo	A max	454 m	
Longitud máxima	L max	1372 m	
Longitud de toda las corrientes	Lc	2156 m	
Ancho promedio	X	376,408 m	
Longitud del cauce principal	Lp	1552 m	El cauce principal es corto
Factor de forma	Kf	0.274	Kf < 1 Unidad es alargada y de respuesta lenta
Coefficiente de compacidad	$Kc = \frac{(0.28 * p)}{\sqrt[3]{A}}$	1.33	Kc >> 1 Unidad deforme e irregular
Índice de alargamiento	la	3,022	La red de drenaje es de forma Dentritico
Índice de asimetría	$Ias = \frac{AVM}{AVm}$	1.340	
Elevación media	Em	207,878 m	

CUADRO N° 7 Cálculo de elevación media

INERVALOS ENTRE CURVAS	ELEVACIÓN PROMEDIO	ÁREA ENTRE CURVAS (m ²)	% DE ÁREA RESPECTO AL TOTAL	% DE ÁREA ENCIMA DE LA CURVA DE NIVEL INFERIOR	a * e(m ³)
220 – P.A	220	43640	8.455	8.455	8728000
210 – 220	215	182680	35.389	43,844	39276200
200 – 210	205	265360	51,406	95.25	54398800
P.A – 200	200	24520	4.750	100	4904000
Σ		516200	100		107307000

TABLA N° 9

La elevación media calculada es $\rightarrow Em = \frac{\sum a * e}{A} = 207,878 \text{ m}$



Gráfica N° 2: Parteaguas de la cuenca y clasificación de las corrientes

CUADRO N° 8 Precipitaciones máximas anuales

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
ENE	-	18	-	-	-	38	10	13	-	77	60	8	2	-	6	-
FEB	4	3	-	2	2	-	55	22	3	47	16	25	-	11	41	-
MAR	5	28	6	-	-	9	25	35	-	27	-	4	-	50	20	-
ABRI	26	40	10	41	75	6	40	23	45	50	25	70	70	50	30	-
MAY	36	70	32	57	70	15	95	110	87	48	-	57	85	20	32	-
JUN	19	37	78	53	37	23	85	27	27	76	107	47	19	30	25	-
JUL	22	25	-	60	-	65	53	-	67	46	57	47	35	22	45	-
AGO	31	33	15	41	52	30	65	-	35	85	48	57	100	50	55	-
SEPT	28	50	84	32	30	10	32	-	69	55	79	47	53	30	35	-
OCT	85	42	45	30	30	40	67	47	37	137	58	67	35	60	65	-
NOV	5	20	16	51	160	70	35	5	17	37	27	57	70	34	40	3
DIC	18	13	3	21	32	40	22	-	47	27	51	48	31	12	-	73

CUADRO N° 9 Precipitaciones máximas anuales

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
ENE	-	-	10	25	-	10	-	7	40	-	30	5	-	29	-
FEB	1.5	-	-	57	-	20	-	2	28	25	-	10	-	12	-
MAR	1.5	-	20	25	-	5	40	2	90	22	8	20	6	-	-
ABRI	43	22	22	28	35	55	65	70	70	50	60	28	63	32	50
MAY	-	75	32	25	20	60	85	75	25	45	-	75	20	94	45
JUN	-	70	60	65	70	80	50	20	50	25	42	35	60	16	24
JUL	-	35	40	40	45	30	70	30	55	18	45	35	18	85	78
AGO	-	50	40	45	14	60	15	30	-	40	35	30	52	40	47
SEPT	-	55	65	70	30	65	45	40	-	70	53	61	54	74	70
OCT	-	60	45	85	60	45	15	30	-	98	58	20	65	25	43
NOV	-	20	35	40	65	28	20	30	-	50	30	33	46	-	-
DIC	-	65	18	-	4	30	-	60	-	17	20	72	30	-	-

3.6 DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE EXCESO

Para la determinación de la precipitación de exceso, se trabajó con los registros pluviométricos de la estación meteorológica la Normal de Sincelejo, de los cuales se utilizaron los últimos 31 años. Mediante los métodos de distribución de probabilidad (la distribución de Gumbell, la distribución normal de Gauss, y la distribución de Pearson tipo III.), se determinó la precipitación de exceso.

3.6.1 Distribución de Gumbell. Para este caso se seleccionaron las precipitaciones máximas diarias de cada uno de los años de registro, de las cuales se organizaron de mayor a menor y mediante la ecuación de Weibull se calcularon la probabilidad de ocurrencia y el tiempo de retorno de cada precipitación.

Haciendo uso del papel aritmético de Gumbell se obtuvo una precipitación de exceso de 116.5 mm (**Ver Anexos N° 6**).

**CUADRO N° 10 Determinación del tiempo de retorno
(Método de gumbell)**

N° de orden	Precipitación (mm)	$P(X \geq X_i)$ ($m / (n+1)$)	Periodo de retorno (años)
1	160	0,03125	32
2	137	0,0625	16
3	110	0,09375	10.66
4	107	0,125	8
5	100	0,15625	6.4
6	98	0,1875	5.33
7	95	0,21875	4.57
8	94	0,25	4
9	90	0,28125	3.55
10	87	0,3125	3.2
11	85	0,34375	2.90
12	84	0,375	2.66
13	80	0,40625	2.46
14	79	0,4375	2.28
15	78	0,46875	2.13
16	77	0,5	2
17	76	0,53125	1.88
18	75	0,5625	1.77
19	74	0,59375	1.68
20	73	0,625	1.6
21	72	0,65625	1.52
22	70	0,6875	1.45
23	69	0,71875	1.39
24	67	0,75	1.33
25	65	0,78125	1.28
26	63	0,8125	1.23
27	61	0,84375	1.18
28	60	0,875	1.14
29	58	0,90625	1.10
30	57	0,9375	1.06
31	55	0,96875	1.03

3.6.2 Distribución normal o Gauss. Para el cálculo de la precipitación de exceso mediante el método de Gauss, se trabajó con las precipitaciones máximas diarias de cada uno de los años de registro pluviométricos de la estación meteorológica la Normal de Sincelejo, del cual se determinó la desviación estándar de la suma de los datos.

Mediante el (**anexo N° 3**) de probabilidad acumulada de la distribución normal estándar se determinó el valor Z_i a partir de P ($P \leq P_i$), mediante estos valores se calcula la precipitación de exceso según la ecuación.

$$P_{exc} = (Z_i * S) + P''$$

$$S = \frac{\sqrt{\sum (P_i - P'')^2}}{n - 1}$$

- **Cálculo de la desviación estándar (S)**

$$S = \frac{\sqrt{\sum (P_i - P'')^2}}{n - 1}$$

$$S = \sqrt{16243.4839/30}$$

$$S = 23,269 \text{ mm}$$

- **Cálculo de Z_i**

Para un tiempo de retorno igual a 15 años de acuerdo al tipo de proyecto realizado.

$$P (P \geq P_i) = 1 / 15 = 0.07$$

$$P (P \leq P_i) = 1 - 0.07 = 0.93$$

Haciendo uso del anexo N° 3 se tiene $Z_i = 1.50$

$$P_{exc} = (Z_i * S) + P''$$

$$P_{exc} = (1.50 * 23.269) + 82.870$$

$$P_{exc} = 117.7735 \text{ mm}$$

CUADRO N° 11: Periodo de retorno de acuerdo al proyecto

TIPO DE PROYECTO	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)
Desviación de crecientes en proyectos hidrológicos	25 a 50
Rebosaderos para crecientes de proyectos hidroeléctricos, dependiendo de si la presa es de tierra o enrocado o de concreto	\geq a 1000 años o criterio de creciento máxima probable
Colectores de aguas lluvias en ciudades, dependiendo del tipo de zona dentro de la ciudad	2 a 10
Alcantarilla para carreteras	1 a 5

CUADRO N° 12: Distribución normal o Gauss

Año	P(mm)	(p - pⁿ)²
1975	85	4.5369
1976	70	165.6369
1977	84	1.2769
1978	60	523.0369
1979	160	5949.0369
1980	70	165.6369
1981	95	147.1369
1982	110	736.0369
1983	87	17.0569
1984	137	2930.0569
1985	107	582.2569
1986	70	165.6369
1987	100	293.4369
1988	60	523.0369
1989	65	319.3369
1990	73	97.4169
1991	43	1589.6169
1992	75	61.9369
1993	65	319.3369
1994	85	4.5369
1995	70	165.6369
1996	80	8.2369
1997	85	4.5369
1998	75	61.9369
1999	90	50.8369
2000	98	228.9169
2001	60	523.0369
2002	75	61.9369
2003	63	394.8169
2004	94	123.8769
2005	78	23.7169
Σ		16243.4839
Promedio (Pⁿ)	82.870	

3.6.3 Distribución de Pearson tipo III. Para el cálculo de la precipitación de exceso mediante el método Pearson III, se trabajó con las precipitaciones máximas diarias de cada uno de los años de registro pluviométricos de la estación meteorológica la Normal de Sincelejo, del cual se determinó la desviación estándar de la suma de los datos y el coeficiente de oblicuidad. Posteriormente con el tiempo de retorno según el (**Anexo N° 2**) se determinó el valor de Kt y con la precipitación promedio se determinó la precipitación de exceso con la siguiente fórmula.

$$P_{exc} = (S * Kt) + P''$$

- **Cálculo del coeficiente oblicuidad (Cs)**

$$Cs = \frac{n * \sum (Pi - P'')^3}{(n - 1) * (n - 2) * S^3}$$

$$Cs = \frac{(31) * (805003,3414)}{(31-1) * (31-2) * (23.269)^3}$$

$$Cs = 2.276$$

Para un tiempo de retorno, Tr, de 15 años y un coeficiente de oblicuidad Cs de 2.276 se obtiene en el Anexo N° 2 el valor de Kt

$$Kt = 1.599$$

De acuerdo con la ecuación la precipitación de excesos igual:

$$P_{Exc} = 82.870 + (23.269 * 1.599) = 120.0771 \text{ mm}$$

CUADRO N° 13: Distribución de Pearson tipo III

Año	P(mm)	(p - pⁿ)²	(p - pⁿ)³
1975	85	4.5369	9.663597
1976	70	165.6369	2131.746903
1977	84	1.2769	1.442897
1978	60	523.0369	11961.8539
1979	160	5949.0369	458849.2161
1980	70	165.6369	2131.746903
1981	95	147.1369	1784.770597
1982	110	736.0369	19968.6811
1983	87	17.0569	70.444997
1984	137	2930.0569	158603.98
1985	107	582.2569	14049.859
1986	70	165.6369	2131.746903
1987	100	293.4369	5026.574097
1988	60	523.0369	11961.8539
1989	65	319.3369	5706.550403
1990	73	97.4169	961.504803
1991	43	1589.6169	63378.0258
1992	75	61.9369	487.443403
1993	65	319.3369	5706.550403
1994	85	4.5369	9.663597
1995	70	165.6369	2131.746903
1996	80	8.2369	23.639903
1997	85	4.5369	9.663597
1998	75	61.9369	487.443403
1999	90	50.8369	362.467097
2000	98	228.9169	3463.512697
2001	60	523.0369	11961.8539
2002	75	61.9369	487.443403
2003	63	394.8169	7845.011803
2004	94	123.8769	1378.749897
2005	78	23.7169	115.501303
Σ		16243.4839	805003.3414
Promedio (Pⁿ)	82.870		

Tomando como precipitación de exceso total, el promedio de los valores obtenidos de los diferentes métodos utilizados, tenemos entonces que:

$$P_{exc} = \frac{(116.5 + 117.7735 + 120.0771) \text{ mm}}{3}$$

$$P_{exc} = 118.116 \text{ mm}$$

3.7. DETERMINACIÓN DE RIESGOS PERMISIBLES

La probabilidad de que ocurra un evento igual o superior a 118.116 mm, considerando una vida útil de 10 años para un tiempo de retorno de 15 años. Las estructuras que se plantean como alternativas de solución tendrán un riesgo permisible de:

$$U = 1 - (1 - 1/Tr)^n$$

$$U = 1 - (1 - 1/15)^{10}$$

$$U = 49.83\%$$

3.8. CÁLCULO DEL CAUDAL POR EL MÉTODO DEL NÚMERO DE LA CURVA

Para facilitar el cálculo del caudal de escurrimiento de la cuenca, se dividió en cuatro unidades de menor área, que a su vez se subdividieron en 6 sub – unidades con características similares, teniendo en cuenta algunos factores como lo son (**ver plano 2**):

La condición de humedad del terreno, grupo hidrológico y las condiciones hidrológicas según el porcentaje de cobertura vegetal en la hoya. De acuerdo a estos parámetros y a las condiciones presentes en la zona de estudio, en el cual se presentan diversos sectores cubiertos por una extensa cobertura

vegetal que de acuerdo a su localización presentan un alto porcentaje urbanístico.

3.8.1. UNIDAD N° 1 (ver plano 2)

Esta se encuentra conformada por dos sub – unidades 1A y 1B las cuales presentan características diferentes.

Área total de la Unidad N° 1 $AT_1 = 104912.8 \text{ m}^2 \rightarrow 10.49128 \text{ Hect.}$

Área de la sub – unidad $A_{1A} = 28356.4 \text{ m}^2 \rightarrow 2.83564 \text{ Hect.}$

Área de la sub – Unidad $A_{1B} = 76556.4 \text{ m}^2 \rightarrow 7.65564 \text{ Hect.}$

- **Para la Sub – Unidad 1A (ver plano 2)**

Grupo Hidrológico = Tipo C, infiltración baja. Suelos poco profundos, medianamente arcillosos.

Condición de antecedente de humedad II, para tierras agrícola cuyo uso esta dado por pastizales en condiciones pobres, etc. $CN (II) = 86$ (**Anexo N° 1**)

- **Para la Sub – Unidad 1B (ver plano 2)**

Grupo Hidrológico = Tipo D, infiltración muy baja. Suelos arcillosos a muy arcillosos.

Condición de antecedente de humedad II, para tierras agrícolas, suburbanas y urbanas. Parqueadero, pavimentados, techos, acceso, etc. $CN (II) = 98$ (**Anexo N° 1**).

$$CN(II)_1 = \frac{CN (II)1A * A_{1A} + CN (II)1B * A_{1B}}{AT_1}$$

$$CN(II)_1 = \frac{(86 * 2.83564 \text{ Hect.}) + (98 * 7.65564 \text{ Hect.})}{10.49128 \text{ Hect}}$$

$$CN(II)_1 = 94.756$$

3.8.2 UNIDAD N° 2 (ver plano 2)

Área total de la Unidad N° 2 $AT_2 = 85696.4 \text{ m}^2 \rightarrow 8.56964 \text{ Hect.}$

Grupo Hidrológico = Tipo D infiltración muy baja. Suelos arcillosos a muy arcillosos.

Condición de antecedente de humedad II, para tierras agrícolas, suburbanas y urbanas. Parqueaderos, techos, pavimentos, accesos, etc. $CN (II)_2 = 98$

(Anexo N° 1)

3.8.3 UNIDAD N° 3 (ver plano 2)

Esta se encuentra conformada por dos sub – unidades 3C y 3D las cuales presentan características diferentes.

Área total de la Unidad N° 3 $AT_3 = 150372.8 \text{ m}^2 \rightarrow 15.03728 \text{ Hect.}$

Área de la sub – Unidad $A_{3C} = 57256.4 \text{ m}^2 \rightarrow 5.72564 \text{ Hect.}$

Área de la sub – Unidad $A_{3B} = 93116.4 \text{ m}^2 \rightarrow 9.31164 \text{ Hect.}$

- **Para la Sub – Unidad 3C (ver plano 2)**

Grupo Hidrológico = Tipo B, infiltración media. Suelos menos profundo, medianamente ricos en loess y arcillas.

Condición de antecedente de humedad II, para calles y carreteras en tierras, etc. $CN (II) = 82$ **(Anexo N° 1)**

- **Para la Sub – Unidad 3D (ver plano 2)**

Grupo Hidrológico = Tipo A, alta infiltración. Suelos profundos compuestos de arenas y gravillas.

Condición de antecedente de humedad II, para pastizales: en condiciones pobre. $CN (II) = 68$ **(Anexo N° 1)**.

$$CN(II)_3 = \frac{CN (II)_{3C} * A_{3C} + CN (II)_{3D} * A_{3D}}{AT_3}$$

$$CN(II)_3 = \frac{(82 * 5.72564 \text{ Hect.}) + (68 * 9.31164 \text{ Hect.})}{15.03728 \text{ Hect}}$$

$$CN(II)_3 = 73.33$$

3.8.4 UNIDAD N° 4 (ver plano 2)

Ésta se encuentra conformada por dos sub – unidades 4E y 4F las cuales presentan características diferentes.

Área total de la Unidad N° 4 $AT_4 = 221712.8 \text{ m}^2 \rightarrow 22.17128 \text{ Hect.}$

Área de la sub – Unidad $A_{4E} = 128596.4 \text{ m}^2 \rightarrow 12.85964 \text{ Hect.}$

Área de la sub – Unidad $A_{4F} = 93116.4 \text{ m}^2 \rightarrow 9.31164 \text{ Hect.}$

- **Para la Sub – Unidad 4E (ver plano 2)**

Grupo Hidrológico = Tipo C, infiltración baja. Suelos poco profundo, medianamente arcillosos.

Condición de antecedente de humedad II, para calles y carreteras en tierras, etc. $CN(II) = 86$ (**Anexo N° 1**)

- **Para la Sub – Unidad 4F (ver plano 2)**

Grupo Hidrológico = Tipo D, infiltración muy baja. Suelos arcillosos a muy arcillosos.

Condición de antecedente de humedad II, para tierras agrícolas, suburbanas y urbanas. Parqueadero, pavimentados, techos, acceso, etc. $CN(II) = 98$ (**Anexo N° 1**)

$$CN(II)_4 = \frac{CN(II)_{4E} * A_{4E} + CN(II)_{4F} * A_{4F}}{AT_4}$$

$$CN(II)_4 = \frac{(86 * 12.85964 \text{ Hect.}) + (98 * 9.31164 \text{ Hect.})}{22.17128 \text{ Hect.}}$$

$$CN(II)_4 = 91.03$$

3.9 CALCULO EL NÚMERO DE LA CURVA PARA TODA LA CUENCA

$$CN(II) = \frac{CN(II)1 * A_1 + CN(II)2 * A_2 + CN(II)3 * A_3 + CN(II)4 * A_4}{AT_{CUENCA}}$$

$$CN(II) = \frac{(94.756 * 10.49128) + (98 * 8.56964) + (73.33 * 15.03728) + (91.03 * 22.17128)}{51.62 \text{ Hect.}}$$

$$CN(II) = 95.987$$

- Para la condición de humedad (III)

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 * 95.987}{10 + 0.13 * 95.987}$$

$$CN(III) = 98.214$$

- Calculo la retención potencial o máxima cantidad de agua que la cuenca puede retener:

$$S = \frac{1000}{CN(III)} - 10 \rightarrow \text{Donde S esta en pulgadas.}$$

$$S = \frac{1000}{98.214} - 10$$

$$S = 0.18 \text{ pulg.} \rightarrow 4.413 \text{ mm}$$

- **Calculo la abstracción inicial o humedecimiento más retención superficial.**

$$I_a = 0.2 * S$$

$$I_a = 0.2 * 4.413 \text{ mm}$$

$$I_a = 0.882 \text{ mm}$$

3.10. CALCULO LA PRECIPITACIÓN DE EXCESO.

$P = 118.116 \text{ mm}$. Esta es la precipitación promedio calculada por las distribuciones de probabilidad.

$$P_{exc} = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S}$$

$$P_{exc} = \frac{(118.116 \text{ mm} - 0.2 * 4.413 \text{ mm})^2}{118.116 \text{ mm} + 0.8 * 4.413 \text{ mm}}$$

$$P_{exc} = 112.980 \text{ mm}$$

- **Calculo la retención real de la cuenca.**

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_{exc}}{P - I_A}$$

$$F_a = \frac{112.980 \text{ mm} * 4.413 \text{ mm}}{118.116 \text{ mm} - 0.882 \text{ mm}}$$

$$F_a = 4.252 \text{ mm}$$

3.11. CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD N° 1

Calculando el tiempo de concentración haciendo uso de la formula de Kirpich (1940).

$$T_c = 0.0195 * [L^3 / H]^{0.385}$$

Del plano a escala 1:2000

Longitud del cauce C 1,1: L = 318 m

Diferencia del nivel del cauce: H = 228 m – 210 m = 18 m

Pendiente S

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{18 \text{ m}}{318 \text{ m}} = 0.056 = 5.66 \%$$

$$T_c = (0.0195) * \left[\frac{(318 \text{ m})^3}{18 \text{ m}} \right]^{0.385}$$

$$T_c = 4.978 \text{ min.} \rightarrow 0.0829 \text{ hor}$$

Calculando el caudal.

Haciendo uso de la siguiente ecuación se obtiene el caudal:

$$Q_1 = \frac{2.1 (P_{exc} * A_{T1})}{0.5 * D + 0.6 * T_c}$$

Donde:

A_{T1} = Área total de influencia. (Hect.)

P_{exc} = Precipitación de exceso en mm.

D = duración de la precipitación

D = T_c , debido a que no se conoce la precipitación de exceso en horas (Rojas, R. 1985).

T_c = tiempo de concentración en horas.

Q_1 = Caudal pico máximo Lit/seg

$$Q_1 = \frac{2.1(112.980 \text{ mm} * 10.49128 \text{ Hect.})}{(0.5 * 0.0829) + (0.6 * 0.0829)}$$

$$Q_1 = 27296.195 \text{ lit/seg} \rightarrow 27.296 \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.12. CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD N° 2

Calculando el tiempo de concentración haciendo uso de la formula de Kirpich (1940).

$$T_c = 0.0195 * [L^3 / H]^{0.385}$$

Del plano a escala 1:2000

Longitud del cauce: $L = 287.33 \text{ m}$

Diferencia del nivel del cauce: $H = 210 \text{ m} - 208 \text{ m} = 2 \text{ m}$

Pendiente S

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{2 \text{ m}}{287.33 \text{ m}} = 0.00696 = 0.696 \%$$

$$T_c = (0.0195) * \left[\frac{(287.33 \text{ m})^3}{2 \text{ m}} \right]^{0.385}$$

$$T_c = 10.317 \text{ min.} \rightarrow 0.171 \text{ hor}$$

Calculando el caudal.

Haciendo uso de la siguiente ecuación se obtiene el caudal:

$$Q_2 = \frac{2.1(P_{exc} * A_{T2})}{0.5 * D + 0.6 * T_c}$$

Donde:

A_{T2} = Área total de influencia. (Hect.)

P_{EXC} = Precipitación de exceso en mm.

D = duración de la precipitación

D = T_c , debido a que no se conoce la precipitación de exceso en horas (Rojas, R. 1985).

T_c = tiempo de concentración en horas.

Q_2 = Caudal pico máximo Lit/seg

$$Q_2 = \frac{2.1(112.980 \text{ mm} * 8.56964 \text{ Hect.})}{(0.5 * 0.171 \text{ hor}) + (0.6 * 0.171 \text{ hor})}$$

$$Q_2 = 10809.227 \text{ lit/seg} \rightarrow 10.809 \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.13. CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD N° 3

Calculando el tiempo de concentración haciendo uso de la formula de Kirpich (1940).

$$T_c = 0.0195 * [L^3 / H]^{0.385}$$

Del plano a escala 1:2000

Longitud del cauce: L = 433.33m

Diferencia del nivel del cauce: H = 208 m – 202 m = 6 m

Pendiente S

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{6 \text{ m}}{433.33 \text{ m}} = 0.01384 = 1.384\%$$

$$T_c = (0.0195) * \left[\frac{(433.33 \text{ m})^3}{6 \text{ m}} \right]^{0.385}$$

$$T_c = 10.863 \text{ min} \rightarrow 0.181 \text{ hor}$$

Calculando el caudal.

Haciendo uso de la siguiente ecuación se obtiene el caudal:

$$Q_3 = \frac{2.1 (P_{exc} * A_{T3})}{0.5 * D + 0.6 * T_c}$$

Donde:

A_{T3} = Área total de influencia. (Hect.)

P_{EXC} = Precipitación de exceso en mm.

D = duración de la precipitación

D = T_c , debido a que no se conoce la precipitación de exceso en horas (Rojas, R. 1985).

T_c = tiempo de concentración en horas.

Q_3 = Caudal pico máximo Lit/seg

$$Q_3 = \frac{2.1 (112.980 \text{ mm} * 15.03728 \text{ Hect.})}{(0.5 * 0.181 \text{ hor}) + (0.6 * 0.181 \text{ hor})}$$

$$Q_3 = 17919.211 \text{ lit/seg} \rightarrow 17.919 \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.14. CÁLCULO DEL CAUDAL PARA LA UNIDAD N° 4

Calculando el tiempo de concentración haciendo uso de la formula de Kirpich (1940).

$$T_c = 0.0195 * [L^3 / H]^{0.385}$$

Del plano a escala 1:2000

Longitud del cauce: L = 513.34 m

Diferencia del nivel del cauce: H = 202 m – 194 m = 8 m

Pendiente: S

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{8m}{513.34m} = 0.01558 = 1.558\%$$

$$T_c = (0.0195) * \left[\frac{(513.34m)^3}{8m} \right]^{0.385}$$

$$T_c = 11.826 \text{ min.} \rightarrow 0.197 \text{ hor}$$

Calculo del caudal.

Haciendo uso de la siguiente ecuación se obtiene el caudal:

$$Q_4 = \frac{2.1(P_{exc} * A_{T4})}{0.5 * D + 0.6 * T_c}$$

Donde:

A_{T4} = Área total de influencia. (Hect.)

P_{exc} = Precipitación de exceso en mm.

D = duración de la precipitación

D = T_c , debido a que no se conoce la precipitación de exceso en horas (Rojas, R. 1985).

T_c = tiempo de concentración en horas.

Q_4 = Caudal pico máximo Lit/seg

$$Q_4 = \frac{2.1(112.980 \text{ mm} * 22.17128 \text{ Hect.})}{(0.5 * 0.197 \text{ hor}) + (0.6 * 0.197 \text{ hor})}$$

$$Q_4 = 24274.635 \text{ lit/seg} \rightarrow 24.274 \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.15. CÁLCULO DEL CAUDAL TOTAL, Q_T

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_T = 27.296 \text{ m}^3/\text{seg} + 10.809 \text{ m}^3/\text{seg} + 17.919 \text{ m}^3/\text{seg} + 24.274 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_T = 80.298 \text{ m}^3/\text{seg}$$

3.16. INVENTARIO DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

- **Canal revestido:** Lo conforma un canal rectangular revestido en concreto de base 2.10 m y una altura promedio de 1.10 m, tiene su origen en el tramo K0 + 365 y finaliza en el tramo K1 + 0.45 recorre los barrios Pablo VI y un sector de Vallejo. Éste presenta un estado de conservación de su estructura buena, no presenta grietas en el fondo ni en sus taludes, su principal problema es la presencia permanente de basuras que impiden una rápida evacuación de sus aguas (**ver plano 1**).
- **Canal natural:** Tiene su origen en el tramo K1 +0.45 y finaliza en el tramo K1 + 425 recorre los barrios Camilo Torres y un sector de Vallejo. Presenta un estado de conservación malo, la desestabilización de sus taludes y la socavación del fondo del arroyo tiende a formar una sección hidráulica trapezoidal. La falta de una limpieza a permitido el desbordamiento del arroyo y consigo la perdida de algunos lotes y patios vecinos (ver plano 1).
- **Canal enrocado:** Tiene su origen en el tramo K1 + 425 y finaliza en el tramo K2 + 0.34 recorre los barrios la Selva, la Invasión 6 Noviembre y un sector de Camilo Torres. Lo conforma un canal trapezoidal de base 2 m, el cual sus taludes presentan un enrocado de caliza y el fondo cuenta con un revestimiento pobre de concreto. Presenta un estado de conservación malo, el mal estado del enrocado ha permitido la desestabilización de sus taludes y la desaparición de las mismas. La socavación en el fondo del canal permite la infiltración de estas aguas y da origen a la presencia de charcos donde permanentemente se resumen estas aguas generando la proliferación de enfermedades y malos olores (**ver plano 1**).
- **Cruces de vías:** En estos sectores el estado de estas estructuras no son las mejores ni las más adecuadas. Dentro del tipo de estructuras que

actualmente se encuentran tenemos “Tubos de concreto” como es el caso en el sector de Pablo VI que cuenta con un total de 8 estructuras cuyo principal inconveniente es el taponamiento de basuras que impiden el flujo del agua. Otras de las estructuras con las que cuenta estos sectores son los box coulvert con un total de 10 estructuras cuya principal preocupación en la mayoría es el mal estado de las barandas de protección (**plano 1**).

3.17 DISEÑO DE SECCIÓN DE CANALES

Para el diseño se tienen en cuenta la ecuación de Maning, la más empleada para el efecto de diseño de canales abiertos. La geometría para cada sección se muestra en el (**anexo N° 4**)

3.17.1 Tramo K0 + 365 a K0 + 485 (Canal rectangular sector pablo sexto)

Caso en el cual esta fijado el ancho b del fondo del canal.

$$\text{Pendiente: } S = \frac{189.90 \text{ m} - 154.40 \text{ m}}{120\text{m}} = 0.295$$

Rugosidad: $n = 0.013$

Caudal: $Q = 27.296 \text{ m}^3/\text{seg}$

Base: $b = 2.10 \text{ m}$

Longitud: $L = 120 \text{ m}$

De la ecuación de maning:

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n} ; \text{ Siendo } V = \frac{Q}{A} ; \text{ se tiene } \frac{Q}{A} = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$\text{Como: } A * R^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}} \text{ y } R = \frac{A}{P}, \text{ entonces } R^{2/3} = \frac{A^{2/3}}{P^{2/3}}$$

Luego sustituyendo:

$$A * \frac{A^{2/3}}{P^{2/3}} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$$

$$\text{Entonces } \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}, \text{ Despejando } A^{5/3} = P^{2/3} * \frac{Q * n}{S^{1/2}}$$

Elevando a la potencia 3/5 y despejando A

$$\left[A^{5/3} \right]^{3/5} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}, \text{ Entonces } A = P^{2/5} * \left[\frac{Q * n}{S^{1/2}} \right]^{3/5}$$

De acuerdo al (**anexo N° 4**) para secciones rectangulares, a partir de:

$A = b * y$ y $P = b + 2 * y$. Reemplazando se obtiene la ecuación 1

$$b * y = \left(\frac{Q * n}{S^{1/2}} \right)^{3/5} * (b + 2 * y)^{2/5} \quad (1)$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$2.10 * y = \left(\frac{27.296 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.295^{1/2}} \right)^{3/5} * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

$$2.10 * y = 0.774 * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

Resolviendo por tanteo para $y = 0.8$ se cumple que $1.68 = 1.68$

Calculando las características hidráulicas y geométricas:

$$\text{Área (A): } A = b * y \rightarrow A = 2.10 \text{ m} * 0.8 \text{ m} \rightarrow A = 1.68 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado (P): } P = b + 2 * y \rightarrow P = 2.10 + (2 * 0.8) \rightarrow P = 3.7 \text{ m}$$

$$\text{Radio hidráulico (R): } R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{1.68 \text{ m}^2}{3.7 \text{ m}} \rightarrow R = 0.454 \text{ m}$$

$$\text{Ancho superior (T): } T = b \rightarrow T = 2.10 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad hidráulica (D): } D = y \rightarrow D = 0.8 \text{ m}$$

$$\text{Factor de sección (Z): } Z = b * y^{1.5} \rightarrow Z = 2.10 \text{ m} * (0.8)^{1.5} \rightarrow Z = 1.50 \text{ m}$$

$$\text{Borde libre (B}_L\text{): } B_L = 0.30 * y \rightarrow B_L = 0.30 * 0.8 \text{ m} \rightarrow B_L = 0.24 \text{ m}$$

$$\text{Boca del canal (B}_C\text{): } B_C = b \rightarrow B_C = 2.10 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del flujo (V): } V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{27.296 \text{ m}^3/\text{seg}}{1.68 \text{ m}^2} \rightarrow V = 16.247 \text{ m/seg}$$

$$\text{Número de Froude (F): } F = \frac{V}{\sqrt{g * y}} \rightarrow F = \frac{16.247 \text{ m/seg}}{\sqrt{9.8 \text{ m/seg}^2 * 0.80 \text{ m}}} \rightarrow F = 5.78 > 1$$

Nota: el flujo es supercrítico

3.17.2 Tramo K0 + 485 a K0 + 618 (Canal rectangular sector Pablo sexto)

Caso en el cual esta fijado el ancho b del fondo del canal.

$$\text{Pendiente: } S = \frac{154.40 \text{ m} - 125.60 \text{ m}}{253 \text{ m} - 120 \text{ m}} = 0.216$$

Rugosidad: $n = 0.013$

Caudal: $Q = 27.296 \text{ m}^3/\text{seg}$

Base: $b = 2.10 \text{ m}$

Longitud: $L = 133 \text{ m}$

Haciendo uso de la ecuación N° 1 se tiene que:

$$2.10 * y = \left(\frac{27.296 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.216^{1/2}} \right)^{3/5} * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

$$2.10 * y = 0.85 * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

Resolviendo por tanteo para $y = 0.658$ se cumple que $1.38 = 1.38$

Las características hidráulicas y geométricas son: (ver Cuadro N° 14)

3.17.3 Tramo K0 + 618 a K0 + 765 (Canal rectangular sector pablo sexto)

Caso en el cual esta fijado el ancho b del fondo del canal.

$$\text{Pendiente: } S = \frac{125.60 \text{ m} - 89.90 \text{ m}}{400 \text{ m} - 253 \text{ m}} = 0.242$$

Rugosidad: $n = 0.013$

Caudal: $Q = 38.105 \text{ m}^3/\text{seg}$

Base: $b = 2.10 \text{ m}$

Longitud: $L = 147 \text{ m}$

Haciendo uso de la ecuación N° 1 se tiene que:

$$2.10 * y = \left(\frac{38.105 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.242^{1/2}} \right)^{3/5} * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

$$2.10 * y = 1.0 * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

Resolviendo por tanteo para $y = 0.8$ se cumple que $1.68 = 1.68$

Las características hidráulicas y geométricas son: (ver Cuadro N° 15)

3.17.4 Tramo K0 + 765 a K0 + 855 (Canal rectangular sector Pablo sexto)

Caso en el cual esta fijado el ancho b del fondo del canal.

$$\text{Pendiente: } S = \frac{89.90 \text{ m} - 80.90 \text{ m}}{490 \text{ m} - 400 \text{ m}} = 0.1$$

Rugosidad: $n = 0.013$

Caudal: $Q = 38.105 \text{ m}^3/\text{seg}$

Base: $b = 2.10 \text{ m}$

Longitud: $L = 90 \text{ m}$

Haciendo uso de la ecuación N° 1 se tiene que:

$$2.10 * y = \left(\frac{38.105 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.1^{1/2}} \right)^{3/5} * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

$$2.10 * y = 1.309 * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

Resolviendo por tanteo para $y = 1.12$ se cumple que $2.35 = 2.35$

Las características hidráulicas y geométricas son: (ver Cuadro N° 16)

3.17.5 Tramo K0 + 855 a K1 + 045 (Fin del Canal rectangular Sector Pablo sexto)

Caso en el cual esta fijado el ancho b del fondo del canal.

$$\text{Pendiente: } S = \frac{89.90 \text{ m} - 81.10 \text{ m}}{680 \text{ m} - 490 \text{ m}} = 0.046$$

$$\text{Rugosidad: } n = 0.013$$

$$\text{Caudal: } Q = 38.105 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Base: } b = 2.10 \text{ m}$$

$$\text{Longitud: } L = 190 \text{ m}$$

Haciendo uso de la ecuación N° 1 se tiene que:

$$2.10 * y = \left(\frac{38.105 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.046^{1/2}} \right)^{3/5} * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

$$2.10 * y = 1.65 * (2.10 + 2 * y)^{2/5}$$

Resolviendo por tanteo para $y = 1.505$ se cumple que $3.16 = 3.16$

Las características hidráulicas y geométricas son: (ver Cuadro N° 17).

3.17.6 Tramo K1+ 045 a K1 + 174 (Canal trapezoidal)

Teniendo en cuenta el concepto de máxima eficiencia tenemos que:

$$\text{Pendiente: } S = \frac{81.10 \text{ m} - 66.60 \text{ m}}{809 \text{ m} - 680 \text{ m}} = 0.112$$

$$\text{Rugosidad: } n = 0.013$$

$$\text{Caudal: } Q = 56.024 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Longitud: } L = 190 \text{ m}$$

$$z = 1$$

Empleando la fórmula para la sección de máxima eficiencia para un talud dado se halla un valor de b/y :

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{1 + Z^2} - Z)$$

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{2} - 1)$$

$$\frac{b}{y} = 0.8284$$

$$b = 0.8284 y$$

Se hallan el valor de $AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$

$$AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = \frac{56.024 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.112^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = 2.176$$

Se hallan los valores de (A) y (P) en función de (y) y finalmente se halla $R^{2/3}$

$$A = by + zy^2$$

$$A = 0.8284 y * (y) + 1 * (y)^2$$

$$A = 1.8284 y^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 0.8284 y + 2y\sqrt{2}$$

$$P = 3.6568 y$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{1.8284 y^2}{3.6568 y} \rightarrow R = 0.5 y$$

$$R^{2/3} = 0.6299 y^{2/3}$$

Se iguala el valor obtenido de $AR^{2/3}$ con el valor de (A) y ($R^{2/3}$) encontrados en los pasos anteriores para obtener finalmente el valor de (y).

$$AR^{2/3} = 2.176$$

$$(1.8284 y^2) * (0.6299 y^{2/3}) = 2.176$$

$$1.1517 y^{8/3} = 2.176$$

$$y^{8/3} = \frac{2.176}{1.1517}$$

$$y^{8/3} = 1.889$$

$$y = 1.889^{3/8}$$

$$y = 1.269$$

Despejando el valor de (b)

$$b = 0.8284 y$$

$$b = 0.8284 * (1.269)$$

$$b = 1.051 \text{ m}$$

Se chequea si se cumple la relación de máxima eficiencia:

$$R = A/P = y/2$$

$$A = 1.8284 y^2 \rightarrow A = 1.8284 * (1.269)^2 \rightarrow A = 2.944 \text{ m}^2$$

$$P = 3.6568 y \rightarrow P = 3.6568 * (1.269) \rightarrow P = 4.640 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{2.944 \text{ m}^2}{4.640 \text{ m}} \rightarrow R = 0.634 \text{ m}$$

$$R = \frac{y}{2} \rightarrow R = \frac{1.269 \text{ m}}{2} \rightarrow R = 0.634 \text{ m}$$

Nota: (Se cumple la condición de máxima eficiencia hidráulica). OK

Calculando las características hidráulicas y geométricas:

$$\text{Ancho superior (T): } T = b + 2z y \rightarrow T = 1.051 + 2 * (1) * (1.269) \rightarrow T = 3.589$$

$$\text{Borde libre (B}_L\text{): } B_L = 0.30 * (y) \rightarrow B_L = 0.30 * 1.269 \rightarrow B_L = 0.38 \text{ m}$$

$$\text{Boca del canal (B}_C\text{): } B_C = b + 2z (y + B_L)$$

$$B_C = 1.051 + 2 * (1) * (1.269 + 0.38)$$

$$B_C = 4.349 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del flujo (V): } V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{56.024 \text{ m}^3/\text{seg}}{2.944 \text{ m}^2} \rightarrow V = 19.029 \text{ m/seg}$$

$$\text{Profundidad hidráulica (D): } D = \frac{A}{T} \rightarrow D = \frac{2.944 \text{ m}^2}{3.589 \text{ m}} \rightarrow D = 0.82 \text{ m}$$

$$\text{Número de Froude (F): } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \rightarrow F = \frac{19.029 \text{ m/seg}}{\sqrt{9.8 \text{ m/seg}^2 * 0.82 \text{ m}}} \rightarrow F = 6.71 > 1$$

Nota: el flujo es supercrítico

3.17.6.1 Transición K1 + 045 a K1 + 065

Se hará un cambio de sección entre el canal rectangular de base 2.10 m al canal trapezoidal de base 1.051 m.

Para el caso de este trabajo se plantean: De acuerdo a Hind, citado por Silva, con el cual se obtienen valores aproximados, use la siguiente ecuación para calcular la longitud de la transición:

$$L = \frac{b - b''}{2 * \text{tang } 12^\circ 30'}$$

Donde b es la base mayor y b'' la base menor

$$b = 2.10$$

$$b'' = 1.051$$

$$L = \frac{2.10 \text{ m} - 1.051 \text{ m}}{2 * \text{tang } 12^\circ 30'} \rightarrow L = \frac{1.049 \text{ m}}{0.433} \rightarrow L = 2.422 \text{ m}$$

Se adopta un valor de $L = 2.50$ m, el cual favorece la conservación de la energía en el canal y fácil para la construcción.

3.17.7 Tramo K1 + 174 a K1 + 495 (Canal trapezoidal)

Teniendo en cuenta el concepto de máxima eficiencia tenemos que:

$$\text{Pendiente: } S = \frac{66.60 \text{ m} - 33.50 \text{ m}}{1130 \text{ m} - 809 \text{ m}} \rightarrow S = 0.103$$

Rugosidad: $n = 0.013$

Caudal: $Q = 56.024 \text{ m}^3/\text{seg}$

Longitud: $L = 321 \text{ m}$

$z = 1$

Empleando la fórmula para la sección de máxima eficiencia para un talud dado se halla un valor de b/y :

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{1 + Z^2} - Z)$$

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{2} - 1)$$

$$\frac{b}{y} = 0.8284$$

$$b = 0.8284 y$$

Se hallan el valor de $AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$

$$AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = \frac{56.024 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.103^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = 2.269$$

Se hallan los valores de (A) y (P) en función de (y) y finalmente se halla $(R)^{2/3}$

$$A = by + zy^2$$

$$A = 0.8284 y * (y) + 1 * (y)^2$$

$$A = 1.8284 y^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 0.8284 y + 2y\sqrt{2}$$

$$P = 3.6568 y$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{1.8284 y^2}{3.6568 y} \rightarrow R = 0.5 y$$

$$R^{\frac{2}{3}} = 0.6299 y^{\frac{2}{3}}$$

Se iguala el valor obtenido de $AR^{\frac{2}{3}}$ con el valor de (A) y $(R^{\frac{2}{3}})$ encontrados en los pasos anteriores para obtener finalmente el valor de (y).

$$AR^{\frac{2}{3}} = 2.269$$

$$(1.8284 y^2) * (0.6299 y^{\frac{2}{3}}) = 2.269$$

$$1.1517 y^{\frac{8}{3}} = 2.269$$

$$y^{\frac{8}{3}} = \frac{2.269}{1.1517}$$

$$y^{\frac{8}{3}} = 1.970$$

$$y = 1.970^{\frac{3}{8}}$$

$$y = 1.289 m$$

Despejando el valor de (b)

$$b = 0.8284 y$$

$$b = 0.8284 * (1.289)$$

$$b = 1.067 m$$

Se chequea si se cumple la relación de máxima eficiencia:

$$R = A/P = y/2$$

$$A = 1.8284 y^2 \rightarrow A = 1.8284 * (1.289)^2 \rightarrow A = 3.03 m^2$$

$$P = 3.6568 y \rightarrow P = 3.6568 * (1.289) \rightarrow P = 4.713 m$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{3.03 m^2}{4.713 m} \rightarrow R = 0.64 m$$

$$R = \frac{y}{2} \rightarrow R = \frac{1.289 \text{ m}}{2} \rightarrow R = 0.64 \text{ m}$$

Nota: (Se cumple la condición de máxima eficiencia hidráulica). OK

Calculando las características hidráulicas y geométricas:

$$\text{Ancho superior (T): } T = b + 2z y \rightarrow T = 1.067 + 2 * (1) * (1.289)$$

$$T = 3.645$$

$$\text{Borde libre (B}_L\text{): } B_L = 0.30 * (y) \rightarrow B_L = 0.30 * 1.289 \rightarrow B_L = 0.38 \text{ m}$$

$$\text{Boca del canal (B}_C\text{): } B_C = b + 2z (y + B_L)$$

$$B_C = 1.067 + 2 * (1) * (1.289 + 0.38)$$

$$B_C = 4.405 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del flujo (V): } V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{56.024 \text{ m}^3/\text{seg}}{3.03 \text{ m}^2} \rightarrow V = 18.489 \text{ m/seg}$$

$$\text{Profundidad hidráulica (D): } D = \frac{A}{T} \rightarrow D = \frac{3.03 \text{ m}^2}{3.645 \text{ m}} \rightarrow D = 0.83 \text{ m}$$

$$\text{Número de Froude (F): } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \rightarrow F = \frac{18.489 \text{ m/seg}}{\sqrt{9.8 \text{ m/seg}^2 * 0.83 \text{ m}}} \rightarrow F = 6.48 > 1$$

Nota: el flujo es supercrítico

3.17.8 Tramo K1 + 495 a K1 + 649 (Canal trapezoidal)

Teniendo en cuenta el concepto de máxima eficiencia tenemos que:

$$\text{Pendiente: } S = \frac{38.90 \text{ m} - 33.50 \text{ m}}{1284 \text{ m} - 1130 \text{ m}} \rightarrow S = 0.0350$$

$$\text{Rugosidad: } n = 0.013$$

$$\text{Caudal: } Q = 80.298 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Longitud: } L = 154 \text{ m}$$

$$z = 1$$

Empleando la formula para la sección de máxima eficiencia para un talud dado se halla un valor de b/y :

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{1 + Z^2} - Z)$$

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{2} - 1)$$

$$\frac{b}{y} = 0.8284$$

$$b = 0.8284 y$$

Se hallan el valor de $AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$

$$AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = \frac{80.298 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.03501^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = 5.579$$

Se hallan los valores de (A) y (P) en función de (y) y finalmente se halla $(R)^{2/3}$

$$A = by + zy^2$$

$$A = 0.8284 y * (y) + 1 * (y)^2$$

$$A = 1.8284 y^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 0.8284 y + 2y\sqrt{2}$$

$$P = 3.6568 y$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{1.8284 y^2}{3.6568 y} \rightarrow R = 0.5 y$$

$$R^{2/3} = 0.6299 y^{2/3}$$

Se iguala el valor obtenido de $AR^{2/3}$ con el valor de (A) y ($R^{2/3}$) encontrados en los pasos anteriores para obtener finalmente el valor de (y).

$$AR^{2/3} = 5.579$$

$$(1.8284 y^2) (0.6299 y^{2/3}) = 5.579$$

$$1.1517 y^{8/3} = 5.579$$

$$y^{8/3} = \frac{5.579}{1.1517}$$

$$y^{8/3} = 4.844$$

$$y = 4.844^{3/8}$$

$$y = 1.806 \text{ m}$$

Despejando el valor de (b)

$$b = 0.8284 y$$

$$b = 0.8284 * (1.806)$$

$$b = 1.496 \text{ m}$$

Se chequea si se cumple la relación de máxima eficiencia:

$$R = A/P = y/2$$

$$A = 1.8284 y^2 \rightarrow A = 1.8284 * (1.806)^2 \rightarrow A = 5.963 \text{ m}^2$$

$$P = 3.6568 y \rightarrow P = 3.6568 * (1.806) \rightarrow P = 6.604 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{5.963 \text{ m}^2}{6.604 \text{ m}} \rightarrow R = 0.90 \text{ m}$$

$$R = \frac{Y}{2} \rightarrow R = \frac{1.806 \text{ m}}{2} \rightarrow R = 0.90 \text{ m}$$

Nota: (Se cumple la condición de máxima eficiencia hidráulica). OK

Calculando las características hidráulicas y geométricas:

$$\text{Ancho superior (T): } T = b + 2 z y \rightarrow T = 1.496 + 2 * (1) * (1.806)$$

$$T = 5.108 \text{ m}$$

$$\text{Borde libre (B}_L\text{): } B_L = 0.30 * (y) \rightarrow B_L = 0.30 * 1.806 \rightarrow B_L = 0.54 \text{ m}$$

$$\text{Boca del canal (B}_c\text{): } B_c = b + 2z (y + B_L)$$

$$B_c = 1.496 + 2 *(1) * (1.806 + 0.38)$$

$$B_c = 5.868 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del flujo (V): } V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{80.298 \text{ m}^3/\text{seg}}{5.963 \text{ m}^2} \rightarrow V = 13.466 \text{ m/seg}$$

$$\text{Profundidad hidráulica (D): } D = \frac{A}{T} \rightarrow D = \frac{5.963 \text{ m}^2}{5.108 \text{ m}} \rightarrow D = 1.167 \text{ m}$$

$$\text{Número de Froude (F): } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \rightarrow F = \frac{13.466 \text{ m/seg}}{\sqrt{9.8 \text{ m/seg}^2 * 1.167 \text{ m}}} \rightarrow F = 3.982 > 1$$

Nota: el flujo es supercrítico

3.17.8.1 Transición K1 + 495 a K1 + 545

Se hará un cambio de sección entre el canal trapezoidal de base 1.06 m al canal trapezoidal de base 1.496 m.

Para el caso de este trabajo se plantea. De acuerdo a Hind, citado por Silva, con el cual se obtienen valores aproximados use la siguiente ecuación para calcular la longitud de la transición:

$$L = \frac{b - b''}{2 * \text{tang } 12^\circ 30'}$$

Donde b es la base mayor y b'' la base menor

$$b = 1.496 \text{ m}$$

$$b'' = 1.067 \text{ m}$$

$$L = \frac{1.496 \text{ m} - 1.067 \text{ m}}{2 * \text{tang } 12^\circ 30'} \rightarrow L = \frac{0.429 \text{ m}}{0.433} \rightarrow L = 0.90 \text{ m}$$

Se adopta un valor de $L = 1 \text{ m}$, el cual favorece la conservación de la energía en el canal y fácil para la construcción.

3.17.9 Tramo K1 + 649 a K2 + 062.07 (Canal trapezoidal)

Teniendo en cuenta el concepto de máxima eficiencia tenemos que:

$$\text{Pendiente: } S = \frac{38.90 \text{ m} - 15.80 \text{ m}}{1697.0244 \text{ m} - 1284 \text{ m}} \rightarrow S = 0.0559$$

Rugosidad: $n = 0.013$

Caudal: $Q = 80.298 \text{ m}^3/\text{seg}$

Longitud: $L = 413.0244 \text{ m}$

$z = 1$

Empleando la formula para la sección de máxima eficiencia para un talud dado se halla un valor de b/y :

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{1 + Z^2} - Z)$$

$$\frac{b}{y} = 2 * (\sqrt{2} - 1)$$

$$\frac{b}{y} = 0.8284$$

$$b = 0.8284 y$$

Se hallan el valor de $AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$

$$AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = \frac{80.298 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{0.05591^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = 4.415$$

Se hallan los valores de (A) y (P) en función de (y) y finalmente se halla $(R)^{2/3}$

$$A = by + zy^2$$

$$A = 0.8284 y * (y) + 1 * (y)^2$$

$$A = 1.8284 y^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 0.8284 y + 2y\sqrt{2}$$

$$P = 3.6568 y$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{1.8284 y^2}{3.6568 y} \rightarrow R = 0.5y$$

$$R^{2/3} = 0.6299 y^{2/3}$$

Se iguala el valor obtenido de $AR^{2/3}$ con el valor de (A) y $(R^{2/3})$ encontrados en los pasos anteriores para obtener finalmente el valor de (y).

$$AR^{2/3} = 4.415$$

$$(1.8284 y^2) (0.6299 y^{2/3}) = 4.415$$

$$1.1517 y^{8/3} = 4.415$$

$$y^{8/3} = \frac{4.415}{1.1517}$$

$$y^{8/3} = 3.833$$

$$y = 3.833^{3/8}$$

$$y = 1.655 m$$

Despejando el valor de (b)

$$b = 0.8284 y$$

$$b = 0.8284 * (1.655)$$

$$b = 1.371 m$$

Se chequea si se cumple la relación de máxima eficiencia:

$$R = A/P = y/2$$

$$A = 1.8284 y^2 \rightarrow A = 1.8284 * (1.655)^2 \rightarrow A = 5.008 \text{ m}^2$$

$$P = 3.6568 y \rightarrow P = 3.6568 * (1.655) \rightarrow P = 6.052 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{5.008 \text{ m}^2}{6.052 \text{ m}} \rightarrow R = 0.827 \text{ m}$$

$$R = \frac{Y}{2} \rightarrow R = \frac{1.655 \text{ m}}{2} \rightarrow R = 0.827 \text{ m}$$

Nota: **(Se cumple la condición de máxima eficiencia hidráulica). OK**

Calculando las características hidráulicas y geométricas:

$$\text{Ancho superior (T): } T = b + 2 z y \rightarrow T = 1.371 + 2 * (1) * (1.655)$$

$$T = 4.681 \text{ m}$$

$$\text{Borde libre (B}_L\text{): } B_L = 0.30 * (y) \rightarrow B_L = 0.30 * 1.655 \rightarrow B_L = 0.49 \text{ m}$$

$$\text{Boca del canal (B}_C\text{): } B_C = b + 2z (y + B_L)$$

$$B_C = 1.371 + 2 * (1) * (1.655 + 0.49)$$

$$B_C = 5.661 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del flujo (V): } V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{80.298 \text{ m}^3/\text{seg}}{5.008 \text{ m}^2} \rightarrow V = 16.03 \text{ m/seg}$$

$$\text{Profundidad hidráulica (D): } D = \frac{A}{T} \rightarrow D = \frac{5.008 \text{ m}^2}{4.681 \text{ m}} \rightarrow D = 1.06 \text{ m}$$

$$\text{Número de Froude (F): } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \rightarrow F = \frac{16.03 \text{ m/seg}}{\sqrt{9.8 \text{ m/seg}^2 * 1.06 \text{ m}}} \rightarrow F = 4.973 > 1$$

Nota: el flujo es supercrítico

3.18 CÁLCULO DE SOBRE –ELEVACIÓN EN LA PARTE EXTERIOR DE LAS CURVAS EN CANALES

Con el objeto de evitar problemas al trazar el canal se proponen curvaturas en el canal en las que el flujo toma una altura mínima y una máxima sobre los taludes.

Para la altura máxima es recomendable aumentar el borde libre del canal para evitar problemas de rebose del cauce.

Silva L, para calcular la sobre- elevación cuando el flujo es rápido recomienda usar la siguiente expresión, dado que el número de fraude es mayor que la unidad.

$$\Delta h = 4 * \left[\frac{V^2 / 2 * g}{R/b} \right] \quad (2)$$

Donde:

V = Velocidad del flujo en m/s

g = gravedad en m/seg

R = radio del eje de la curva. Silva L, recomienda para caudales mayores a 20 m³/seg, un radio de curvatura de 100 m

$b = \frac{B+T}{2}$, Donde B es la base del canal y T el ancho superficial.

3.18.1 Cálculo de la curvatura N° 1 Aplicando la ecuación N° 2, para el tramo K0 + 385 a K0 + 485 se tiene que:

$$\text{Ancho medio } b = \frac{2.10 + 2.10}{2} = 2.10m$$

Radio del eje de curvatura, R = 100 m

$$\Delta h = 4 * \left[\frac{(16.247 \text{ m/seg})^2 / 2 * 9.8 \text{ m/seg}^2}{100 \text{ m} / 2.10 \text{ m}} \right]$$

$$\Delta h = 0.282 \text{ m}$$

3.18.2 Cálculo de la curvatura N° 2 Aplicando la ecuación N° 2, para el tramo K0 + 485 a K0 + 618 se tiene que:

$$\text{Ancho medio } b = \frac{2.10 + 2.10}{2} = 2.10 \text{ m}$$

Radio del eje de curvatura, R = 100 m

$$\Delta h = 4 * \left[\frac{(20.286 \text{ m/seg})^2 / 2 * 9.8 \text{ m/seg}^2}{100 \text{ m} / 2.10 \text{ m}} \right]$$

$$\Delta h = 0.440 \text{ m}$$

3.18.3 Cálculo de la curvatura N° 3 Aplicando la ecuación N° 2, para el tramo K0 + 765 , K0 + 800 y K0 + 855 se tiene que:

$$\text{Ancho medio } b = \frac{2.10 + 2.10}{2} = 2.10 \text{ m}$$

Radio del eje de curvatura, R = 100 m

$$\Delta h = 4 * \left[\frac{(16.20 \text{ m/seg})^2 / 2 * 9.8 \text{ m/seg}^2}{100 \text{ m} / 2.10 \text{ m}} \right]$$

$$\Delta h = 0.281 \text{ m}$$

3.18.4 Cálculo de la curvatura N° 4 Aplicando la ecuación N° 2, para el tramo K1 + 109 , K1 + 174 y K1 + 274 se tiene que:

$$\text{Ancho medio } b = \frac{2.10 + 2.10}{2} = 2.10 \text{ m}$$

Radio del eje de curvatura, $R = 100 \text{ m}$

$$\text{Velocidad en } K_{1+1.74} = \frac{V_{K1+0.45} + V_{K1+495}}{2}$$

$$V = \frac{19.029 \text{ m/seg} + 18.489 \text{ m/seg}}{2} \rightarrow V = 18.759 \text{ m/seg}$$

$$\Delta h = 4 * \left[\frac{(18.759 \text{ m/seg})^2 / 2 * 9.8 \text{ m/seg}^2}{100 \text{ m} / 2.10 \text{ m}} \right]$$

$$\Delta h = 0.2660 \text{ m}$$

3.19 DISIPADORES CON BLOQUES DE IMPACTO

La idea principal para el diseño de disipadores es estabilizar el salto y evitar que el agua salga de los límites del lecho disipador. La estabilización del salto

Se logra usando bloques de impactos que se colocan dentro del colchón de agua en una o más filas.

Los bloques en la rápida se utilizan para conformar una estructura dental a la entrada del cuenco disipador. Su función es partir el chorro de entrada y elevar una parte de él desde el piso, produciendo una longitud de resalto más corta que la que sería posible sin ellos.

Para su diseño se utiliza la fórmula estándar de U.S BUREAU OF RECLAMATION (USBR1964) citado por Naudascher E (2001), en su hidráulica de canales. Para este método se usa los siguientes datos experimentales:

$$\frac{X_B}{Y_2} = 4.0$$

Donde:

X_B = Ésta es la distancia de la primera fila de bloques a la entrada del flujo

Y_2 = Es el tirante del flujo por encima del tramo donde irían dispuesto los disipadores.

$$\frac{b}{b+S} = 0.5$$

Ésta es la relación de obstrucción donde b es el ancho de los bloques y S la separación entre ellos.

$$\frac{b}{h} = \frac{b}{h} = 1.0$$

Esta es la relación de espacios entre obstrucciones donde h es la altura de los bloques.

$$3 \leq \frac{\Delta X}{h} \leq 8$$

Este es el rango de la relación entre la distancia de las filas de bloque y la altura de ellos.

3.19.1 CÁLCULO DE LOS DISIPADORES

- **Disipador del tramo 618 a K0 + 765 (ver plano 3)**

Ubicación de los primeros bloques de impactos

$$X_B = 4 * y_2 \rightarrow X_B = 4 * 0.80 \text{ m} \rightarrow X_B = 3.20 \text{ m}$$

Ancho, Altura y separación entre bloque

$$h = y_1 = 0.658 \text{ m}$$

$$b = h = s = 0.658 \text{ m}$$

Ancho de la cresta:

$$a = 0.2 * h \rightarrow a = 0.2 * 0.658 \text{ m}$$

$$a = 0.131 \text{ m}$$

Ubicación de la segunda fila de bloque de impacto:

$$\Delta X = 4 * h \rightarrow \Delta X = 4 * 0.658$$

$$\Delta X = 2.632 \text{ m}$$

Separación del bloque y la pared en la primera fila:

$$\frac{s}{2} = \frac{0.658}{2} = 0.329$$

- **Disipadores del Tramo K0 + 855 a K1 + 045 (ver plano 3)**

Ubicación de los primeros bloques de impactos

$$X_B = 4 * y_2 \rightarrow X_B = 4 * 1.505 \text{ m} \rightarrow X_B = 6.02 \text{ m}$$

Ancho, Altura y separación entre bloque

$$h = y_1 = 1.12$$

$$b = h = s = 1.12 \text{ m}$$

Ancho de la cresta:

$$a = 0.2 * h \rightarrow a = 0.2 * 1.12 \text{ m}$$

$$a = 0.224 \text{ m}$$

Ubicación de la segunda fila de bloque de impacto:

$$\Delta X = 4 * h \rightarrow \Delta X = 4 * 1.12$$

$$\Delta X = 4.48 \text{ m}$$

Separación del bloque y la pared en la primera fila:

$$S/2 = \frac{1.12m}{2} = 0.56$$

- **Disipadores del Tramo K1 + 495 a K1 + 649 (ver plano 3)**

Ubicación de los primeros bloques de impactos

$$X_B = 4 * y_2 \rightarrow X_B = 4 * 1.806 \text{ m} \rightarrow X_B = 7.224 \text{ m}$$

Ancho, Altura y separación entre bloque

$$h = y_1 = 1.289 \text{ m}$$

$$b = h = s = 1.289 \text{ m}$$

Ancho de la cresta:

$$a = 0.2 * h \rightarrow a = 0.2 * 1.289 \text{ m}$$

$$a = 0.257 \text{ m}$$

Ubicación de la segunda fila de bloque de impacto:

$$\Delta X = 4 * h \rightarrow \Delta X = 4 * 1.289$$

$$\Delta X = 5.156 \text{ m}$$

Separación del bloque y la pared en la primera fila:

$$S/2 = \frac{1.289m}{2} = 0.64$$

CONCLUSIONES

- Actualmente el arroyo la selva carece de adecuadas estructuras hidráulicas que permitan drenar eficientemente la unidad. El mal estado de las estructuras y la falta de mantenimiento de las mismas contribuyen a aumentar las pérdidas por infiltración.
- La acumulación de residuos sólidos “basuras, desechos orgánicos” y la falta de una limpieza continua junto con la erosión de sus canales contribuyen a que estas corrientes se desborden de sus cauces principales.
- La falta de una adecuada protección de los taludes ha permitido la acción erosiva del agua y la socavaciones han provocado la desestabilización de los taludes. Lo que ha generado desbordamientos del cauce principal, convirtiéndose en una amenaza para el bienestar de la comunidad que allí habita.
- La falta de mantenimiento y ausencia de algunas estructuras han ocasionado el colapso de las mismas y a la improvisación de obras por parte de sus habitantes que se han convertido en un peligro para la circulación peatonal.
- El mal estado en que se encuentra el arroyo la selva lo convierte en foco de contaminación y en una molestia paisajística tanto para los sectores que lo circundan como para toda la ciudad en general.
- El mal estado de los sistemas de alcantarillados y la falta de sentido común de conservación por parte de sus habitantes son las principales causas de contaminación.

RECOMENDACIONES

- Para la construcción de los canales se recomienda quitar todo el material fangoso, para posteriormente realizar un relleno de 60 cm bien compactados, y sobre este se recomienda disponer una placa de fondo de 10 cm de espesor.
- Para mayor protección se propone la canalización del arroyo con revestimiento en concreto con las especificaciones técnicas recomendadas, según diseño.
- En el tramo K1+ 045 a K1 + 65 se recomienda eliminar el registro de alcantarillado que se encuentra en el cauce del arroyo, para evitar la filtración de aguas de la tubería de alcantarillado al canal o viceversa.
- Para una mejor circulación del agua por el canal rectangular existente localizado en el sector de Pablo Sexto se recomienda remplazar los cruces de vías existentes, remplazar los tubos por boxcolber.
- Para el mejoramiento paisajístico del arroyo se recomienda fortalecer el área de protección y conservación y que hacen parte fundamental de la estructura ambiental pública natural; dicha franja se fortalece mediante la siembra de especies o árboles nativos de la región y se fija como límite mínimo de amplitud un total de 10 metros a lado y lado del borde del arroyo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, G. Hidrología. Ed. Universidad de sucre. Sincelejo. 1990
- IGAC. Estudio General de suelo y Zonificación de Tierra. Departamento de sucre 1998. Pág. 126. ISBN 958-9067-41-7
- JIMENEZ, H y MATERON, H. Hidrología Básica II. Ed. Universidad del valle. Cali. 1986.
- LINSLEY, R. Hidrología para ingenieros. Ed. Mc Graw – Hill Latinoamericana, S.A. Bogota. 1985
- MONSALVE, G. Hidrología en la ingeniería. Ed. Escuela Colombiana de ingeniería. Santafé de Bogota. 1995
- NAUDASCHER. Eduard. Hidráulica de canales. Diseño de estructuras. Ed. Limusa Noriega Editores. México. 2001. Pág. 61, 71-77.
- ROJAS, R. Hidrología de tierras agrícolas. Ed. CIDIAT. Mérida. Venezuela. 1985
- SILVA, Garavito, Luis Felipe. Diseño de acueductos y alcantarillado
- TERANCE Y Mc. GE. Abastecimiento de agua y alcantarillado. Ed. Mc. Graw – Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogota. 1999.

Anexos

Anexo N° 1. Condiciones de antecedente de humedad II.

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote				
Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos	65			
		77	85	90
1/4 acre	38			
		61	75	83
1/3 acre	30			
		57	72	81
1/2 acre	25			
		54	70	80
1 acre	20			
		51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

**Anexo N° 2. Valores de K_t , para la distribución de pearson Tipo III.
(Asimetría positiva)**

Coeficiente de asimetría C_s o C_w	Periodo de retorno en años						
	2	5	10	25	50	100	200
	Probabilidad de excedencia						
	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

Anexo N° 3. Probabilidad Acumulada de la distribución Normal Estándar

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Anexo N° 4. Elementos Geométricos de Secciones de Canal

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superficial T	Profundidad hidráulica D	Factor de sección Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{1.5}$
 Trapecio	$(b + y)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + y)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + y)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + y)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{1.5}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen } \theta)d_0^3$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)d_0$	$\frac{(\text{sen } \frac{\theta}{2})d_0}{2\sqrt{y(d_0 - y)}}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{\theta}{2}}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta - \text{sen } \theta)^{1.5}}{(\text{sen } \frac{\theta}{2})^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$	$\frac{2Ty^2}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{3}\sqrt{\frac{A}{y}}Ty^{1.5}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ($y > r$)	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{P}}$

* Aproximación satisfactoria para el intervalo $0 < x \leq 1$, donde $x = 4y/T$. Cuando $x > 1$, utilice la expresión exacta $P = (T/2)[\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$.

ANEXO N° 5. Características hidráulicas y geométricas de las secciones del canal propuesto
(Las unidades están en el sistema internacional S.I.)

Cuadro N° 14. Tramo K0 + 485 a K0 + 618 (Canal rectangular sector Pablo sexto)

z	n	S	Q	b	y	A	P	R	T	D	Z	B _L	B _C	V	F
1	0.013	0.216	27.296	2.10	0.658	1.38	3.416	0.403	2.10	0.658	1.12	0.197	2.10	20.286	7.986

Cuadro N° 15. Tramo K0 + 618 a K0 + 765 (Canal rectangular sector pablo sexto)

z	n	S	Q	b	y	A	P	R	T	D	Z	B _L	B _C	V	F
1	0.013	0.242	38.105	2.10	0.80	1.68	3.7	0.45	2.10	0.8	1.50	0.24	2.10	16.124	5.758

Cuadro N° 16. Tramo K0 + 765 a K0 + 855 (Canal rectangular sector Pablo sexto)

z	n	S	Q	b	y	A	P	R	T	D	Z	B _L	B _C	V	F
1	0.013	0.1	38.105	2.10	1.12	2.352	4.452	0.528	2.10	1.12	2.489	0.336	2.10	16.20	4.894

Cuadro N° 17. Tramo K0 + 855 a K1 + 045 (Fin del Canal rectangular Sector Pablo sexto)

z	n	S	Q	b	y	A	P	R	T	D	Z	B _L	B _C	V	F
1	0.013	0.046	38.105	2.10	1.505	3.16	5.11	0.618	2.10	1.505	3.877	0.451	2.10	12.05	3.138

ANEXO Nº 6. Distribución de Gumbell

PAPEL DE PROBABILIDADES GUMBEL TIPO I

