

PLAN PILOTO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y
MEJORAMIENTO ECONÓMICO EN LA ZONA DE SABANA DE
TORRES BASADO EN LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS

FRANCISCO JAVIER CALA LAGUNA
LUIS ALBERTO SUÁREZ CELIS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2004

PROYECTO DE GRADO

PLAN PILOTO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y MEJORAMIENTO
ECONÓMICO EN LA ZONA DE SABANA DE TORRES BASADO EN LA
OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Autores

Francisco Javier Cala Laguna

982113

Luis Alberto Suárez Celis

982149

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial
para optar al título de INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

PROFESOR MARIO GARCÍA

BUCARAMANGA

NOVIEMBRE 2004

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | VI |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 1 |
| 1.1. ALCANCE DEL PROYECTO | 2 |
| 1.2. LOCALIZACIÓN | 2 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 1.4. SECUENCIA DE ACTIVIDADES | 5 |
| 2. DESARROLLO DEL PROYECTO | 7 |
| 3. TOPOGRAFÍA | 8 |
| 3.1 GENERALIDADES | 9 |
| 3.2 FUENTES DE ERROR | 10 |
| 3.3 EJECUCION DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO | 11 |
| 4. ESTUDIO DE SUELOS | 13 |
| 4.1 FACTORES QUE AFECTAN LA PERMEABILIDAD | 14 |
| 4.2 DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD | 15 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1 Ensayo de permeabilidad | 19 |
| 4.2.2 Equipo | 20 |
| 4.2.3 Preparación del ensayo | 20 |
| 4.2.4 Ensayo de cabeza variable | 21 |
| 4.3. PROCEDIMIENTO DE CAMPO | 23 |
| 4.3.1 Pozos de absorción | 24 |
| 4.4 OBTENCION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD | 25 |
| 4.4.1 Permeametro de cabeza variable | 25 |
| 4.4.2 Pozo de absorción | 26 |
| 5. ESTUDIOS HIDROLOGÍCOS | 27 |
| 5.1 CLIMATOLOGÍA | 27 |
| 5.2 EVAPORACIÓN | 28 |
| 5.3 PRECIPITACIÓN | 30 |
| 5.3.1 Distribución temporal | 31 |
| 5.4 BRILLO SOLAR | 34 |

| | |
|--|----|
| 5.5 VELOCIDAD DEL VIENTO | 35 |
| 5.6 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS | 36 |
| 6. FUNDAMENTACION TEÓRICA PARA EL DISEÑO | 38 |
| 6.1 ALMACENAMIENTO Y TRÁNSITO EN VASOS Y CAUCES | 38 |
| 6.1.1 Estimación del volumen útil y el namo | 40 |
| 6.1.2 Determinacion de esorrentia | 41 |
| 6.1.3 Transito de avenidas metodo de runge-kutta | 43 |
| 6.2 PEQUEÑAS PRESAS | 44 |
| 6.2.1 Altura máxima de diseño | 45 |
| 6.2.2 Obras de excedencia | 49 |
| 7. DESARROLLO DE LAS OBRAS PROPUESTAS | 55 |
| 7.1 PRIMER EMBALSE | 55 |
| 7.1.1 Evaluación de la precipitación registrada | 55 |
| 7.1.2 Área de la cuenca | 56 |
| 7.1.3 Modelamiento de la cuenca | 56 |
| 7.1.4 Cálculo de la precipitación máxima registrada en 24 horas para la estación sabana | 58 |

| | |
|--|----|
| 7.1.5 Generación del caudal medio de la cuenca | 60 |
| 7.1.6 Generación de la creciente de diseño de la cuenca del predio | 61 |
| 7.1.7 Generación del hidrograma unitario triangular | 61 |
| 7.1.8 Tránsito de la creciente de diseño | 64 |
| 7.1.9 Diseño de los muros | 67 |
| 7.2. SEGUNDO EMBALSE | 68 |
| 7.3 TERCER EMBALSE | 73 |
| 8. ANÁLISIS DE LA SITUACION AMBIENTAL | 79 |
| 8.1 FLORA | 79 |
| 8.1.1 Clasificación de la vegetación | 79 |
| 8.1.2 Bosques de galería | 80 |
| 8.1.3 Rastrojo | 80 |
| 8.1.4 Vegetación de cercas | 81 |
| 8.2 FAUNA | 81 |
| 8.3 PROYECTO AMBIENTAL | 84 |
| 9. PRESUPUESTO | 87 |

| | |
|------------------|----|
| 10. CONCLUSIONES | 89 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA | 91 |
| 12. ANEXOS | 92 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| 4.1 VISCOSIDAD DEL AGUA DE 10° A 30° Y RELACIONES U_t / U_{20° . | 16 |
| 4.2 VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD (Terzaghi y Peck). | 18 |
| 4.3 VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD (U.S SCS). | 19 |
| 4.4 PERMEAMETRO DE CABEZA VARIABLE | 25 |
| 4.5 POZO DE ABSORCIÓN. | 26 |
| 5.1 AREA DE INFLUENCIA. | 27 |
| 5.2 EVAPORACION MEDIA. | 29 |
| 5.3 CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO. | 30 |
| 5.4 PRECIPITACIÓN ANUAL. | 31 |
| 5.5 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES. | 32 |
| 5.6 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LAS PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES. | 33 |
| 5.7 DISTRIBUCION ANUAL DEL BRILLO SOLAR. | 34 |
| 5.8 VELOCIDAD DEL VIENTO. | 35 |

| | |
|---|----|
| 6.1 COEFICIENTE DE FRICCION | 48 |
| 6.2 VALORES DE k Y n | 52 |
| 6.3 VALORES C_d y K | 53 |
| 7.1 VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm) | 59 |
| 7.2 CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA DIRECTA POR EL MÉTODO DE SOIL CONSERVATION SERVICE – SCS | 60 |
| 7.3 CARACTERISCAS VERTEDERO CREAGER | 65 |
| 7.4 VERTEDERO CREAGER | 65 |
| 7.5 POZO DE AMORTIGUACION | 66 |
| 7.6 CANAL DE DESCARGA | 66 |
| 7.7 CALCULO DEL COEFICIENTE DE VOLCAMIENTO Y DESLIZAMIENTO | 67 |
| 7.8 CARACTERISCAS VERTEDERO CREAGER | 71 |
| 7.9 VERTEDERO CREAGER | 72 |
| 7.10 POZO DE AMORTIGUACION | 72 |
| 7.11 CARACTERISCAS VERTEDERO CREAGER | 76 |
| 7.12 VERTEDERO CREAGER | 77 |
| 7.13 POZO DE AMORTIGUACION | 77 |

| | |
|--------------------------|----|
| 8.1 AVES DE LA ZONA | 81 |
| 8.2 MAMIFEROS DE LA ZONA | 82 |
| 8.3 REPTILES DE LA ZONA | 82 |
| 8.4 ANFIBIOS DE LA ZONA | 83 |

LISTA FIGURAS

| | |
|--|----|
| 4.1 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SEGÚN REEVE | 15 |
| 4.2 PERMEAMETRO DE CABEZA VARIABLE | 22 |
| 4.3 POZO DE ABSORCION | 24 |
| 4.4 RESULTADOS POZO DE ABSORCION | 25 |
| 5.1 DISTRIBUCION TEMPORAL DE LA PRECIPITACION | 33 |
| 6.1 PARTES DE LA PRESA | 39 |
| 6.2 HIDROGRAMA UNITARIO | 42 |
| 6.3 DISTRIBUCION DE FUERZAS SOBRE EL MURO | 47 |
| 6.4 VERTEDERO TIPO CREAGER | 50 |
| 6.5 RELACION h/y_1 VS. FROUDE | 53 |
| 6.6 RELACION L/y_2 VS. $F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$ | 54 |
| 7.1 GENERACIÓN DE HIDROGRAMA TRIANGULAR | 63 |
| 7.2 TRANSITO AVENIDA DE DISEÑO | 64 |
| 7.3 GENERACIÓN DE HIDROGRAMA TRIANGULAR | 70 |

| | |
|---|----|
| 7.4 TRANSITO AVENIDA DE DISEÑO | 71 |
| 7.5 GENERACIÓN DE HIDROGRAMA TRIANGULAR | 73 |
| 7.6 TRANSITO AVENIDA DE DISEÑO | 76 |

TÍTULO: PLAN PILOTO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y MEJORAMIENTO ECONÓMICO EN LA ZONA DE SABANA DE TORRES.

Francisco Javier Cala Laguna, Luis Alberto Suárez Celis.**

Palabras Clave: Reforestación, recuperación ambiental, represa, obra hidráulica.

RESUMEN

Este proyecto describe un plan para la recuperación ambiental y el mejoramiento económico en la zona de Sabana de Torres, basado en la optimización de los recursos hídricos, busca mejorar o por lo menos mantener las condiciones ambientales existentes en la zona comprendida por las fincas Tableminas y el Edén y crear procedimientos que puedan ser empleados en otras zonas del sector.

Para este fin se realizara el diseño hidráulico y estructural de tres pequeñas presas, las cuales garantizaran un mayor aprovechamiento del agua del lugar y permitirán la regulación del recurso en los periodos de verano, logrando mejorar las condiciones ambientales presentes. Para la ejecución de estos diseños se realizaron todos los estudios necesarios para la correcta ejecución de las obras hidráulicas.

También se plantea un plan de reforestación que permitirá a futuro mejorar el hábitat a las distintas especies del sector que por el desmejoramiento en las condiciones ambientales tienden a desaparecer.

Se realizo el presupuesto del proyecto en el que se incluyen los costos de las obras hidráulicas y del plan de reforestación, además se presentan los siguientes planos: redistribución del uso del suelo, localización de áreas de drenaje, diseño hidráulico de las presas y el diseño estructural de las cortinas.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil
Director: Ing. Mario García.

TITLE: PILOT PLAN FOR THE ENVIRONMENTAL RECOVERY AND ECONOMIC IMPROVEMENT OF THE SABANA DE TORRES ZONE

Francisco Javier Cala Laguna, Luis Alberto Suárez Celis.**

Keywords: Reforestation, environmental recovery, dam, hydraulic works.

ABSTRACT

This work describes a plan for the environmental recovery and economic improvement of the Sabana de Torres zone, based on the optimization of the hydric resources. This project also wants to improve or at least maintain the existing environmental conditions in the zone of tableminas and el eden farms, and create procedures that can be used in other zones of the area.

For this aim the hydraulic and structural design of three small dams were made, which will guarantee a better utilization of the water of the place, and will allow the regulation of this resource in summer times, improving the present environmental conditions. For the execution of these designs, a topographical design of the area was made and the necessary ground tests for the proper execution of hydraulic works was made also.

A reforestation plan is presented, which will allow the improvement of the water supply in a future, and will serve as a habitat for the different species of the area, those of which actually tend to disappear because of the declining in the environmental conditions.

The project budget includes the costs of hydraulic works and the reforestation plan. In addition, the following planes are presented: soil use redistribution, location of drainage works in the hydraulic works, hydraulic design of the dams and their respective support works and the structural design of the curtains.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.
Director: Ing. Mario García.

INTRODUCCIÓN

Colombia se ha caracterizado históricamente por contar afortunadamente con una gran cantidad de recursos de fauna flora y por ser muy rico en recursos hídricos, pero el uso inadecuado y el abuso al que es sometido el suelo, ya sea por factores económicos o por ignorancia en su manejo y cuidado, deforestando grandes zonas para su aprovechamiento económico, sin tomar las medidas necesarias para salvaguardar el medio ambiente, generando con esto un descenso dramático en fauna y flora, así como la disminución del agua a lo largo y ancho del país.

La disminución de las condiciones ambientales ocasionadas por lo expuesto anteriormente genera pérdidas en la calidad del suelo, aumento de la temperatura, aumento de la escorrentía y disminución del agua de infiltración, disminución del agua para uso agrícola, pérdida del hábitat de especies nativas lo que genera casi su desaparición. Lo anterior genera graves consecuencias de tipo económico al disminuir la productividad del suelo tanto para agricultura como para ganadería.

El proyecto PLAN PILOTO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y MEJORAMIENTO ECONÓMICO EN LA ZONA DE SABANA DE TORRES BASADO EN LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, nace de la iniciativa de personas vinculadas al sector agropecuario que al observar el deterioro de los recursos hídricos se plantean inquietudes acerca cual es el mejor uso que se le puede dar a estos, y cual es la mejor forma para conservarlos. La idea a plantear, es como un mejor manejo de los recursos hídricos llevado de la mano de unas mejoras de las condiciones ambientales, haciendo pequeños sacrificios de tierras, va a llevar a un mejoramiento de la calidad y de la cantidad de agua con la que se pueda contar, lo que por si va a acarrear una mejoría en la productividad de la zona. A la vez que se desarrollan parámetros para poder implementar este plan en zonas con similares características con relativa sencillez.

La zona piloto escogida para la realización de este proyecto, esta conformada por las fincas, el Edén y Tableminas, este terreno comprende un área aproximada de 300 Ha, y fue escogido por el interés mostrado de los propietarios de las diferentes fincas, y por ser representativo del municipio de Sabana de torres.

La zona esta conformada básicamente por dos partes: la zona alta y la zona baja. La zona de tierras altas tiene una composición de suelo arenoso en una extensión de 110 Ha y la zona de tierras bajas cuyo suelo es de mejor calidad para la explotación agraria, en una extensión de 190 Ha.

El proyecto se enfoca un poco más sobre la zona de tierras bajas que es donde se han deteriorado un poco más las condiciones del agua.

Además se observaran las experiencias de las personas dueñas de algunos predios que han dejado reforestar, casi de manera natural algunos puntos de estos, tanto de zonas altas como de riveras de cursos de aguas, obteniendo resultados esperanzadores, como el retorno de algunos animales que estaban desapareciendo, lo que otorgando viabilidad a nuestro proyecto.

Con miras a mejorar la regulación del agua en el sector se propone la realización de tres pequeñas presas de la mano con un plan de reforestación y de una nueva distribución del uso del suelo, buscando con esto el mejoramiento de las condiciones ambientales del sector.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

Proponer un procedimiento piloto tendiente a garantizar el desarrollo sostenible de las zonas aledañas a la población de Sabana de Torres; mediante la estabilización y regulación de los recursos hídricos y la redistribución del uso del suelo según su vocación (reforestación natural y producción agropecuaria).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

. Realizar el estudio hidrológico de la microcuenca para estimar la cantidad de agua disponible y basándose en esta diseñar las estructuras hidráulicas necesarias.

. Realizar los estudios de topográficos, hidrológicos, hidráulicos y de suelos que permitan el conocimiento detallado de estos aspectos y nos lleven al encuentro o propuesta de las soluciones adecuadas.

. Aprovechando el interés de los propietarios de los predios de los predios “El Edén y Tabla de Minas, que suman una extensión aproximada de 260 Has”, proponer la distribución del uso del suelo, en tres zonas: Reforestación Natural, recuperación y conservación de fuentes y cauces, producción agropecuaria.

. Determinar los sitios mas apropiados para la construcción de la infraestructura hidráulica (presas reservorios y canales) para diseñar y proponer la correspondiente infraestructura.

. Realizar planos de uso actual del suelo, y de la posible redistribución que se pueda planear como alternativa.

. Elaborar el presupuesto de los costos del proyecto, buscando viabilidad para su ejecución por parte de las personas interesadas.

1.1. ALCANCE DE EL PROYECTO

El proyecto plan piloto para la recuperación ambiental y mejoramiento económico en la zona de Sabana de Torres basado en la optimización de los recursos hídricos abarca los aspectos necesarios para una correcta interpretación de la problemática, y de esta manera buscar pautas que puedan llegar a mejorar la capacidad de producción del territorio a la vez que se mejora ambientalmente este. Estos aspectos son los de Topografía, Geología, Hidráulica e Hidrología, para con estos realizar un estudio de las posibles alternativas a llevar a cabo, así como el diseño de las obras que se puedan llegar a necesitar. Este proyecto se limitara a establecer propuestas y metodologías que permitan mejorar las condiciones actuales de los recursos hídricos, que da como valor agregado una reforestación natural y un mejoramiento de las condiciones del suelo. Se aclara que la ejecución física de las obras planteadas no se realizara por parte de los estudiantes, aunque se buscara que las propuestas y metodologías encontradas se lleven a cabo por parte de los interesados en un periodo corto de tiempo según sus posibilidades económicas.

1.2. LOCALIZACIÓN

La zona piloto escogida consta de las fincas, el Edén y Tableminas, este terreno comprende un área aproximada de 300 Ha. Este sector fue escogido por el interés mostrado de los propietarios de las diferentes fincas, y por ser representativo del municipio de Sabana de torres.

La zona piloto se ubica entre la antigua vía del ferrocarril en el tramo Sabana de torres y provincia, el nacimiento del caño los toches constituido esencialmente por dos vertientes que desembocan en un estero de aproximadamente 4 Ha de extensión y 800 metros de largo, la quebrada Santos Gutiérrez que limita por el occidente en una longitud de 3.5 kilómetros y la carretera Sabana de torres

provincia en 3.5 kilómetros de longitud desde la quebrada Santos Gutiérrez hasta el límite de la zona urbana de Sabana de torres.

La zona se puede dividir claramente en dos partes: la zona alta y la zona baja. La zona de tierras altas tiene una composición de suelo arenoso en una extensión de 110 Ha y la zona de tierras bajas cuyo suelo es de mejor calidad y pertenece a la vega de la quebrada Santos Gutiérrez, en una extensión de 190 Ha.

El área esta irrigada por la quebrada Tableminas (Parte alta oriental) que desemboca en un estero de aproximadamente 3 Ha, y que constituye el límite entre los predios el Edén y Trujillo. Este regula aguas abajo el cauce de la quebrada, garantizando un flujo durante todo el año. Paralelo al anterior esta el caño de “Los Toches”, cuyo caudal también esta regulado por el estero anteriormente mencionado el cual debe ser protegido aumentando la vegetación circundante por su gran impacto en la regulación hídrica.

Corriendo de sur a norte esta la quebrada Venecia, depositaria de las aguas de las dos anteriores fuentes, la cual desemboca a su vez en la ciénaga de las Garzas; Cuya extensión es aproximadamente 20 Ha que constituyen el único santuario para la reproducción de especies como garzas blancas y negras, babillas, chigüiros y otras especies de aves zancudos así como de reptiles, roedores e insectos.

Originándose en la vega y siguiendo curso sur norte entre las quebradas Venecia y Santos Gutiérrez, existen otros tres caños que tributan sus aguas a las dos quebradas, y que a su vez recogen los desbordamientos de las mismas en las temporadas lluviosas, de Abril-Junio y Septiembre –Noviembre. Es sobre estos cursos de agua que se planea hacer la mayor parte del trabajo para coleccionar el agua en las temporadas de lluvia y almacenarla para su uso en los periodos de sequía.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La zona rural colombiana se ha caracterizado históricamente por el uso inadecuado cuando no el abuso del suelo, ya sea por factores netamente económicos o por ignorancia en su manejo y cuidado, generando con esto un decremento dramático en fauna y flora lo cual lleva por obvias razones a la alteración casi por completo de los recursos hídricos de dichos sectores, siendo el agua mas que fundamental en la supervivencia y desarrollo económico de cualquier tipo de zona, por lo que se observan casi de inmediato las graves repercusiones como baja en la producción agraria, disminución de la fauna y la flora y deterioro de la calidad de vida en el sector.

Debido a las razones anteriormente expuestas se hace necesario el estudio concienzudo y la búsqueda de metodologías que hagan viables un mejor manejo del recurso que conlleve a la optimización de los mismos buscando la recuperación ambiental de la zona.

Siendo de gran importancia tanto para la comunidad como para las entidades estatales, tener en sus manos un estudio que le permita contar con una metodología que arroje como resultado los mecanismos a utilizar para poder encontrar las soluciones adecuadas con miras a mejorar las condiciones tanto económicas como ambientales de la zona, y así poderlo aplicar a zonas con condiciones similares a la estudiada, que se encuentra expuestas a una gran cantidad de variables similares, a las que con este trabajo se busca solución.

El logro de resultados primitivos permitirá a los ganaderos de la región observar un modelo de conservación que a la postre resultara en un sistema de explotación más rentable, utilizando racionalmente, los recursos naturales, sin tener que recurrir al uso de los acuíferos subterráneos para consumo animal y para riego.

La experiencia de la zona indica que para sus suelos, relativamente fértiles pero ácidos, es conveniente el establecimiento de *Brachiaria*, especialmente de la variedad *Radicans* en las zonas húmedas, y *Humidicula* en las zonas secas. En el caso concreto de “El Edén” la *Brachiaria Humidicula* ha demostrado una gran adaptabilidad por lo cual se selecciona como la pradera dominante. Su comportamiento invasivo, su capacidad de controlar la maleza arbustiva y su convivencia con leguminosas rastreras (pega-pega y bejucos similares al kudzu) hacen de esta gramínea una opción económicamente rentable dado que si bien es cierto que su contenido proteínico es bajo su capacidad de carga oscila entre dos reses por hectárea en la temporada seca y cuatro en la temporada lluviosa. Una vez establecida la pradera no se requieren herbicidas para su sostenimiento, con lo cual se garantiza una mayor fertilidad del suelo y mayor economía de producción. El control de la invasión de la pradera se facilita por la presencia de los cursos de agua con separaciones promedio inferiores a los 100 metros, rodeados de amplia vegetación a sus orillas. Esto mismo permite una mayor humedad del suelo que a su vez estimula el crecimiento de la pradera.

Es importante resaltar que los pequeños humedales, dentro de las praderas no serán invadidos por el pasto, permitiendo el florecimiento de otras especies especialmente de hoja ancha, platanillas y bijaso, los cuales además de conservar la humedad son excelentes hospederos de insectos, aves, reptiles y peces endémicos de la zona, cuya conservación es un propósito fundamental de este plan a desarrollar.

1.4. SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Para la ejecución de los estudios anteriormente descritos y posterior análisis y desarrollo de conclusiones se estimaran cuatro diferentes etapas de trabajo:

Etapa 1: Esta etapa de trabajo consistió primero que todo en una visita de reconocimiento de la zona piloto para identificar la problemática existente y establecer los estudios a realizar para buscar solución a los problemas planteados, además de la búsqueda de información necesaria ya existente tal como nivel de precipitaciones, mapas geológicos, usos anteriores del suelo, vegetación favorable para la región, especies nativas de la región, etc.

Etapa 2: En esta etapa se realizó el levantamiento topográfico detallando los posibles sitios en los que es viable realizar: captaciones, presas, canales abiertos, lagunas, en fin todas las posibles estructuras hidráulicas que permitan el desarrollo del proyecto, además en esta fase se desarrollara el estudio geológico anteriormente descrito.

Etapa 3: En esta etapa basándose en los datos recopilados y los estudios realizados en las fases anteriores se buscaron soluciones a los problemas planteados y luego se propusieron los más factibles, y de las alternativas obtenidas se desarrollaron los diseños hidráulicos correspondientes.

Etapa 4: Esta etapa fue para el desarrollo de conclusiones, análisis de resultados finales y elaboración del libro donde se recopilaran todos los estudios realizados y las soluciones planteadas.

La escala de trabajo se debe definir de acuerdo con los propósitos buscados la asociación internacional para de geología para ingeniería propone algunas escalas básicas.

DETALLADA 1:4000 a 1: 2000

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

En este proyecto se hizo necesario el estudio de varias de las materias fundamentales de la carrera de Ingeniería Civil tales como: Topografía, Teoría de Suelos, Hidrología e Hidráulica; en esta sección se establecerán con la mayor claridad posible los conceptos y teorías de las áreas anteriormente mencionadas que fueron utilizados en la elaboración del estudio realizado.

A continuación se muestran los procedimientos usados buscando la ejecución del proyecto, primero se describe la parte teórica de los métodos que pueden ser aplicados y por qué fueron descartados o escogidos y luego se muestra la forma como se trabajó, los resultados y su respectivo análisis.

3. TOPOGRAFÍA

La topografía de la región se caracteriza por la presencia de colinas bajas (faja altitudinal de 80 a 150 m). El relieve característico de estos suelos varía de ligeramente quebrado hasta fuertemente ondulado. La sedimentación del terciario concluyó en el valle de Magdalena con la depositación de Grupo Mesa representado por las formaciones Capote y Magdalena. Esta formación presenta conglomerados gris amarillento y gris marrón, poco consolidados con guijarros de cuarzo, arenisca, roca intrusita y metamórficas, mostrando una proveniencia sur occidental, las cuales están dispuestas en capas subhorizontales con buzamientos hasta de 12°.

De la formación Esmeralda se encuentran areniscas de grano fino color gris claro y gris oscuro, localmente marrón y rojizo con presencia de delgados mantos de lignito.

Para la ejecución del plan de trabajo propuesto en este proyecto se hizo fundamental la realización del levantamiento topográfico del terreno, buscando tener una idea clara del tipo del relieve y la ubicación de las fuentes de agua de la zona y así poder establecer las opciones más adecuadas y llevar a cabo los objetivos propuestos.

Analizando entre los diversos tipos de levantamientos y siendo factor determinante la extensión del terreno y los equipos disponibles, se llegó a la conclusión que el más adecuado era la Taquimetría. A continuación se describe en qué consiste este procedimiento.

3.1 GENERALIDADES

Por medio de la Taquimetría se pueden medir indirectamente distancias horizontales y diferencias de nivel. Generalmente este sistema es empleado cuando el terreno es extenso y no se requiere gran precisión y además se dificulta el uso de la cinta.

Para poder usar este método se requiere: un teodolito que tenga en su retículo hilos taquimétricos (que son dos hilos paralelos al hilo horizontal del retículo y situados uno por encima y otro por debajo equidistantes) y una mira sobre la cual se tomarán las lecturas correspondientes al hilo superior (s), al hilo medio (m), al hilo inferior (i).

Para realizar un levantamiento empleando este sistema en lugar de medir distancias, se toman las tres lecturas s, m e i y el valor del ángulo vertical (α).

Para distancia horizontal se usa la siguiente formula:

$$DH = S(S - i) \cos^2 \alpha + T \cos \alpha \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Para la distancia vertical, DV:

$$DV = \frac{S(S - i)}{2 \sin(2\alpha)} + T \sin \alpha \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Para el cálculo de cotas, una vez conocida DV y teniendo la altura instrumental que corresponde a la cota del punto en donde se armó el teodolito más la altura del aparato se hace así:

$$HB = HA + (a - m) \pm DV \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

HA: cota del punto donde se armo el teodolito

a: altura del aparato

m: hilo medio

HB: cota requerida

DV: distancia vertical

Este procedimiento generalmente se aplica en levantamientos que aceptan poca precisión y en levantamientos donde se dificulta el uso de la cinta por las características del terreno, resultando en todos los casos más rápido y económico.

3.2 FUENTES DE ERROR

En la taquimetría se debe tener en cuenta las siguientes posibles fuentes de error:

- El no suponer las constantes estadimétrica y taquimétrica
- Cerciorarse que la longitud que marca la mira sea la real. Si se encuentra algún error es necesario aplicar la corrección correspondiente a cada lectura.
- La mira deberá encontrarse verticalmente, lo cual se puede controlar mediante un nivel circular llamado “ojo de pollo” el cual garantiza que la mira quede vertical.
- El observador debe ser una persona hábil y que tenga práctica en este tipo de lecturas ya que de la precisión con que se lean el hilo superior e inferior depende la exactitud del levantamiento.
- Se debe evitar trabajar en condiciones atmosféricas extremas para no verse afectado por la refracción atmosférica.

- Debido a que la imagen de la mira se forma en el plano de los hilos del retículo y como este se inclina al mismo tiempo que se inclina el anteojo mientras que la mira se coloca vertical, entonces, se produce un paralelaje, que introduce error al tomar las lecturas sobre la mira. Por esta razón no se deben tomar lecturas taquimétricas cuando el ángulo vertical (α) sea superior a 30° .

3.3 EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico de la zona de estudio se realizó utilizando Taquimetría por las razones expuestas con anterioridad, fue realizado por un grupo de cuatro personas incluyendo a los realizadores del proyecto para facilitar costos y garantizar la correcta ejecución, pues se necesita tener claro el objetivo de este levantamiento para considerar todos los puntos donde se pueda presentar una posible alternativa para mejorar la distribución del agua. Se realizó en dos etapas debido a la disponibilidad de equipos.

En la primera etapa se hizo el levantamiento de la zona baja, parte fundamental del proyecto, donde se tomaron la mayor cantidad de detalles, pues es donde se realizarán las obras hidráulicas necesarias para garantizar una mejor distribución del agua y también debido a la topografía tan suave de esta parte del terreno, partiendo de una cota y coordenada conocidas ubicadas en el puente de la quebrada Santos Gutiérrez. La duración de esta etapa fue de 15 días en los cuales se levantaron 170 ha. trabajando 8 horas diarias.

En la segunda etapa se levantó la parte alta de la zona piloto partiendo de un punto del levantamiento realizado en la etapa anterior, aquí no se tomaron tantos detalles como en la parte baja ya que en esta zona lo importante era la observación de las condiciones ambientales existentes con miras a mejorarlas o por lo menos mantenerlas. La duración de este etapa fue de 8 días en los cuales se levantaron 100 ha. en jornadas también de 8 horas.

Luego con los datos de campo establecidos se procedió al diseño de las hojas de cálculo correspondientes, para permitir la obtención de coordenadas y cotas respectivas, basándose en los procedimientos de cálculo expuestos anteriormente. Con los datos obtenidos se elaboró un plano en AUTOCAD sólo de planimetría para estimar las áreas correspondientes a cada zona, plano que puede apreciarse en los anexos.

Para la altimetría se recurrió al programa SURFER para obtener las curvas de nivel cada metro y luego se unieron los dos planos para tener ya las tres dimensiones de la zona.

Para observar la precisión del levantamiento se compró una plancha 1: 10000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se digitalizó y se montó el plano desarrollado mediante el levantamiento y de esta manera se compararon observando gran similitud; además se analizaron los baches presentes según el plano generado por SURFER en una visita posterior a campo observando coincidencia casi en su totalidad y depurando los errores presentes. En esta misma visita, con el plano ya desarrollado, se recorrió la zona y se analizaron los puntos donde se podría generar una posible solución para los problemas de manejo de agua del sector y para verificar la orientación de los caños del terreno.

4. ESTUDIO DE SUELOS

El marco geológico regional del área, hace parte de la provincia de mares correspondiente al valle medio del río Magdalena, provincia geológica constituida por rocas sedimentarias de origen molásico y que muestra un estilo tectónico de pliegues someros y zonas de fallamiento inversa. Estos pliegues en general son abiertos, cilíndricos, paralelos y sólo afectan la supraestructura.

Tanto el plegamiento como el fallamiento corresponden a un mismo evento tectónico caracterizado por esfuerzos compresivos en la dirección Noroeste-Sureste, que produjo fallas principales inversas de alto ángulo y cuya dirección longitudinal sigue el rumbo general o regional de las formaciones.

El fallamiento y fracturamiento transversal, fallas normales de dirección Noroeste ocurre como resultado de los esfuerzos tensionales o de distensión al finalizar los esfuerzos compresivos. La presencia de discordancias pre y post formación Real indican tectonismo en la zona durante el depósito de esta formación.

Las estructuras geológicas principales de la zona son los anticlinales de Payoa y las Monas, con sus correspondientes fallas paraclasas; anticlinal inclinado hacia el sur en la pendiente paraclasa de Payoa, compuesto por las formaciones Esmeralda y la Paz. Consiste en lutitas arcillosas gris oscuro con alto contenido de materia orgánica, algunas capas de carbón y delgadas capas areno-arcillosas grises con fragmento de lignito y material subantracítico.

Las texturas que predominan son el franco arenoso y los colores están estrechamente relacionados con el material litológico. Estos suelos se ven afectados por un escurrimiento difuso en general, y en las zonas dedicadas a la

ganadería por parte de los colonos se observa la presencia de terracetas y calvas de erosión.

Dentro del área de influencia del proyecto se identifican unidades de suelos caracterizadas por la presencia de colinas bajas. Los suelos que integran esta unidad se caracterizan por ser superficiales a moderadamente profundos, limitados por la presencia de capas de arcillosita compacta.

En esta zona predomina una vegetación natural considerada como rastrojo, conformada por especies como: Guásimo (*Guazuma ulmifolia*), peralejo (*Curatella americana*), hobo (*Spondias mombins*), balso (*Ochoroma pyramidali*), cucharo (*Vochysia aff.venezolana* Stafleu) y Guarumo y gramíneas como el vendeaguja y gramas (*Paspalum* sp).

El criterio fundamental a analizar basándose en el estudio de suelos de la zona piloto es la condición de permeabilidad, ya que esta permitirá establecer la viabilidad del almacenamiento de agua en busca de la regulación del recurso hídrico de la zona y la conservación de las condiciones ambientales actuales y posteriormente el mejoramiento de estas.

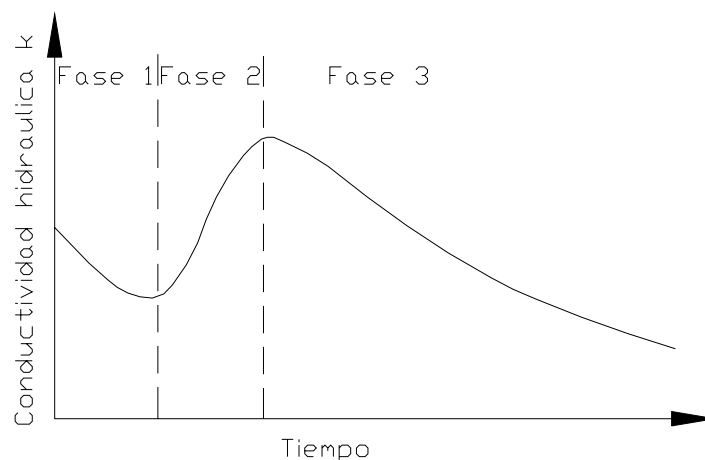
4.1 FACTORES QUE AFECTAN LA PERMEABILIDAD

El número de factores que afectan la permeabilidad es elevado algunos pueden ser:

1. Interacción del fluido en el medio poroso.
2. Bloqueo de poros
3. Microorganismos
4. Cavidades y fisuras
5. heterogeneidad del medio poroso

El valor de la conductividad hidráulica (k) a su vez cambia en función del tiempo, dado que los factores que actúan son dinámicos. Dicha variación depende de varios procesos simultáneos, y se ha dividido en tres fases (figura 4.1), según Reeve (1957), predominando en cada fase un factor de variación diferente. En la fase 1, disminución gradual la conductividad hidráulica por efecto de la humedad y lixiviación de electrolitos. En la fase 2, aumento relativamente brusco de k por disolución gradual del aire atrapado y eliminación del mismo con agua de precolación. En la fase 3 disminución gradual de k por efecto de la actividad microbiana.

Figura 4.1 Conductividad Hidráulica según Reeve



Fuente: Norma ASTM D-2434-68

4.2. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad es un valor constante que expresa la velocidad con que el agua pasa a través de un suelo, comúnmente se expresa como centímetros por segundo, pies por minuto o metros por minuto y, algunas veces,

en suelos muy permeables, en metros o pies por día. La magnitud del coeficiente de permeabilidad depende de la viscosidad del agua y del tamaño, forma y área de los conductos a través de los cuales fluye el agua. La viscosidad es una función de la temperatura: cuanto más alta es la temperatura menor es la viscosidad y mas alta la permeabilidad. La permeabilidad se refiere corrientemente a 20°C. Si se conoce el valor de K, a cualquier temperatura t, su valor a 20 °C, será:

$$K_{20^{\circ}} = U_t * K_t / U_{20^{\circ}}$$

Siendo U la viscosidad dinámica del agua. Los valores de $U_t/U_{20^{\circ}}$ para diferentes temperaturas aparecen en la tabla.

Tabla 4.1 VISCOSIDAD DEL AGUA DE 10° A 30° Y RELACIONES $U_t / U_{20^{\circ}}$

| VISCOSIDAD DEL AGUA DE 10° A 30° Y RELACIONES $U_t / U_{20^{\circ}}$ | | |
|--|--------|------------------------|
| GRADOS | U_t | $U_t / U_{20^{\circ}}$ |
| 10 | 1.3077 | 1.30119 |
| 11 | 1.2713 | 1.26497 |
| 12 | 1.2363 | 1.23014 |
| 13 | 1.2028 | 1.19681 |
| 14 | 1.1709 | 1.16507 |
| 15 | 1.1404 | 1.13472 |
| 16 | 1.1111 | 1.10557 |
| 17 | 1.0828 | 1.07741 |
| 18 | 1.0559 | 1.05064 |
| 19 | 1.0299 | 1.02477 |
| 20 | 1.0050 | 1.00000 |
| 21 | 0.9810 | 0.97611 |
| 22 | 0.9579 | 0.95313 |
| 23 | 0.9358 | 0.93114 |
| 24 | 0.9142 | 0.90965 |

| VISCOSIDAD DEL AGUA DE 10° A 30° Y RELACIONES U_T / U_{20} | | |
|--|--------|----------------|
| GRADOS | U_T | U_T / U_{20} |
| 25 | 0.8937 | 0.88925 |
| 26 | 0.8737 | 0.86935 |
| 27 | 0.8545 | 0.85024 |
| 28 | 0.8360 | 0.83184 |
| 29 | 0.8180 | 0.81397 |
| 30 | 0.8007 | 0.79671 |

Fuente: Norma ASTM D-2434-68

En suelos limpios no cohesivos, la permeabilidad varia como $(D_{10})^2$. La formula de Hanzen para la permeabilidad de arena limpia es:

$$K = C \cdot (D_{10})^2. \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

K: cm. /seg.

D_{10} : Tamaño efectivo en mm.

C: Constante cuyo valor varia entre 1 y 1.5.

El grado de saturación es un factor principal, porque el aire en los poros reduce el área de la sección transversal y hasta puede llegar a obstruir completamente algunos poros.

Los minerales arcillosos influyen de gran manera en la permeabilidad de los suelos, porque parte del agua absorbida está tan fuertemente adherida a la superficie de la arcilla, que no se puede mover de una partícula a otra sin gradientes altos.

Por lo tanto, la permeabilidad de una arcilla es frecuentemente menor que la que sugiere independientemente el tamaño de sus granos o relación de vacíos. Además la permeabilidad es aproximadamente cero para gradientes bajos, pero aumenta conforme crece el gradiente.

La variación en la permeabilidad de los suelos naturales es aun mayor que la variedad en el tamaño de los granos. La tabla siguiente se puede usar como una

norma para describir la permeabilidad de los suelos y como guía para un estudio sencillo.

Tabla 4.2 VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD (Terzaghi y Peck)

| VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD (Terzaghi y Peck) | | |
|---|-------------------------------------|---------------------|
| Permeabilidad relativa | Valores de K (cm/seg) | Suelo típico |
| Muy permeable | $> \text{que } 1 \cdot 10^{-1}$ | Grava gruesa |
| Moderadamente permeable | $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-3}$ | Arena fina |
| Poco permeable | $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-5}$ | Arena limosa |
| Muy poco permeable | $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-7}$ | Limo, arenisca fina |
| Impermeable | $< 1 \cdot 10^{-7}$ | Arcilla |

Fuente: Norma ASTM D-2434-68

Los procesos estimativos se basan en la consideración de características físicas, tales como la porosidad y distribución del espacio poroso del medio, en algunos de los procedimientos; y en la textura, estructura y de otras características, en otros procedimientos.

El U.S. Soil Conservation Service (1948) ha propuesto una escala de siete clases de permeabilidad, basados en la siguiente observación visual:

1. Textura y condiciones de perfil
2. Comportamiento físico
3. Estructura
4. Moteado y color

Las clases de permeabilidad propuestas, tienen los intervalos que se detallan a continuación.

Tabla 4.3 VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD (U.S. SCS)

| VALORES RELATIVOS DE PERMEABILIDAD (U.S. SCS) | |
|---|------------------------------|
| CLASE | PERMEABILIDAD(m / d) |
| 1.Muy lenta | 0.03 |
| 2.Lenta | 0.03-0.12 |
| 3.Moderadamente lenta | 0.12-0.5 |
| 4.Moderada | 0.5-1.5 |
| 5.Moderadamente rápida | 1.5-3 |
| 6. Rápida | 3-4.5 |
| 7.Muy rápida | >4.5 |

Fuente: Norma ASTM D-2434-68

4.2.1 Ensayo de permeabilidad

El valor del coeficiente de permeabilidad sólo se puede estimar mediante el conocimiento del cambio del carácter del suelo; por lo tanto deben hacer se ensayos para determinar el valor de dicho coeficiente con alguna certeza. El ensayo más simple es el que se hace con el permeámetro de carga constante que se muestra en la figura esquemáticamente; se usa principalmente en arenas y gravas. Para arenas finas y limos se usa el permeámetro de carga variable; En este caso el depósito superior del permeámetro de cabeza constante se cambia por un tubo vertical de alimentación de agua. Durante el ensayo el nivel del agua desciende en el tubo vertical y el volumen de agua que atravesó la muestra es igual a la diferencia de niveles del tubo vertical.

Cuando se ensayan suelos no cohesivos de grano fino hay que tener cuidado para evitar el arrastre de partículas de suelo que pudiera producirse si el gradiente hidráulico es muy alto.

Para los suelos arcillosos se emplea indistintamente el permeámetro de carga constante o de carga variable. La cantidad de agua es tan pequeña que es

necesario evitar la pérdida de agua por goteo o evaporación, que se puede ser mucho mayor que la realmente atraviesa el suelo.

4.2.2 Equipo

- Permeámetro de carga constante
- Permeámetro de carga variable
- Regla de madera graduada
- Cronometro
- Probeta
- Cilindro graduado
- Bureta
- Cápsulas de porcelana
- Martillo de compactación

4.2.3 Preparación del ensayo

Según la norma ASTM D-2434-68 el procedimiento para la realización de los ensayos debe ser el siguiente : Se seca la muestra al aire; se toma una cantidad determinada de suelo y se le agrega el volumen de agua necesario para obtener una humedad previamente calculada; posteriormente se deja la muestra dentro de una bolsa plástica para conservar la humedad.

En la base del aparato se coloca una piedra porosa previamente saturada; luego se coloca el suelo en capas de 1, 5 cm. Aproximadamente compactándolas con un apisonador adecuado, teniendo el cuidado de escarificar entre capa y capa para que exista una mejor adherencia. Este proceso se realiza hasta obtener, para el suelo, una densidad previamente calculada y dejando un borde libre en la cámara inferior de aproximadamente 2 cm., espacio en el cual se coloca otra piedra saturada igualmente como la primera. En el caso de que se espere un gran flujo

no se coloca dicha piedra, sino que se incrementa la altura de la muestra, adicionándole a la cámara inferior una nueva cámara, denominada cámara superior, cuyo ajuste se hace por medio de un empaque. En este caso la colocación de la muestra se sigue haciendo por capas en forma similar a la de la cámara inferior. El método descrito anteriormente se acostumbra a hacer para el ensayo de cabeza constante, mientras que el primero se usa para ensayos de cabeza variable.

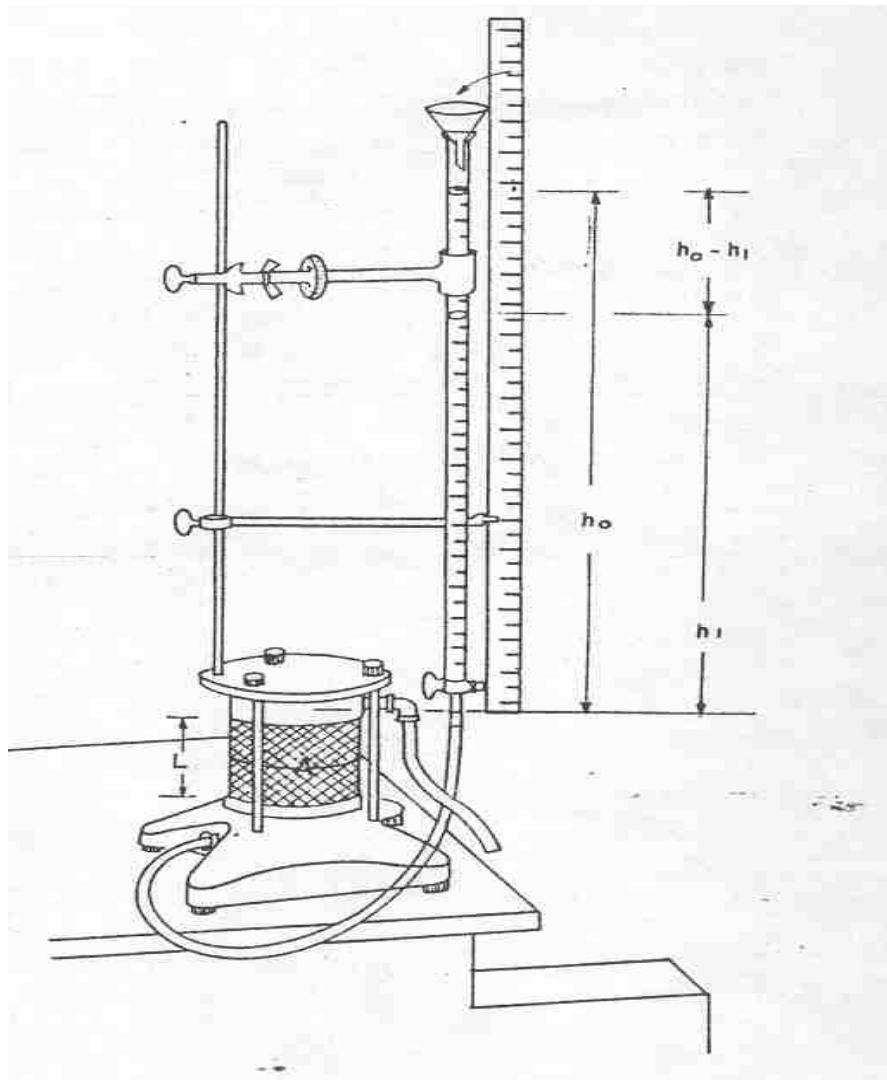
Encima de la segunda piedra porosa va colocado un resorte cuya función es evitar la expansión de la muestra debida a la presión ejercida por el agua. En este punto se mide y se anota la longitud de la muestra y se determina su área. Se coloca luego la cabeza del permeámetro sellando cuidadosa y firmemente con las tuercas de la tapa de la cámara. Sobre la tapa, va una varilla de soporte, donde se fijan la bureta y la regla graduada para el caso de ensayo de cabeza variable (figura 4.2), o el embudo con rebose y la regla graduada para el ensayo de cabeza constante. El punto cero de la regla debe coincidir con el nivel de salida de agua del permeámetro.

4.2.4 Ensayo de cabeza variable

Para el ensayo se procede de la siguiente forma: En la parte de la bureta se coloca un pequeño embudo por donde se agrega el agua que va a la parte inferior del permeámetro a través de un conducto plástico. Usando una prensa pequeña se obstruye la entrada del flujo en la cámara y se llena la bureta con agua. Se conecta luego una bomba de vacío a la salida de la cámara, evacuando el aire presente en la misma y en la muestra, aplicando para ello un vacío completo durante 30 minutos; luego se abre gradualmente la prensa y se permite la saturación de la muestra, todo bajo aplicación del vacío desconectándolo cuando la cámara esté completamente llena de agua.

Se coloca una columna de agua conocida, y se anota el tiempo inicial, t_0 ; luego se determina la pérdida de cabeza (h_0-h_1) en cm para varias lecturas y se anota el tiempo final t_1 . En esta forma se tiene simplemente para cualquier t_1 un h_1 ; cuando estos valores se hacen constantes se puede garantizar que el paso del agua es uniforme.

Figura 4.2 Permeametro de Cabeza Variable



Fuente: Norma ASTM D-2434-68

La obtención de resultados se basa en la formula:

$$K = 2.3 \frac{aL}{A(t_1 - t_0)} \log \frac{h_0}{h_1} \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

h_0 : Altura inicial del agua en la bureta.

L: Longitud de la muestra.

D: Diámetro de la muestra.

T_1 : Tiempo final.

T_0 : Tiempo inicial.

A: Área seccional de la muestra.

A: Área seccional de la bureta.

4.3 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

En el estudio de suelos es muy importante conocer la permeabilidad de un terreno en el que se va realizar una obra. Para ello se inventaron varios métodos; entre ellos los descritos con anterioridad, permiten conocer la permeabilidad en el laboratorio, mientras que otros igualmente importantes dan la respuesta a como encontrar su valor en el campo.

Se presentan al respecto dos alternativas para determinar “in situ” el valor de K:

1. Por debajo del nivel freático
2. Sobre el nivel freático

En ambos casos el procedimiento consiste en cavar un pozo el suelo con un barreno, cubriendo gran parte del estrato transmisor de agua y luego proceder de una u otra de las dos maneras siguientes:

1. Extracción de agua (por debajo del nivel freático)
2. Absorción de agua (sobre el nivel freático)

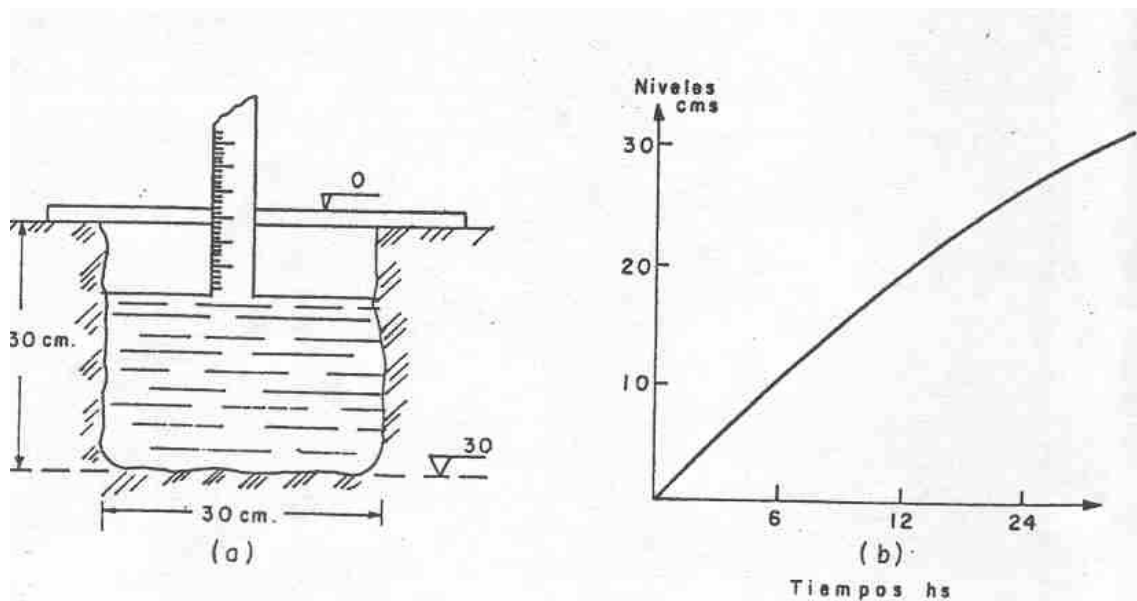
El primer caso es posible cuando los niveles se encuentran próximos a la superficie del terreno. El segundo caso corresponde a las determinaciones anteriores a la elevación del nivel freática.

Aunque se encuentran varios métodos para la determinación de la permeabilidad, tales como el del pozo barrenado o el de pozos radiales, solo se describirá el utilizado en la elaboración de este proyecto.

4.3.1 Pozos de absorción

La prueba consiste en hacer pozos de $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ por ejemplo, que se llenan con agua; por el tiempo que transcurre en ser absorbida ésta, se juzga sobre la permeabilidad del material. Los resultados de este ensayo son cualitativos y sólo representativos de una capa de material del orden de 1 m. Se coloca un puente fijo en el brocal de pozo de prueba, a partir del cual se miden los diferentes niveles de agua en función del tiempo (figura 8.4)

Figura 4.3 Pozo de Absorción



Fuente: Norma ASTM D-2434-68

Los intervalos de tiempo dependen del tipo de material, por lo general, deberán observarse cada hora, para así genera la curva de calibración de la figura (b).

El pozo se llena 3 o 4 veces antes de iniciar la toma de lecturas para garantizar la saturación del terreno próximo.

Puede decirse que un manto es impermeable si el agua tarda en ser absorbida más de 30 horas.

4.4 OBTENCION DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

Debido a que el suelo de la zona contiene gran cantidad de finos (arenas y arcillas) y con base en las teorías expuestas anteriormente, se tomo como ensayo más adecuado para la obtención del coeficiente de permeabilidad el ensayo de cabeza variable y en campo el pozo de absorción, a continuación se muestra la tabla de datos y los resultados encontrados.

4.4.1 Permeametro de cabeza variable

El ensayo de cabeza variable se desarrollo con muestras tomadas en posibles sitios donde se ubicarían obras hidráulicas, en este ensayo el valor de permeabilidad obtenido $3.0639E-05$ cm/seg, resultado que muestra que el sector presenta condiciones aptas para el almacenamiento de agua a continuación se muestra la tabla de calculo.

Tabla 4.4 Resultados del Permeametro de Cabeza Variable.

| Permeametro de Cabeza Variable | | | | |
|--------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| h1(cm) | t(seg) | t(seg) | t(seg) | k |
| 85 | 7'48'' | 7'42'' | 7'51'' | 3.1973E-05 |
| 80 | 19'40'' | 20'45'' | 20'40'' | 2.5026E-05 |
| 75 | 28'20'' | 28'12'' | 28'40'' | 2.7928E-05 |
| 70 | 36'25'' | 36'22'' | 36'50'' | 2.9961E-05 |
| 65 | 43'39'' | 43'36'' | 43'25'' | 3.2976E-05 |
| | | | Kprom= | 3.0639E-05 |

Fuente: Autores del proyecto

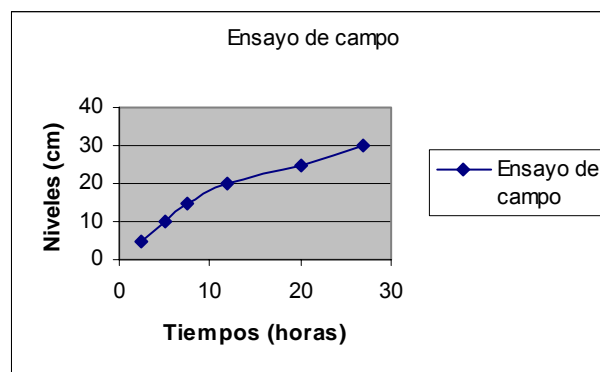
4.2 POZO DE ABSORCIÓN

Tabla 4.5 Resultados Pozo de Absorción.

| Niveles | Tiempos |
|---------|---------|
| 5 | 2,5 |
| 10 | 5 |
| 15 | 7,5 |
| 20 | 12 |
| 25 | 20 |
| 30 | 27 |

Fuente: Autores del proyecto

Figura 4.5 Resultados Pozo de Absorción



Fuente: Autores del proyecto

Esta prueba de campo permite corroborar los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio y generan certeza sobre la condición de permeabilidad baja, favorable para los intereses del proyecto, ya que con tiempos de absorción cercanos o superiores a las 30 horas el suelo se considera prácticamente impermeable.

Además se realizó la granulometría a una muestra de suelo(ver anexos) y con estos datos y la curva granulométrica se obtuvo un valor de permeabilidad de $1.67E-4$ cm/seg que dista del valor ya obtenido pero esto es debido a que esta prueba es poco precisa pero permite confirmar que el valor de la permeabilidad es bajo.

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El predio se encuentra en el área de influencia directa de la microcuenca la Ciénaga de Paredes la cual se caracteriza por una topografía suave. El sistema hidrográfico principal corresponde a la cuenca del Sistema de Ciénagas de Colorado así:

Tabla 5.1 Área de Influencia

| AREA DE INFLUENCIA | | |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| CUENCA | SUBCUENCA | MICROCUENCA |
| Sistema de Ciénagas de Colorado | Cienaga de paredes | Quebrada Santos Gutiérrez |

Fuente: Plan de establecimiento y Manejo Forestal

Esta red hidrográfica de la quebrada Santos Gutiérrez depende directamente del clima, de las condiciones de cobertura vegetal, de la naturaleza ecológica, las condiciones del suelo, y geológicas, aspectos que se tiene en consideración para un manejo racional de la cuenca. Esta compuesta de gran cantidad de corrientes superficiales generadas por las aguas freáticas y subterráneas, las cuales forman sus propios sistemas.

5.1 CLIMATOLOGÍA

La zona de estudio esta ubicada en el piso térmico calido y pertenece a la formación vegetal de bosque húmedo tropical (Bh-T), según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (IGAC). La zona corresponde a un clima superhúmedo. El clima es ecuatorial húmedo caliente, se puede decir que la zona de estudio se caracteriza por tener un clima tropical húmedo.

Adicionalmente, su localización intertropical hace que la zona de estudio reciba una constante radiación solar durante todo el año. Esto junto con la poca variación

de altura y la doble culminación del sol, determina un clima tropical de ciclos diurnos con fuertes contrastes en el cual la temperatura media prácticamente no varia.

5.2 EVAPORACIÓN

La evaporación se produce básicamente por el aumento de energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercanas a la superficie del suelo húmedo o una masa de agua, producido por la radiación por la radiación solar, el viento y la diferencias de presión de vapor.

La evaporación es proporcional al gradiente de presión de vapor entre la zona de intercambio y la atmósfera, a esto se le conoce como la ley de Dalton:

$$E = K(e_w - e_a) \quad \text{(Ecuación 5.1)}$$

K: constante de proporcionalidad.

E: evaporación.

e_w : Presión de vapor existente en la zona de intercambio.

e_a : Presión de vapor del aire.

Sin embargo e_w generalmente tiene un valor cercano a e_s (presión de vapor de saturación) luego se tiene:

$$E \approx K(e_s - e_a) \quad \text{(Ecuación 5.2)}$$

La mayor parte de las fórmulas empíricas se basan en la ley de Dalton y son todas muy similares, aquí mostramos la fórmula de Meyer:

$$E_m = C(e_s - e_a) \left(1 + \frac{V_w}{16,09} \right) \quad \text{(Ecuación 5.3)}$$

E_m : Evaporación mensual en centímetros.

e_s : Presión de vapor media mensual en pulgadas de mercurio.

e_a : Presión de vapor de saturación media mensual en pulgadas de mercurio.

V_w : Velocidad media mensual del viento en Km/h.

C: Coeficiente empírico.

Otro método para el cálculo de la evaporación es el balance de agua, el cual se basa en la ecuación de continuidad.

$$E = I - O - \Delta V \quad \text{(Ecuación 5.4)}$$

E : Volumen de evaporación en un tiempo Δt .

I : Volumen de entradas al vaso en Δt .

O : Volumen de salidas del vaso en Δt .

ΔV : Cambio de volumen en un Δt .

La evaporación media mensual medida en las estaciones Villa Leiva y Provincia se presenta en la siguiente tabla. El valor medio para todos los años considerados en el registro de evaporación de tanque en la primera estación es de 1450 mm, mientras que en la segunda es de 1241 mm, aunque este valor debe tomarse con reserva puesto que estos registros son bastante incompletos.

Tabla 5.2 Evaporación Media

| Evaporación Media [mm] | | |
|------------------------|-------------|-----------|
| Mes | Estación | |
| | Villa Leiva | Provincia |
| Enero | 129.4 | 125.1 |
| Febrero | 126.2 | 104.7 |
| Marzo | 117.9 | 119.1 |
| Abril | 117.2 | 108.2 |
| Mayo | 114.7 | 95.8 |
| Junio | 119.4 | 93.0 |
| Julio | 130.1 | 121.2 |
| Agosto | 133.7 | 112.7 |
| Septiembre | 124.8 | 97.7 |

| | | |
|-----------|--------|--------|
| Octubre | 109.2 | 74.1 |
| Noviembre | 102.4 | 90.6 |
| Diciembre | 124.8 | 98.9 |
| Anual | 1449.8 | 1241.1 |

Fuente: IDEAM

5.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación de la zona de estudio se analizó con base en las estaciones del IDEAM, con el objeto de determinar su variabilidad espacial y temporal, las estaciones de estudio son:

Tabla 5.3 Características de las Estaciones de Estudio

| CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO | | | | | | | |
|--|------|------------------|---------|----------|--------------------|-------|-----------------|
| estación | Tipo | Municipio | Latitud | Longitud | Elevación. msnm | Años | Código IDEAM |
| Payoa No 5 | PM | Sabana de Torres | 7° 12' | 73° 33' | 175 | 84-89 | 2406008 |
| Aguasolares | PM | Villanotes | 7° 16' | 73° 33' | 188 | 73-89 | 2400004 |
| Sabana de Torres | PM | Sabana de Torres | 7° 24' | 73° 32' | 176 | 68-89 | 2318007 |
| La Putana | PM | B/bermeja | 7° 09' | 73° 32' | 150 | 73-89 | 2405007 |
| E. Valenzuela | PM | Sabana de Torres | 7° 30' | 73° 41' | 132 | 74-89 | 2318008 |
| Puente la Paz | PM | | 7° 06' | 73° 24' | 180 | 79-89 | 2406006 |
| Villa Leiva | CP | Sabana de Torres | 7° 26' | 73° 30' | 328 | 66-91 | 2318501 |
| Provincia | CO | Sabana de Torres | 7° 25' | 73° 26' | 176 | 77-86 | 2319517 |
| Sabana de Torres | CO | Sabana de Torres | 7° 24' | 73° 24' | 100 | 66-70 | 2319512 |

Fuente: IDEAM

En la siguiente tabla se muestran los valores de precipitación anual media de las estaciones consideradas.

Tabla 5.4 Precipitación Anual

| Precipitación Anual | | | |
|---------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| estación | Prec. Media Anual (mm) | Prec. Año seco (mm) | Prec. Año húmedo (mm) |
| Payoa No 5 | 3344.8 | 2516.7 | 4559 |
| Aguasolares | 2879.2 | 2244 | 4116 |
| La Putana | 3107.3 | 2278.8 | 3988 |
| Sabana de Torres | 2975.4 | 2003 | 3631 |
| E. Valenzuela | 2497.2 | 1950.2 | 3461 |
| Puente la Paz | 2571.4 | 3177 | 4300.7 |
| Villa Leiva | 2374.9 | 1989.5 | 2955.3 |
| Provincia | 2388.2 | ND | ND |
| Sabana de Torres | 2516.8 | ND | ND |

Fuente: IDEAM

5.3.1 DISTRIBUCION TEMPORAL

Con el fin de establecer el comportamiento temporal de la precipitación en el área de estudio, en la siguiente tabla se presentan los registros, de las precipitaciones medias mensuales. Al analizar los histogramas se observa la presencia de dos periodos húmedos y dos periodos menos húmedos, pues no se puede hablar de periodos realmente secos. Los meses de diciembre, enero y febrero constituyen el primer periodo menos húmedo, el cual es seguido por una disminución de la precipitación durante los meses de junio, julio, y agosto. Finalmente continúa otro

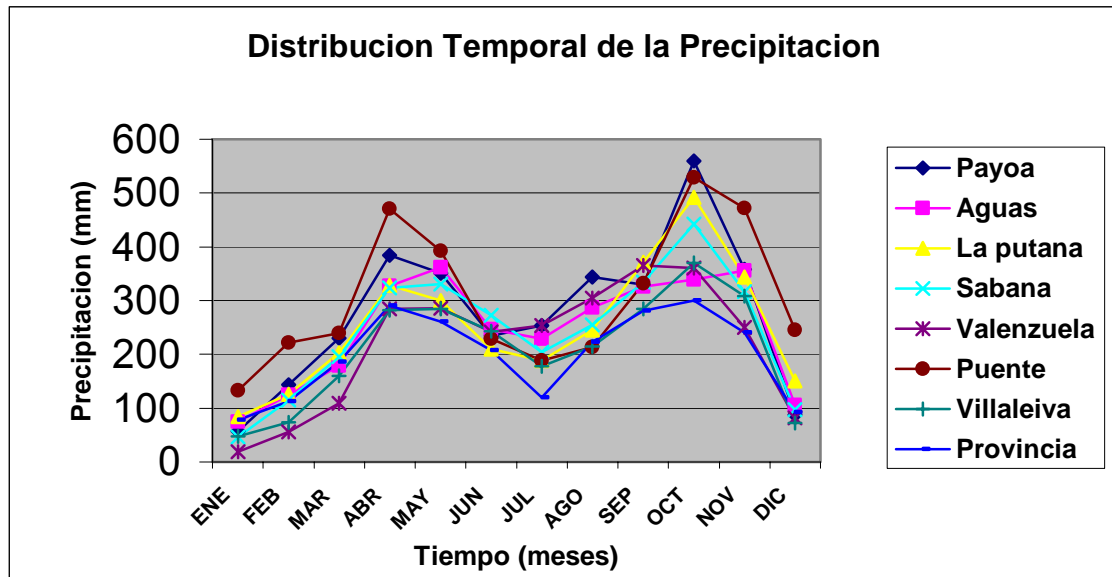
periodo intenso de lluvias cuyo máximo se localiza en el mes de octubre y abarca los meses de septiembre y noviembre. Este segundo periodo húmedo precipita un mayor volumen de agua que el primero. Enero es el mes menos lluvioso, mientras octubre es el más húmedo.

Tabla 5.5 Precipitación Media Mensual

| PRECIPITACION MEDIA MENSUAL [mm] | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------|-----------------|--------------|------------------------|--------------------|------------------|----------------|-----------|------------------------|
| MES | ESTACION | | | | | | | | |
| | PAYOA No 5 | AGUAS CLARAS | LA PUTANA | SABANA DE TORRES | ELOY VALENZUELA | PUENTE LA PAZ | VILLA LEIVA | PROVINCIA | SABANA DE TORRES |
| ENE | 56.7 | 75 | 84.2 | 46.2 | 19.1 | 132.6 | 47.6 | 78.8 | 81.6 |
| FEB | 144 | 124.4 | 125.1 | 115.1 | 55.8 | 222.1 | 74.0 | 112.9 | 84.2 |
| MAR | 230.6 | 179.0 | 203.1 | 196.1 | 109.3 | 240.0 | 160.3 | 186.4 | 88.1 |
| ABR | 383.7 | 327.3 | 328.2 | 323.2 | 284.3 | 471.1 | 282.7 | 290.1 | 261.8 |
| MAY | 350.7 | 361.8 | 300.3 | 331.0 | 285.5 | 393 | 284.2 | 261.0 | 316.7 |
| JUN | 234.4 | 246.9 | 210.1 | 273.1 | 241.5 | 228.3 | 243.3 | 207.2 | 216.0 |
| JUL | 253.4 | 229.3 | 188.6 | 204.2 | 253.9 | 188.6 | 177.6 | 120.3 | 218.7 |
| AGO | 343.6 | 286.5 | 245.8 | 255.3 | 305.3 | 213.0 | 214.5 | 222.9 | 175.8 |
| SEP | 329.6 | 325.7 | 370.7 | 333.9 | 364.9 | 331.5 | 285.1 | 281.1 | 217.5 |
| OCT | 559.4 | 339.1 | 491.9 | 442.0 | 360.1 | 529.0 | 369.6 | 300.5 | 351.5 |
| NOV | 358.2 | 356.1 | 344.4 | 316.2 | 249.9 | 472.2 | 308.4 | 240.3 | 388.7 |
| DIC | 87.4 | 105.3 | 150.6 | 97.7 | 81.3 | 245.9 | 71.8 | 92.7 | 116.2 |
| SUMA | 3331.7 | 3016.4 | 3043.0 | 2934.0 | 2610.9 | 3667.3 | 2519.1 | 2388.2 | 2516.8 |
| ANUAL | 3344.8 | 2879.2 | 3107.3 | 2975.4 | 2497.2 | 3571.4 | 2374.9 | 2388.2 | 2516.8 |

Fuente: IDEAM

Figura 5.1 Distribución Temporal de la Precipitación



Fuente: Autores del proyecto.

En la siguiente tabla se muestra la distribución porcentual de la precipitación media mensual para las estaciones analizadas, y se puede observar gran similitud en el régimen pluviométrico.

Tabla 5.6 Distribución Porcentual de la Precipitación Media Mensual

| DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL [mm] | | | | | | | | | |
|--|-------------|--------------|-----------|------------------|-----------------|---------------|-------------|------------|------------------|
| MES | ESTACION | | | | | | | | |
| | PAYO A No 5 | AGUAS CLARAS | LA PUTANA | SABANA DE TORRES | ELOY VALENZUELA | PUENTE LA PAZ | VILLA LEIVA | PROVIN CIA | SABANA DE TORRES |
| ENE | 1.7 | 2.5 | 2.8 | 1.6 | 0.7 | 3.6 | 1.9 | 3.3 | 3.2 |
| FEB | 4.3 | 4.1 | 3.8 | 3.9 | 2.1 | 6.1 | 2.9 | 4.7 | 3.3 |
| MAR | 6.9 | 5.9 | 6.1 | 6.7 | 4.2 | 6.5 | 6.4 | 7.8 | 3.5 |
| ABR | 11.5 | 10.9 | 9.9 | 11.0 | 10.9 | 12.8 | 11.2 | 12.1 | 10.4 |
| MAY | 10.5 | 12.0 | 9.0 | 11.3 | 10.9 | 10.7 | 11.3 | 10.9 | 12.6 |
| JUN | 7.0 | 8.2 | 6.3 | 9.3 | 9.2 | 6.2 | 9.7 | 8.7 | 8.6 |
| JUL | 7.6 | 7.6 | 5.7 | 7.0 | 9.7 | 5.1 | 7.1 | 5.0 | 8.7 |
| AGO | 10.3 | 9.5 | 7.4 | 8.7 | 11.7 | 5.8 | 8.5 | 9.3 | 7.0 |
| SEP | 9.9 | 10.8 | 11.1 | 11.4 | 14.0 | 9.0 | 11.3 | 11.8 | 8.6 |
| OCT | 16.8 | 11.2 | 14.8 | 15.1 | 13.8 | 14.4 | 14.7 | 12.6 | 14.0 |
| NOV | 10.8 | 11.8 | 10.3 | 10.8 | 9.6 | 12.9 | 12.2 | 10.1 | 15.4 |
| DIC | 2.6 | 3.5 | 4.5 | 3.3 | 3.1 | 6.7 | 2.9 | 3.9 | 4.6 |

Fuente: IDEAM

El régimen bimodal descrito con anterioridad, se debe a la posición del área de estudio dentro de la zona intertropical de convergencia de los vientos Alisios del noroeste y del suroeste, cuyo desplazamiento determina el cuadro climático y gobierna el patrón general de precipitación de Colombia. Esto junto con las diferentes alturas y la presencia del valle longitudinal del río Magdalena (que sigue la dirección de las cordilleras Oriental y Central) y de valles transversales (que siguen el alineamiento de las vertientes) inciden en la circulación local de las masas de aire, que rigen la distribución de lluvias en la zona de estudio.

5.4 BRILLO SOLAR

La distribución anual del brillo solar presenta una estrecha relación con respecto a la precipitación. Se observa que los periodos de mayor o menor cantidad de horas de sol corresponden a las épocas menos y más lluviosas, respectivamente.

Los datos utilizados para el estudio de este parámetro se tomaron de las estaciones Villa Leiva y Provincia ya que la estación Sabana de Torres presenta un periodo de registro corto e incompleto, en la siguiente tabla se muestra la información media mensual del brillo solar. De acuerdo con los registros históricos, los valores extremos mensuales registrados son 91 y 274 horas en Villa Leiva y 105 y 258 en Provincia, correspondientes a los meses de marzo – abril y diciembre, respectivamente.

Tabla 5.7 Distribución Anual del Brillo Solar

| DISTRIBUCIÓN ANUAL DEL BRILLO SOLAR [horas] | | |
|---|-------------|-----------|
| MES | ESTACIÓN | |
| | Villa Leiva | Provincia |
| Enero | 223.5 | 225.2 |
| Febrero | 176.5 | 177.0 |

| | | |
|------------|--------|-------|
| Marzo | 161 | 151.0 |
| Abril | 153.5 | 144.3 |
| Mayo | 171.3 | 162.1 |
| Junio | 174.9 | 168.3 |
| Julio | 210.8 | 201.8 |
| Agosto | 206.3 | 184.1 |
| Septiembre | 191.1 | 170.3 |
| Octubre | 171.9 | 147.4 |
| Noviembre | 173.9 | 163.9 |
| Diciembre | 214.6 | 205.5 |
| Anual | 2360.4 | 2101 |

Fuente: IDEAM

5.5 VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad media del viento en la zona de estudio oscila entre 0.4 y 0.8 m/s, y las mayores velocidades se presentan en general se presentan en los meses de menor precipitación, como se aprecia en la siguiente tabla. Se observa que las mayores velocidades alcanzan 4.6m/s.

Tabla 5.8 Velocidad del Viento

| VELOCIDAD DEL VIENTO [m/seg] | | | | | | |
|------------------------------|----------------------|----------|----------|--------------------|----------|----------|
| Mes | Estación Villa Leiva | | | Estación Provincia | | |
| | 7 horas | 13 horas | 19 horas | 7 horas | 13 horas | 19 horas |
| Enero | 0.3 | 2.0 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.0 |
| Febrero | 0.3 | 2.0 | 0.3 | 0.1 | 0.8 | 0.1 |
| Marzo | 0.4 | 1.8 | 0.3 | 0.2 | 0.8 | 0.2 |
| Abril | 0.6 | 1.8 | 0.3 | 0.1 | 1.2 | 0.0 |
| Mayo | 0.4 | 1.8 | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 0.1 |

| | | | | | | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Junio | 0.5 | 1.7 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | 0.0 |
| Julio | 0.5 | 1.6 | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 0.1 |
| Agosto | 0.5 | 1.9 | 0.3 | 0.2 | 0.7 | 0.1 |
| Septiembre | 0.6 | 1.8 | 0.2 | 0.2 | 1.0 | 0.1 |
| Octubre | 0.5 | 1.6 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.1 |
| Noviembre | 0.4 | 1.7 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| Diciembre | 0.4 | 1.8 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.1 |
| Anual | 0.4 | 1.8 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.1 |
| Máximo | 0.5 a 1.9 | 2.9 a 5.1 | 0.4 a 1.4 | 0.2 a 0.6 | 0.4 a 2.9 | 0.0 a 0.4 |
| Mínimo | 0 a 0.3 | 0.2 a 1.0 | 0.0 a 0.1 | 0.0 a 0.1 | 0.0 a 0.2 | 0.0 a 0.0 |

Fuente: IDEAM

5.6 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS

Teniendo en cuenta que el uso actual de la zona piloto y examinando los requerimientos de la zona con los propietarios de estas, se determino la posibilidad de realizar pequeñas obras de almacenamiento de agua, en varias zonas estratégicas donde la cantidad de agua disponible para satisfacer los requerimientos agrarios no son suficientes, debido a que los cursos de agua que pasan por estas zonas son pequeños caños intermitentes que nacen en la misma zona piloto y que se secan en los periodos de menor precipitación del año, pero al examinar la cantidad total de mm de lluvia al año que caen en la zona se enmarcan una precipitación relativamente alta lo que indica viabilidad para la realización de las obras de almacenamiento y así conseguir el agua faltante en los periodos menos húmedos.

Como las obras que se plantearían a construir son obras de almacenamiento pequeñas, para servir entre 20 y 50 Ha y que tendrían una demanda de entre 4500 y 7500 litros día se pueden pasar por alto ciertos factores que deberían ser

tenidos en cuenta en proyectos de gran magnitud, estos factores tenidos en cuenta se mostrarán en el desarrollo de las obras.

Los datos hidrológicos utilizados para la realización del presente proyecto, además de los ya mencionados para obtener las condiciones climáticas de la zona, fueron los registros históricos de la precipitación diaria tomadas por la estación de Sabana de Torres en cuanto y para la evaporación los datos fueron tomados de la estación Villa Leiva, estas estaciones fueron las únicas utilizadas debido a que según los polígonos de Thiessen el área donde se realizarían las obras solo se ve afectada por dichas estaciones y además el comportamiento bimodal de la precipitación en toda la zona indican que este método utilizado para extrapolar la lluvia arroja buenos resultados.

6. FUNDAMENTACION TEORICA PARA EL DISEÑO DE LAS OBRAS HIDRAULICAS.

Para la realización de las obras de almacenamiento a plantear se usan metodologías que han sido desarrolladas a lo largo del tiempo y básicamente la secuencia a seguir para el diseño de estas obras o embalses pequeños es la siguiente, primero se realiza un modelamiento de las condiciones de la zona para cuantificar si la cantidad de agua es suficiente para los requerimientos agrícolas y ambientales, y así obtener el volumen útil de esta. Posteriormente para el cálculo de la precipitación de diseño se buscando que el modelo estadístico a usar de la mejor bondad de ajuste y con este se hallo la precipitación de diseño. Luego se procede a hallar la escorrentía directa producida por la lluvia de diseño , la cual por lo limitado del proyecto y la dificultad para la toma de ciertos datos, se debe hallar generando el hidrograma sintético de la SCS obteniendo así el caudal pico. Después se procede al transito de avenidas mediante el método de Runge-Kutta y posteriormente con estos cálculos se obtener el caudal para el diseño de la obra de excedencias.

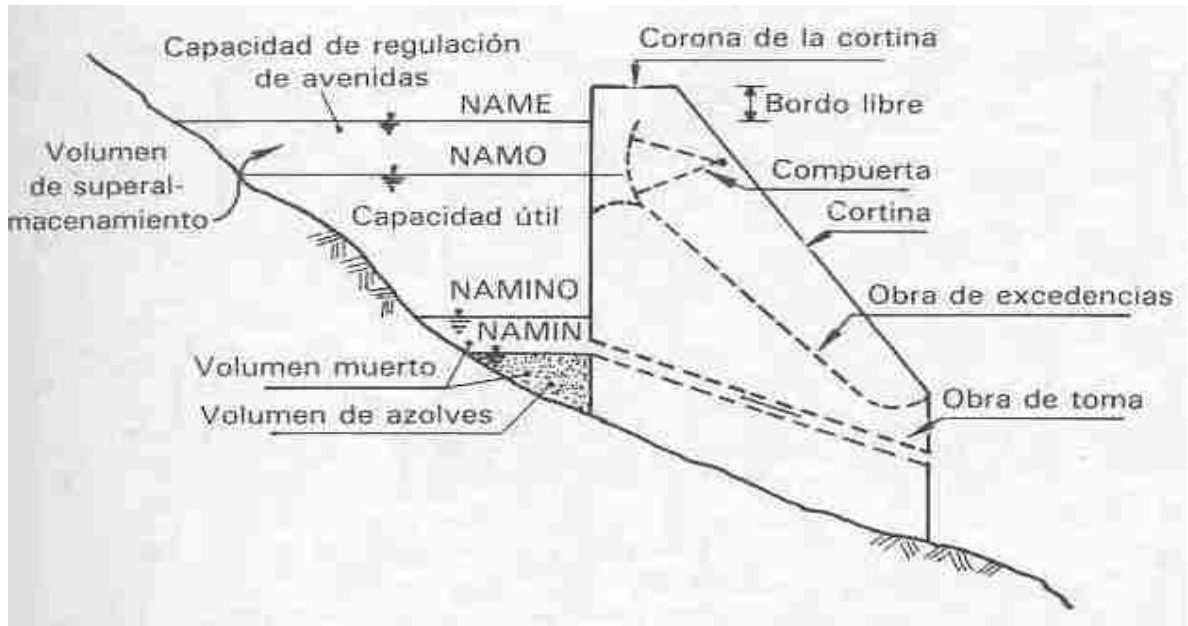
Las metodologías usadas para la realización de pequeños embalses la describiremos a continuación.

6.1 ALMACENAMIENTO Y TRÁNSITO EN VASOS Y CAUCES

Un vaso de almacenamiento sirve para regular los escurrimientos de un río, es decir, almacenar los excesos y utilizarlos en períodos de sequía.

Un vaso de almacenamiento se compone según la figura 8.6:

Figura 6.1 Partes de la Presa



Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos.

El NAMINO (nivel de aguas mínimas ordinarias), es el nivel más bajo con el que se puede operar una presa; coincide con el nivel al que se encuentra la entrada de la obra de toma. El volumen muerto es el que se encuentra bajo el NAMINO y del cual no se puede disponer. El volumen de azolves es el que queda bajo del nivel de la toma y se reserva para recibir el acarreo de sólidos. La operación de la presa se lleva a cabo entre el NAMINO y el NAMO (nivel de aguas máximas ordinarias). El NAMO es el máximo nivel al cual puede llegar la presa para satisfacer la demanda. Cuando el vertedero de excedencias no es controlado por compuerta el NAMO coincide con la cresta. El volumen almacenado entre el NAMINO y el NAMO se llama volumen útil, y con él se satisfacen las demandas de agua.

El NAME (nivel de aguas extraordinarias) es el nivel más alto que debe alcanzar el agua bajo cualquier condición. El volumen entre el NAMO y el NAME es llamado

superalmacenamiento. El espacio entre el NAME y la corona se llama *borde libre* y está destinado a contener el oleaje y la marea producidos por el viento.

6.1.1 Estimación del volumen útil y el namo

Los datos necesarios para un vaso de almacenamiento son: Planos topográficos y registros hidrológicos. Los primeros proporcionan la relación que hay entre volúmenes, áreas y elevaciones del vaso; y los segundos sirven para estimar los volúmenes que llegarán al vaso durante su operación.

Cuando se desea hacer una primera estimación de volumen útil se pueden usar tres métodos. El primero llamado la *curva de masas o diagrama de Ripp*, el segundo, llamado *Algoritmo de pico secuente*, el cual es recomendable en demandas variables y el método matemático. Explicaremos el método matemático que fue el utilizado en la elaboración de este proyecto.

El método matemático consiste en simular el funcionamiento del vaso suponiendo un volumen inicial hasta encontrar el volumen que garantice el correcto comportamiento de la presa basándose en el siguiente algoritmo:

$$k_{te} = R_t - Q_t + k_{t-1} \leftrightarrow k_t > 0$$

$$k_{te} = 0 \leftrightarrow k_t \leq 0$$

R_t : Entradas al embalse

Q_t : Demanda

k_t : Volumen en el instante t.

k_{t-1} : Volumen en el instante t-1.

Cuando la demanda no esta establecida se realiza una curva Volumen vs Demanda y se obtiene una demanda de la parte mas estable de la curva, una vez obtenida la demanda se supone un volumen inicial y se grafica Volumen vs Tiempo, para mayor certeza se pueden simular varios ciclos, la idea es escoger el

volumen en el que se garantice que el embalse este lleno la mayor parte del tiempo y que los derrames sean mínimos.

6.1.2 Determinación de escorrentía

La escorrentía se considera como simple escorrentía o como escorrentía directa.

La escorrentía se da en precipitación efectiva (mm), se puede obtener mediante el método de SCS (Soil Conservation Service) o el método de pérdidas.

La escorrentía directa se puede estimar de dos maneras: el método racional o el hidrograma unitario; El hidrograma unitario se construye de dos formas: con datos de campo o generando hidrogramas sintéticos.

Los hidrogramas sintéticos se pueden obtener con los siguientes métodos:

1. Método de la SCS (Soil Conservation Service)
2. método de Snyder
3. método de Clark
4. Función Gamma

En este proyecto se trabajó con el método de la SCS (Soil Conservation Service) para estimar la precipitación efectiva produce la avenida de diseño, el método es el siguiente:

$$P_e = \frac{(P - 508/N + 5.08)^2}{P + 2032/N - 20.32} \quad (\text{Ecuación 6.1})$$

P_e = Precipitación efectiva (escorrentía).

P = Precipitación de diseño.

N = Número de escurrimiento que depende del tipo de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente de el terreno y la lluvia antecedente.

Para la obtención de el caudal pico generado por la precipitación efectiva se recurrió al hidrograma sintético triangular de mockus:

$$q_p = \frac{0.555 * A_c}{T_b} \quad \text{(Ecuación 6.2)}$$

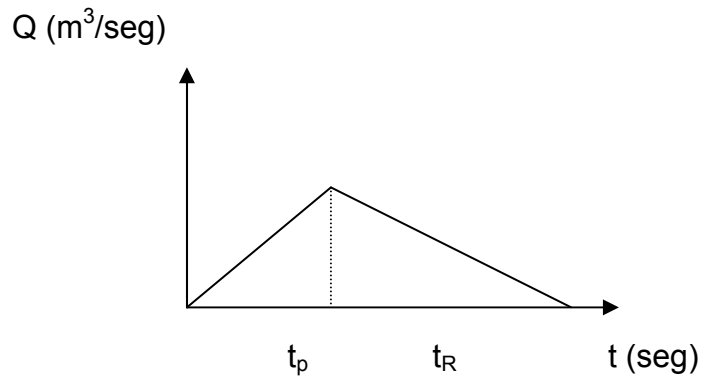
q_p : Caudal pico, y esta dado en $m^3/s/mm$

A: Área de la cuenca

T_b : Tiempo base.

Entonces $Q_p = q_p * A_c$

Figura 6.2 Hidrograma Unitario.



$$T_b : 2.67 * t_p$$

$$t_R = t_b - t_p$$

t_b : Tiempo base.

t_R : Tiempo de retraso

Para convertir los datos de precipitación diarios a escurrimiento se uso el método racional debido a que es el que mas se ajustaba a nuestras condiciones .

$$Q = CiA \quad \text{(Ecuación 6.3)}$$

Q: Caudal de escurrimiento.

C: coeficiente de escurrimiento.

A: área de la cuenca.

La escogencia de los parámetros se realizó según las condiciones topográficas expresadas en el método racional (Para ver los parámetros morfológicos de la cuenca ver anexos).

6.1.3 Transito de avenidas metodo de runge-kutta

Uno de los métodos utilizados para el transito de embalses se basa en el desarrollo de las ecuaciones de continuidad por un método conocido como Runge-Kutta. Se pueden adoptar varios métodos dependiendo del orden aquí se describirá el de tercer orden que fue el utilizado.

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(H) \quad (\text{Ecuación 6.4})$$

La anterior es la ecuación de continuidad donde:

S: Volumen de agua almacenada en el embalse.

I(t): Caudal de entrada.

Q(H) : caudal de salida.

Teniendo que:

$$dS = A(H)dH$$

Reemplazando se obtendrá:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{I(t) - Q(H)}{A(H)}$$

Para resolver la ecuación planteada se usan tres incrementos para cada valor de Δt y se hacen aproximaciones sucesivas para el cambio en la cabeza de elevación dH como se muestra a continuación:

$$H_{j+1} = H_j + \Delta H$$

$$\Delta H = \frac{\Delta H_1}{4} + \frac{3\Delta H_3}{4} \quad (\text{Ecuación 6.5})$$

$$\Delta H_1 = \frac{I(t_j) - Q(H_j)}{A(H_j)} \Delta t$$

$$\Delta H_2 = \frac{I(t_j + \frac{\Delta t}{3}) - Q(H_j + \frac{\Delta H_1}{3})}{A(H_j + \frac{\Delta H_1}{3})} \Delta t$$

$$\Delta H_3 = \frac{I(t_j + \frac{2\Delta t}{3}) - Q(H_j + \frac{2\Delta H_2}{3})}{A(H_j + \frac{2\Delta H_2}{3})} \Delta t$$

6.2 PEQUEÑAS PRESAS

Las tierras aptas para presas se deben encontrar libres de materia orgánica que pueda podrirse posteriormente y provocar la falla de la presa. Las tierras que contiene gran cantidad de arcilla tienden al agrietamiento por contracción en el estado seco y cuando se humedecen provocan deslizamientos.

Las presas de tierra pueden ser homogéneas o zonificadas. Las homogéneas, sin impermeabilización especial, están formadas por un material que presenta una permeabilidad bastante pequeña o sea que están construidas con un mismo material impermeable finos y gruesos.

Las zonificadas o con impermeabilización artificial están formadas por material permeable; se construyen con material de diferente granulometría y permeabilidad; éstas exigen un aislamiento especial para detener el paso del agua que se obtiene revistiendo el talud de aguas arriba (sistema francés) o

disponiendo de un núcleo o pantalla vertical en la masa de tierra homogéneas y zonificadas.

En general todas las tierras son más o menos permeables y todas las presas sino están debidamente protegidas pueden ser atravesadas por el agua. Por esto, los diques se deben proyectar de tal forma que el nivel del agua infiltrada no corte el perfil.

6.2.1 Altura máxima de diseño

Para determinar la altura máxima de diseño de una presa, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$H_{\max} = H_m + H_u + BL \quad (\text{Ecuación 6.6})$$

$$BL = H_m + H_o + H_l$$

Donde:

H_{\max} : Altura máxima de diseño. (m)

H_m : Altura por sedimentos. (m)

H_u : Altura por volumen útil. (m)

BL : Borde libre. (m)

H_d : Altura de carga. (m)

H_o : Altura por oleaje. (m)

H_l : Altura libre. (m)

Los niveles característicos serán:

$$\text{NAMINO} = H_m$$

$$\text{NAMO} = H_m + H_u$$

$$\text{NAME} = H_m + H_u + H_d$$

$$\text{Nivel debido a viento} = H_m + H_u + H_d + H_o$$

$$\text{Nivel de la corona} = H_m + H_u + H_d + H_o + H_l$$

Las alturas H_m y H_u se deducen de la curva área y volumen del vaso de almacenamiento. Para la obtención de H_m se asume el volumen muerto o por sedimentos como el 10% del volumen útil ya que por la magnitud del proyecto no se cuenta con información histórica que permita establecer su valor real o un valor más aproximado.

La altura de carga H_d se obtiene de acuerdo al tránsito de la crecida de diseño.

La altura por oleaje H_o se presenta cuando el viento sopla sobre una masa de agua, en consecuencia, el agua de la superficie comenzará a moverse en la dirección del viento.

La altura H_o será la altura máxima de las olas que se forman en el embalse por el efecto del viento.

Se denomina Fetch, a la distancia máxima en línea recta que existe entre la cortina y el punto de embalse más alejado de la misma.

Un método empírico que se puede usar para hallar la altura de ola es:

$$H_o = (0.005V - 0.068)\sqrt{F} \quad (\text{Ecuación 6.7})$$

Donde:

H_o : Altura de la ola. (m)

V: Velocidad del viento. (m)

F: Fetch. (Km)

La altura H_l representa un elemento de seguridad contra eventos imprevistos por concepto de grietas de la corona de la presa por asentamientos, para absorber la carrera de la ola y en obras pequeñas se recomienda como mínimo 0.6 m.

El ancho de la corona de la presa se encuentra determinado por la altura total de la presa, por el tipo de material empleado, por las características de los equipos de construcción, por las características hidrológicas de la región y por su posible uso como vía.

Para determinar el ancho de la corona C, el U.S. Bureau of Reclamation recomienda:

$$C = 3 + \frac{H_{\max}}{5}$$

Donde:

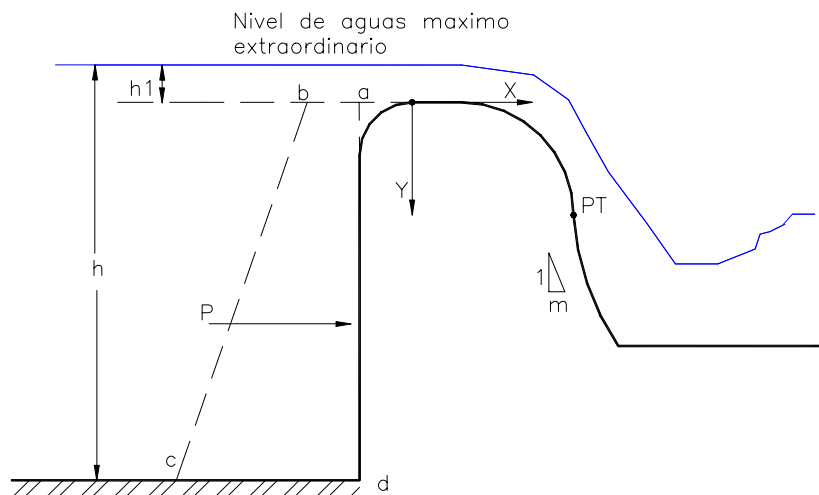
C: Ancho de la corona (m).

H_{\max} : Altura máxima de diseño de la presa (m).

En la diseño estructural del dique de la presa se deben tener en consideración las siguientes fuerzas: la presión del agua, la presión de los sedimentos, además de considerar los requisitos de estabilidad tales como: el volcamiento y deslizamiento.

La presión del agua en presas vertedoras sin dispositivos de control, en estas la carga se considera trapezoidal, tomándose la presión en la parte superior de $62.5h_1$ y en la inferior $62.5h$, y concentrándola en el centro de gravedad del trapecoide (figura 6.2).

Figura 6.3 Distribución de Fuerzas Sobre el Muro



Fuente: Diseño de Pequeñas Presas.

La presión generada por los sedimentos se debe considerar, pues, aunque inicialmente no se presentarán, con el tiempo estos serán factor importante pues la presión ya no se podrá considerar como generada por agua sino de un fluido resultante de la mezcla de agua y sedimentos. Se aconseja tomarla horizontal de 85 lb/pie³ y vertical de 120 lb/pie³.

Existe una tendencia en este tipo de presas a volcarse girando alrededor del talón de aguas debajo de cada sección horizontal. Si el esfuerzo vertical en al arista de aguas arriba que se calcule en cualquier sección horizontal, sin la subpresión, excede a la subpresión en este punto, se considera que la presa es segura contra el vuelco.

La fuerza horizontal tiende a desplazar la presa en dirección horizontal. Esta tendencia la contrarrestan las resistencias producidas por la fricción y por la resistencia al corte del concreto.

El factor de deslizamiento permisible es el coeficiente de fricción estática entre dos superficies de deslizamiento. Una presa se considera segura cuando:

$$\frac{\sum V}{\sum W - U} \leq f \quad \text{(Ecuación 6.8)}$$

El factor f se puede sacar de la tabla 8.14.

Tabla 6.1 Coeficiente de Fricción

| COEFICIENTE DE FRICCIÓN | |
|--|-----|
| MATERIAL | f |
| Roca sana, con superficie limpia e irregular | 0.8 |
| Roca, con algunas fisuras y laminaciones | 0.7 |
| Grava y arena gruesa | 0.4 |

| | |
|-----------------|-----|
| Arena | 0.3 |
| Arcilla laminar | 0.3 |
| Limo y arcilla | |

Fuente: Diseño de Pequeñas Presas.

Para el caso de limo y arcilla es necesario realizar pruebas de laboratorio.

De acuerdo a la normativa local (RAS) el factor de seguridad con respecto al volcamiento mayor de 2.0 con respecto al deslizamiento mayor de 1.5.

U es la fuerza total de subpresión sobre una sección horizontal y es igual:

$$U = T \left(\frac{p + p'}{2} \right) \quad \text{(Ecuación 6.9)}$$

T: distancia horizontal de la arista de aguas arriba a la arista de aguas debajo de la sección.

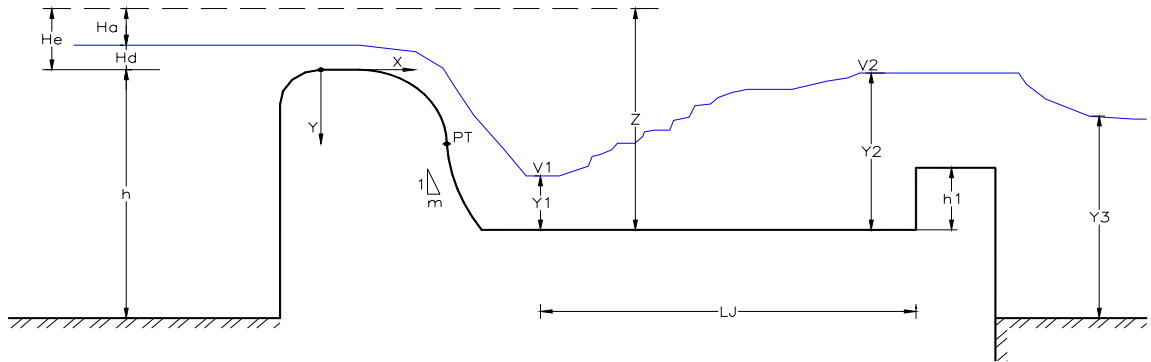
p o p' : presión del agua del vaso o de descarga, respectivamente, en la base de la sección.

6.2.2 Obras de excedencia

Consiste en una estructura que permite evacuar las excedencias que se presenten en determinado momento y permite la entrega a un caudal situado aguas debajo de la presa.

Para el caso de las presas pequeñas es de uso común los vertederos de planta recta y perfil tipo Creager (U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station-WES); Este vertedero se caracteriza porque adopta, a partir de la sección de control la forma del flujo e agua. En la figura 8.9 se muestra un vertedero tipo Creager.

Figura 6.4 Vertedero Tipo CREAGER



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas Rurales.

Para el diseño hidráulico del vertedero es conveniente definir las siguientes variables:

K y n : Exponentes de la ecuación del perfil.

X : distancia horizontal medida a partir del eje de coordenadas.

Y : distancia vertical medida a partir del eje de coordenadas.

H_a : Carga de velocidad (m).

H_d : Altura del agua sobre la cresta del vertedero (m).

H_e : Carga total sobre la cresta del vertedero (m). $H_e = H_a + H_d$

h : Altura del dique hasta la cresta del vertedero (m).

C : Coeficiente de descarga.

L : Longitud de la cresta del vertedero (m).

Q_{max} : Caudal máximo de diseño (m^3/seg).

V_c : Velocidad crítica (m/seg).

Y_c : Profundidad crítica (m).

F_1 : Número de Fraude al pie de la presa.

V_1 : Velocidad al pie de la presa (m/seg).

Z: Altura medida desde el nivel máximo de aguas arriba de la estructura hasta el nivel del pozo de amortiguación (m).

Y_2 : Altura del resalto en el pozo de amortiguación (m).

Y_3 : Altura del agua a la salida del canal de descarga (m).

B: Ancho de la estructura, plantilla (m).

L_j : Longitud del pozo de amortiguación (m).

La secuencia metodológica se puede presentar así:

1. Cálculo de la longitud de la cresta (L). Se determina de acuerdo con la topografía y geología del lugar.
2. Cálculo de la carga de diseño (H_d): se considera que el vertedero es de cresta ancha y se utiliza la ecuación de Francis:

$$Q_{\max} = 1.84LH_{\max}d^{3/2} \quad (\text{Ecuación 6.10})$$

Luego,

$$H_{\max} = \left(\frac{Q_{\max}}{1.84L} \right)^{2/3}$$

3. Se determina el efecto de la velocidad; Si la relación $(h/H_d) \gg 1.33$ entonces se considera que el efecto de velocidad es despreciable, luego se considera $H_e = H_d$. De lo contrario $H_e = H_d + H_a$.
4. Se determina el valor de la velocidad del flujo en la cresta; se utiliza la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ecuación 6.11})$$

5. Se calcula la Y_c .

$$Y_c = \left[\frac{Q^2}{(gB^2)} \right]^{1/3} \quad (\text{Ecuación 6.12})$$

6. Se calcula la V_c para identificar el régimen en que se encuentra el flujo.

$$V_c = \sqrt{gY_c} \quad (\text{Ecuación 6.13})$$

7. Se calcula el perfil del aliviadero mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$X^n = KHd^{n-1}Y \quad (\text{Ecuación 6.14})$$

Los valores de K y n están dados como sigue:

Tabla 6.2 Valores de K y n.

| Pendiente de la cara aguas arriba | K | n |
|-----------------------------------|-------|-------|
| Vertical | 2.000 | 1.850 |
| 3 : 1 | 1.936 | 1.836 |
| 3 : 2 | 1.939 | 1.810 |
| 3 : 3 | 1.873 | 1.776 |

Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas Rurales.

8. Diseño del pozo de amortiguación: consiste en una estructura corta pavimentada situada al pie del vertedero con el objeto de producir y retener el resalto hidráulico y para convertir el flujo supercrítico e flujo subcrítico, condición esta última necesaria para no generar la socavación de la estructura aguas abajo del sector no pavimentado.

Se estima la velocidad V_1 al pie del vertedero:

$$V_1 = [2g(Z - 0.5H_d)]^{1/2} \quad (\text{Ecuación 6.15})$$

9. Se calcula la altura del agua a la salida o pie de la presa (Y_1):

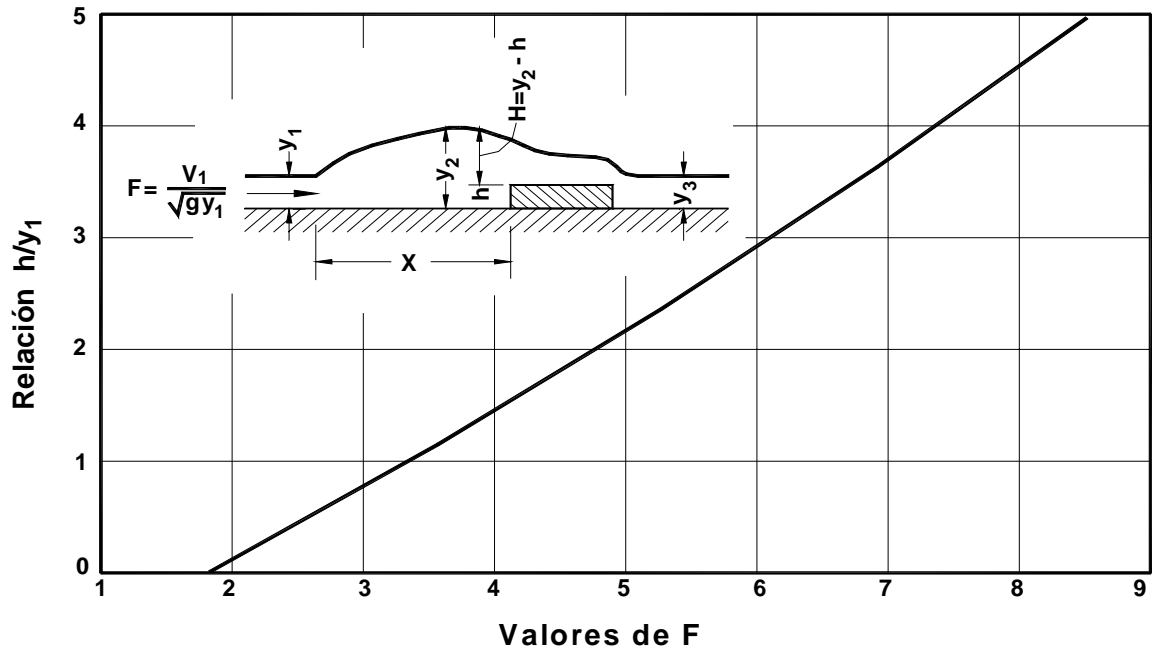
$$Y_1 = \frac{Q_{\max}}{V_1 B}$$

10. Se calcula el número de Froude (F_1):

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gY_1}} \quad (\text{Ecuación 6.16})$$

11. Se determina la altura del diente del dique en el pozo de amortiguación con base en la relación de Forster y Skrinde; se determina el valor F_1 vs h/Y_1 y se despeja h (figura 6.4).

Figura 6.5 Relación h/y_1 VS. FROUDE



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas Rurales.

12. Se calcula el valor de la altura máxima del resalto Y_2 en el pozo de amortiguación con la siguiente ecuación:

$$2.667 F_1^2 \left[1 + \frac{(h/Y_1)}{\left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)} \right] = \left(\frac{Y_2}{Y_1} - \frac{h}{Y_1} \right)^3 \quad (\text{Ecuación 6.17})$$

13. Se determina el valor de la profundidad del flujo a la salida del pozo de amortiguación Y_3 :

$$Y_3 < \frac{(2Y_2 + h)}{3} \quad (\text{Ecuación 6.18})$$

14. Se determina finalmente la longitud del pozo de amortiguación L_j :

$$L_j = 6.9(Y_2 - Y_1) \quad (\text{Ecuación 6.19})$$

O también:

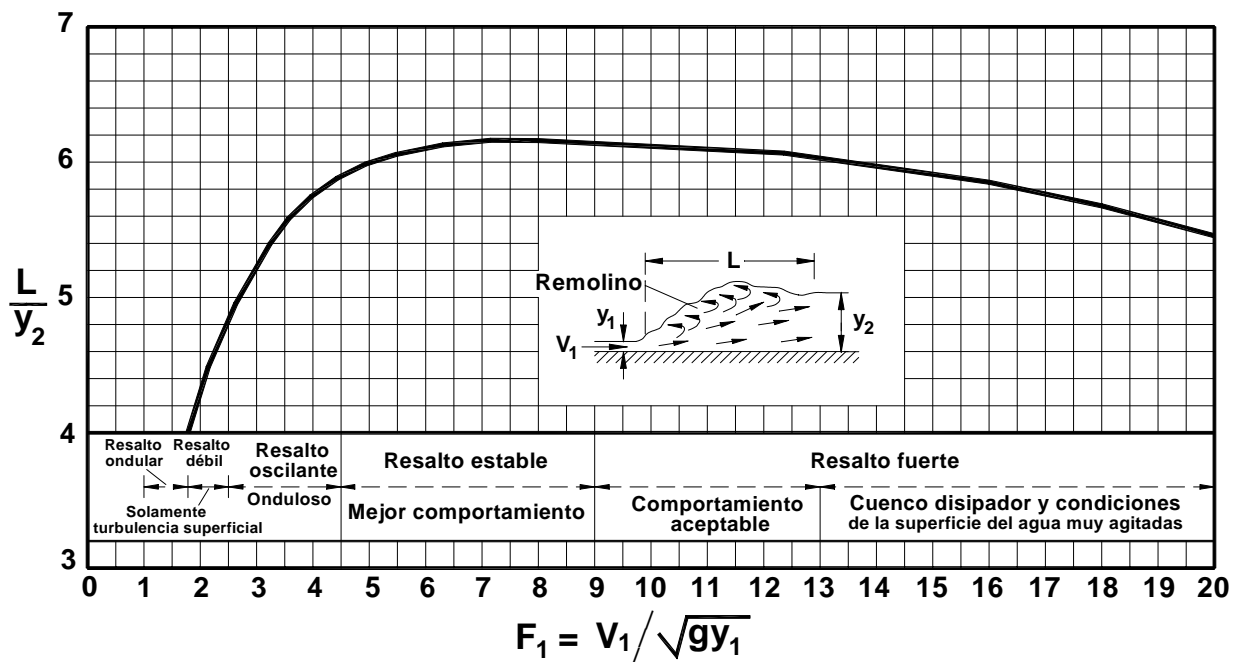
$$L_j = 5(h + Y_3) \quad (\text{Ecuación 6.20})$$

Otra alternativa consiste en considerar la profundidad secuente Y_2 en caso de que el tramo corresponda a un canal horizontal en donde se produce un resalto hidráulico, basándonos en Y_1 , F_1 , V_1 . Mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{Y_2}{Y_1} = 0.5 \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad (\text{Ecuación 6.21})$$

Luego se estima la relación (L/Y_2) con base en la figura.

Figura 6.6 RELACION L/y_2 VS. $F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$.



Fuente: Diseño de Obras Hidráulicas Rurales.

Siendo Y_2 conocida despejamos L .

7. DESARROLLO DE LAS OBRAS PROPUESTAS

Como anteriormente se dijo se examinó la posibilidad de desarrollar obras de almacenamiento del agua para cubrir los requerimientos de la zona en los periodos de de baja precipitación, se dialogó con las personas dueñas de los predios y se observó la necesidad de realizar tres obras de almacenamiento en tres puntos estratégicos para así poder garantizar agua para toda la zona y mejorar las condiciones de productividad de esta. A continuación se presenta el desarrollo de cada una de las obras, y para observar la ubicación de cada una de estas se pueden observar en los planos anexos en este trabajo.

7.1 PRIMER EMBALSE

7.1.1 Evaluación de la precipitación registrada

Para el modelamiento de la cuenca lo primero a realizar es la cuantificación del agua en la zona de estudio, como no se cuenta con datos de campo distintos a la precipitación y a las condiciones topográficas se utilizó el método racional para calcular la escorrentía directa, es decir la cantidad de agua lluvia que no se infiltra ni se evapotranspira y que va a transitar por la superficie del terreno.

Según nuestras condiciones topográficas y de drenaje el método racional recomienda que para suelos arcillosos planos de pendiente 0.02 o menos el coeficiente de escurrimiento debe estar entre 0.13 a 0.17 siendo el óptimo para nuestra zona un coeficiente c de 0.15.

Para encontrar los parámetros para la crecida de diseño se utilizó el método sugerido por el SOIL CONSERVATION SERVICE – SCS y así obtener la respuesta de la cuenca a los eventos de lluvia en términos de escorrentía superficial.

Con base en los datos de precipitación registrados, se encuentra el valor medio de lluvia y calculada la precipitación efectiva, se obtiene el Caudal Medio de la cuenca en el sitio de proyecto.

Aplicando la función de distribución de probabilidad de Gumbel se obtiene el valor máximo de lluvia, a partir del cual se valora la precipitación efectiva del evento y se calcula el Caudal Máximo correspondiente a la creciente de diseño, utilizando el Hidrograma unitario sintético triangular de Mockus – US - SCS.

7.1.2 Área de la cuenca

El área aferente de la microcuenca medida hasta el sitio de cierre del embalse es de 0.1946544507 km² o 0.20 km²

7.1.3 Modelamiento de la cuenca

Para el modelamiento de esta cuenca entraron a participar varios de los factores que motivaron este proyecto de grado, este embalse se plantea para solucionar tres aspectos importantes, que son : crear un reservorio de agua importante para procurar el retorno de especies naturales de esta zona que se han visto obligadas a trasladarse a otros lugares por la falta de un lugar que les brinde condiciones para su sostenimiento, buscando reducir un poco la carga sobre la ciénaga de las garzas que se encuentra aguas abajo y que este embalse se constituya en un lugar propicio para la reproducción de especies como garzas blancas y negras, babillas, chigüiros y otras especies de aves zancudos así como de reptiles, roedores e insectos, aunque hay que aclarar que el almacenamiento de el agua va de la mano una reforestación natural que le va a permitir tanto a las riveras del embalse como a la del caño surtir ha este de aguas.

Por las condiciones topográficas que permiten un movimiento de tierras relativamente menor, al estar encerrado por dos de sus vertientes y presentarse un desnivel significativo en su centro, se escogió el área a inundar de 2370m²(ver anexos plano cuenca 1)

La Cuenca se modelo como se explico anteriormente (apartado 6.1.1) y que básicamente se rige por la ley de continuidad, el modelamiento se hizo en un tiempo de días y las entradas para nuestro proyecto o vaso son : entradas por cuenca propia, o sea los volúmenes de escurrimiento superficial generados en la cuenca y que descargan directamente en la presa, para cuantificar esto se utilizo el método de racional como ya se dijo y los datos se extrapolaron de la estación sabana que es una estación muy cercana al sitio de presa y presenta características de precipitación muy similares. El otro tipo de entradas que se presentan en nuestro caso es el de la precipitación directa sobre el vaso y se calcula como la altura de precipitación registrada multiplicada por el área que tenga la superficie libre del vaso. Lo otro importante para la simulación de el vaso son las salidas de este y se dividen de la siguiente forma : Volumen extraído para satisfacer la demanda de análisis, en esta obra la demanda se cuantifico por hectáreas a servir y se busco que el volumen fuera suficiente para mantener llegado el caso una demanda igual a la zona de explotación agraria de el proyecto que son aproximadamente 200 Ha, y se cuantifico de la siguiente manera 50 litros por animal por tres animales por Ha que nos da una demanda de 30000 litros día. Otra de las salidas es la evaporación directa sobre el vaso y que se calculo con los datos de evaporación de la estación sabana multiplicado por el área superficial media del vaso en el tiempo de estudio, el volumen infiltrado en el vaso no se tuvo en cuenta debido a que este volumen es difícil de medir y además los estudios de suelos nos indican que es muy pequeña la infiltración (ver anexos, estudios de suelos), el volumen derramado se cuantifico para que pudiera ser aprovechado en otra obra de almacenamiento que se planea aguas abajo y que esta en serie con esta.

Por topografía y por costos se decidió que la profundidad del sitio de embalse debería ser de 1.5m, por que esta también es la profundidad promedio de los caños que rodean el embalse y porque con esta profundidad se logra almacenar una cantidad de volumen necesaria para satisfacer los requerimientos tanto de la demandad como ambientales.

Con estos parámetros anteriormente expuestos se realizo el modelamiento de el vaso, y se obtuvieron los siguientes resultados, volumen de el embalse 3555 m³, volumen mínimo para satisfacer la demanda de 200 Ha 1261.19 m³, máxima área superficial 2370 m², lo que nos muestra un muy buen volumen mínimo del embalse de 2294 m³, bastante aceptable para la mejora ambiental que se espera obtener, así como para abastecer futuras demandas como riego u otras actividades.

7.1.4 Cálculo de la precipitación máxima registrada en 24 horas para la estación sabana

Para la serie de datos registrados entre los años 1999 y 2003 se utilizara el método de valores extremos de Gumbel con el propósito de encontrar los valores máximo y medio que se utilizarán para la generación de la escorrentía a partir de la lluvia efectiva.

El método de Gumbel asume:

$$P(X \leq x) = e^{-\alpha(x-\beta)}$$

(Ecuación 7.1)

| 4N (No. Datos) | μy | δy |
|----------------|---------|------------|
| 60 | 0.5521 | 1.1742 |

Los valores de μy y δy fueron obtenidos de libro Hidrología en la Ingeniería de Germán Monsalve.

Factor α : $\alpha = \delta y / S$ donde S = Desviación estandar

Factor β : $\beta = X - \mu y / \alpha$ donde X = Media aritmética

Tabla 7.1 Valores máximos mensuales de Precipitación en 24 horas (mm)

| Valores máximos mensuales de Precipitación en 24 horas (mm) | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| año | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
| 1999 | 73 | 92 | 56 | 89 | 87 | 113 | 61 | 71 | 91 | 89 | 69 | 101 |
| 2000 | 15 | 85 | 69 | 94 | 97 | 124 | 59 | 81 | 107 | 58 | 66 | 71 |
| 2001 | 69 | 0 | 72 | 49 | 103 | 68 | 66 | 70 | 92 | 86 | 79 | 50 |
| 2002 | 3 | 45 | 52 | 57 | 100 | 58 | 70 | 100 | 95 | 80 | 88 | 32 |
| 2003 | 13 | 80 | 65 | 88 | 93 | 137 | 87 | 77 | 39 | 109 | 99 | 78 |
| | | | | | | | | | | | | |

Fuente: IDEAM

SUMA = 5,927
 MEDIA= 74.45
 DESVIACIÓN ESTANDAR = 27.075
 α = 0.04736811
 β = 35.1909

Periodo de Retorno: T

El tiempo promedio en que el caudal pico de una creciente es igualado o superado por lo menos una vez, es de 50 años, definido por criterios usuales como:

- Vida útil de la Obra
- Tipo de Estructura
- Facilidad de Reparación y Ampliación
- Peligro de pérdidas de vidas humanas

| Tipo de Proyecto | Periodo de Retorno (años) |
|------------------|---------------------------|
| Embalses | 25 – 50 |

Luego si el periodo de diseño es de 25 años, entonces:

$$P (X \leq x) = (T-1) / T = (25-1) / 25 = 0.96$$

Reemplazando los datos en la fórmula original se obtiene:

Precipitación Máxima P = 135.446 mm

Precipitación Media P = 74.45 mm

7.1.5 Generación del caudal medio de la cuenca

Para la generación del caudal medio de la cuenca se usó el método de la SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS

Tabla 7.2 Cálculo de la Escorrentía Directa por el Método de la SCS.

CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA DIRECTA POR EL MÉTODO DE SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS

CURVA NÚMERO- CN

| USO DEL SUELO | P (%) | TIPO DE SUELO C | ÁREA | VALOR PONDERADO |
|---------------|--------|--------------------|-----------|--------------------|
| Pastizales | > 1 | 0 | 0 | 0 |
| | < 1 | 100 | 194654.45 | 74 |
| | | | | |

Fuente: Hidrología aplicada

$$PE = (P - 508/CN + 5,08)^2 / (P + 2032/CN - 20,32) \quad \text{(Ecuación 8.34)}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva (cm)

CN: Número de Curva SCS

P: Lluvia total del evento seleccionado (cm)

Teniendo en cuenta los registros de precipitación se obtiene un valor medio de lluvia de 77.45 mm. La humedad antecedente para 5 días anteriores al evento está entre 2.5 y 5 cm, no se aplica factor de corrección.

$$Pe = 2.0447366 \text{ cm}$$

7.1.6 Generación de la creciente de diseño

Para la generación del caudal medio de la cuenca se uso el método de la SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS

$$PE = (P - 508/CN + 5,08)^2 / (P + 2032/CN - 20,32)$$

Donde: Pe: Precipitación efectiva (cm)
CN: Número de Curva SCS
P: Lluvia total del evento seleccionado (cm)

Teniendo en cuenta los registros de precipitación el valor máximo de lluvia es de 13.5446 cm. La humedad antecedente para 5 días anteriores al evento está entre 2.5 y 5 cm, no se aplica factor de corrección.

$$P= 13.5446 \text{ cm}$$
$$Pe= 7.82745932 \text{ cm}$$

7.1.7 Generación del hidrograma unitario triangular

Una vez encontrada la precipitación directa que provoca la máxima tormenta seleccionada para efectos de diseño, se procede a general el hidrograma sintético que facilita la obtención de la máxima creciente de diseño, como respuesta de la cuenca a las variables hidrológicas incorporadas

Con base en las determinantes para generar un hidrograma unitario sintético de Mockus –US-SCS, se tiene:

Cálculo del tiempo pico: tp

$$Tp = de/2 + tr$$

Donde: tp= Tiempo pico (horas)
de= Duración en exceso (hora)
tr= Tiempo de retraso (hora)

Pero: $de = tc$ Para cuencas pequeñas
 $de = 2(tc)^{1/2}$ Para cuencas grandes

Sabiendo: $tr = 0.6 \times tc$
donde: $tc =$ Tiempo de concentración (horas)

$$qp = 0.208 \times A / tp$$

$$tb = 2.67 \times tp$$

donde: $qp =$ Gasto de pico, $m^3/seg/mm$
 $A =$ Área de la cuenca, Km^2
 $tb =$ Tiempo de base, horas

reemplazando tr y de en tp :

$$tp = tc/2 + 0.6 \times tc$$

Cálculo del Tiempo de Concentración tc :

Determinar el tiempo de concentración o tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

$$tc = 0.000325 \times L^{0.77} / S^{0.385} \text{ fórmula de Kirpich}$$

donde: $L =$ Longitud cauce principal de la cuenca, metros.

$S =$ Pendiente del Cauce principal, en tanto por uno.

$$tc = 0.93333056 \text{ horas}$$

Cálculo del tiempo al pico

$$tp = tc/2 + 0.6 \times tc$$

$$tp = 1.53 \text{ horas}$$

Caudal Pico Obtenido

$$qp = 0.208 \times A / tp$$

donde: $qp =$ Gasto de pico, $m^3/seg/mm$

$$A = 0.1946544507 \text{ Km}^2$$

$$qp = 0.02653065 \text{ m}^3/seg/mm$$

Precipitación efectiva, obtenida por el método SCS, $Pe = 78.2746 \text{ mm}$

Calculando se obtiene:

$$qp = 2.07667589 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Duración en exceso: de

$$tc = de$$

$$de = 0.93333056 \text{ horas}$$

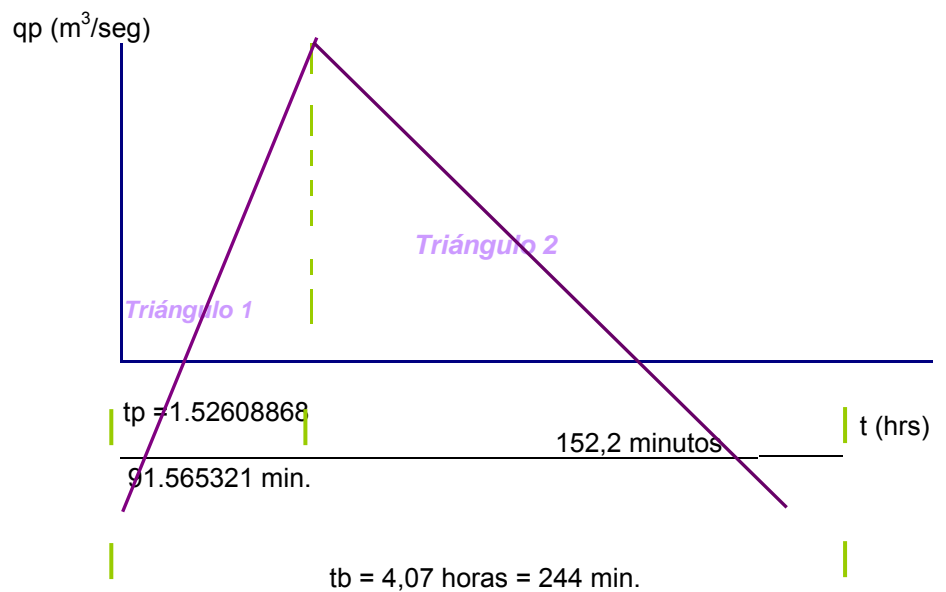
Tiempo de base: tb en horas

$$tb = 2.67 \times tp$$

$$tb = 4.07 \text{ horas}$$

GENERACIÓN DE HIDROGRAMA TRIANGULAR

Figura 7.1 Generación de Hidrograma Triangular



Fuente: Autores del proyecto

Se obtiene de la gráfica los valores del caudal de entrada al embalse (l) cada 0.1 min aplicando semejanza de triángulos: Este tiempo es tan pequeño por la poca área superficial de los reservorios de agua que hacen que la cantidad de agua que entra sea casi igual a la que sale por lo que se necesitan tiempos muy pequeños para poder observar su funcionamiento.

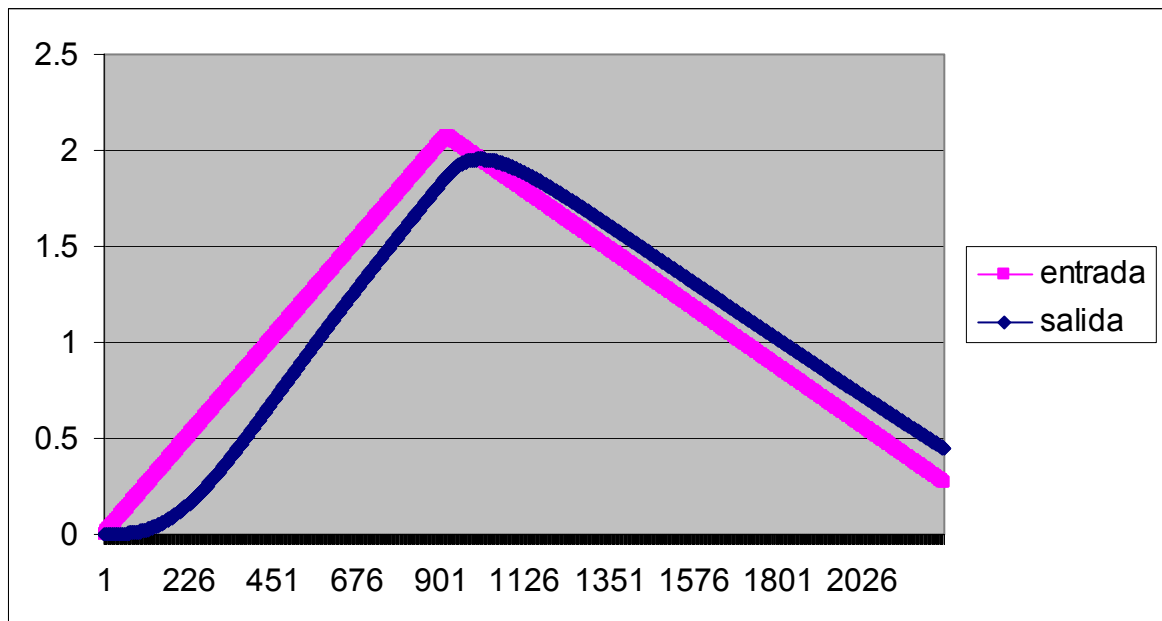
7.1.8 Tránsito de la creciente de diseño

| | | | |
|----------------------------|--|------|-----|
| ANCHO VERTEDERO = | L= | 2.00 | m |
| COEFICIENTE DEL VERTEDERO= | K= | 1.85 | |
| INTERVALO TIEMPO = | T= | 6 | seg |
| NAMO: | CAUDAL POR O. TOMA = 0 m ³ /s | 8.50 | |
| CAUDAL POR EL VERTEDERO | | | |

$$Q = K * L * H^{(3/2)}$$

El tránsito se realizó por el método de Runge-Kuta (ver 8.3.3.3) que fue anteriormente explicado y nos da una altura extra de almacenamiento de 0.66 m por la avenida de diseño con un caudal máximo de salida de 1.9538 m³/s para estas condiciones de vertedero.

Figura 7.2 Tránsito de la Creciente de Diseño.



Fuente: Autores del proyecto

Como esta presa tiene una magnitud considerable y para evitar problemas por erosión y por cavitación ya que la salida de las aguas es por la corona de la presa se plantea una cortina con un perfil Creager (ver 8.3.4.3) .

Tabla 7.3 Características del Vertedero.

| Características del Vertedero | | |
|-------------------------------|------------|---------------------|
| K= | 2 | |
| n= | 1.85 | |
| C= | 1.85 | |
| Qmáximo= | 1.95383782 | m ³ /seg |
| L= | 2 | m |
| h= | 1.5 | m |
| Hd= | 0.65331785 | m |
| h/Hd= | 2.29597278 | >>1,33 |
| V= | 1.49531948 | m/seg |
| Yc= | 0.4599204 | m |
| Vc= | 2.12410431 | m/seg |
| V<Vc | Subcritico | |

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 7.4 Vertedero Creager

| VERTEDERO CREAGER $X_n=K*Hdn-1y$ | | | |
|----------------------------------|------------|------------|------------|
| X | Y | dY/dX | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0.1 | 0.01014178 | 0.18762292 | 5.32983928 |
| 0.2 | 0.03656113 | 0.33819048 | 2.95691348 |
| 0.3 | 0.07740847 | 0.47735223 | 2.09488915 |
| 0.4 | 0.13180295 | 0.60958866 | 1.64045046 |
| 0.5 | 0.199163 | 0.73690311 | 1.3570305 |
| 0.6 | 0.27905767 | 0.86042783 | 1.16221252 |
| 0.7 | 0.37114664 | 0.98088755 | 1.01948486 |
| 0.8 | 0.47514989 | 1.09878412 | 0.91009688 |
| 0.9 | 0.59083036 | 1.21448462 | 0.82339454 |
| 1 | 0.71798299 | 1.32826854 | 0.75285981 |
| 1.1 | 0.85642754 | 1.44035541 | 0.69427309 |
| 1.2 | 1.00600343 | 1.55092196 | 0.64477777 |
| 1.3 | 1.16656612 | 1.66011333 | 0.60236852 |
| 1.4 | 1.33798432 | 1.76805071 | 0.56559464 |

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 7.5 Pozo de Amortiguación

| POZO DE AMORTIGUACION | |
|-----------------------|------------------|
| Z= | 1.45331785 m |
| V1= | 4.70160059 m/seg |
| Y1= | 0.20778433 |
| F1= | 3.29309938 |
| h/Y1= | 0.8 |
| h= | 0.16622746 |
| Y2= | 0.845 |
| Y3< | 0.61874249 |
| L= | 3.92484974 |
| chequeo 1 | |
| Y2/Y1= | 4.18390937 |
| Y2= | 0.86935079 |
| L/Y2= | 5 de la grafica |
| L= | 4.34675394 |
| chequeo 2 | |
| L= | 4.39678815 |

Fuente: Autores del proyecto

Los tres chequeos nos dejan ver que la longitud de la zona pavimentada del pozo de disipación es de 4.4m. el perfil llega al canal a una distancia x de 1.1m medidos a partir del comienzo del perfil Creager, que corresponde a los 0.8m que esta la corona por encima de el canal.

El diseño del canal de descarga se realizo como un canal erodable, por el método de la velocidad máxima permisible. Se escogieron los valores de z, n, y Vmax según V.T.Chow, para este tipo de suelo.

Tabla 7.6 Canal de descarga

| | |
|------------------|-------------|
| Q = | 1.953 |
| Z = | 1.5 |
| n = | 0.025 |
| Vmax = | 0.8 |
| So = | 0.001 |
| | |
| R = | 0.502973372 |
| Área requerida = | 2.533767133 |
| Peri húmedo = | 5.037577086 |
| Y = | 0.719117987 |
| BASE = | 2.44476031 |

Fuente: Autores del proyecto

7.1.9 Diseño de los muros

Para garantizar las condiciones de estabilidad y volcamiento se dividió la estructura según los diferentes pesos específicos ya sea agua, suelo o concreto, y se calcularon los coeficientes de estabilidad y volcamiento; en la siguiente tabla se muestran los datos utilizados en este proceso.

$$\gamma_{\text{suelo}} = 1.8 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2.4 \text{ ton/m}^3$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 1 \text{ ton/m}^3$$

$$H_{\text{ma}} = 0.8\text{m}$$

$$L_{\text{o}} = 0.5\text{m}$$

$$H_{\text{p}} = 0.4\text{m}$$

Tabla 7.7 Diseño a Volcamiento y Deslizamiento

| figura | b | h | A | peso (w) | x | y | wx |
|-------------|------|------|--------|----------|-------|--------|-------|
| 1(agua) | 1 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 3.1 | 1.95 | 6.82 |
| 2(concreto) | 1.1 | 0.8 | 0.88 | 2.112 | 2.363 | 5.1858 | 4.991 |
| 3(concreto) | 3.25 | 0.45 | 1.463 | 3.51 | 1.625 | 0.35 | 5.704 |
| 4(concreto) | 0.25 | 2.2 | 0.55 | 0.55 | 1.625 | 1.95 | 0.894 |
| 5(suelo) | 1.5 | 0.4 | 0.6 | 1.08 | 3.35 | 0.65 | 3.618 |
| 6(suelo) | 1.5 | 1.1 | 1.65 | 2.97 | 0.75 | 1 | 2.228 |
| | | | Wtotal | 12.422 | | sumaVx | 24.25 |

Fuente: Autores del proyecto

Con base en estos datos se obtuvo un coeficiente de volcamiento de $4.69 > 2$ y de deslizamiento de $3.98 > 1.5$ luego se garantiza el cumplimiento de estas condiciones en esta estructura los cálculos utilizados se pueden observar en los anexos.

7.2 SEGUNDO EMBALSE

El análisis de los parámetros hidrológicos para cuantificar el volumen de la escorrentía se realizó de manera similar al del primer embalse, por el método racional, con un coeficiente de infiltración de 0.15 que es el recomendado debido a las características topográficas, de suelos y a su función actual (ver anexos).

La Cuenca se modeló como se explicó anteriormente (apartado 7.1) de forma similar al primer embalse, basándose en la ley de continuidad, el modelamiento se hizo en un tiempo de días y las entradas para nuestro proyecto o vaso son: entradas por cuenca propia, para generar estas entradas los datos también se extrapolaron de la estación Sabana, El otro tipo de entradas que se presentan en nuestro caso es el de la precipitación directa sobre el vaso y se calcula como la altura de precipitación registrada multiplicada por el área que tenga la superficie libre de el vaso. Las salidas del vaso son: la demanda de análisis, en esta obra la demanda está regida básicamente por las hectáreas aledañas a servir, que por la divisiones de potreros en esta zona es de 30 hectáreas, lo que produce una demanda de análisis cuantificada en 4500 litros día que de la siguiente forma 50 litros por animal por tres animales por Ha día. La otra salida es la evaporación directa sobre el vaso que en este caso es de mucha importancia, porque su cuantificación va a resultar casi del mismo orden de la demanda de análisis, la ecuación Área vs Elevación es $Y = 0.355x^2 + 72.30x + 120$ para cuantificar el área en cualquier instante. El volumen infiltrado en el vaso no se tuvo en cuenta debido a que este volumen es difícil de medir y además los estudios de suelos nos indican

que es muy pequeña la infiltración (ver anexos, estudios de suelos), el volumen derramado se cuantifico para que pudiera ser aprovechado en otra obra de almacenamiento que se planea aguas abajo y que esta en serie con esta.

Debido a la alta incidencia de la evaporación en esta segunda obra se realizo un predimensionamiento de la siguiente manera: Se simulo un embalse como un cajón en el cual el área superficial no cambia y se probaron diferentes áreas superficiales, lo que nos entrego una lista de diferentes volúmenes mínimos a embalsar para predimensionar la sección a inundar.

| Predimensionamiento | |
|----------------------------|-------------------|
| área | Vol. reque |
| 50.00 | 122,903.83 |
| 100.00 | 129,557.67 |
| 150.00 | 136,211.50 |
| 200.00 | 142,865.33 |
| 250.00 | 149,519.17 |
| 300.00 | 156,173.00 |
| 350.00 | 162,826.83 |
| 400.00 | 169,480.67 |
| 450.00 | 176,134.50 |

Este predimensionamiento nos deja observar que el área superficial de embalse, debe estar entre 150 y 200 para que la profundidad no sea muy alta y para que quede un volumen de almacenamiento extra si se planten profundidades cercanas a 1m.

Debido a los parámetros expuestos anteriormente se escogió realizar un embalse alargado, cuya Ecuación Volumen vs Elevación es $Y = -7E-6 * X^2 + 0.0075 * X + 0.0146$, buscando con esta forma y con la reforestación natural que se plantea en este proyecto se disminuya las salidas por evaporación. Se plantea profundizar el cauce del caño para construir un canal con las siguientes dimensiones, de base 2m, taludes de $z = 0.5$ y una profundidad de 1.3 metros, y una longitud de 60m, con lo que se lograría almacenar un volumen de $207m^3$, pero para aprovechar la profundidad promedio del cauce del caño y pensando en una ampliación futura del embalse, se plantea una cortina de 1.8 metros para aprovechar 50 cm de

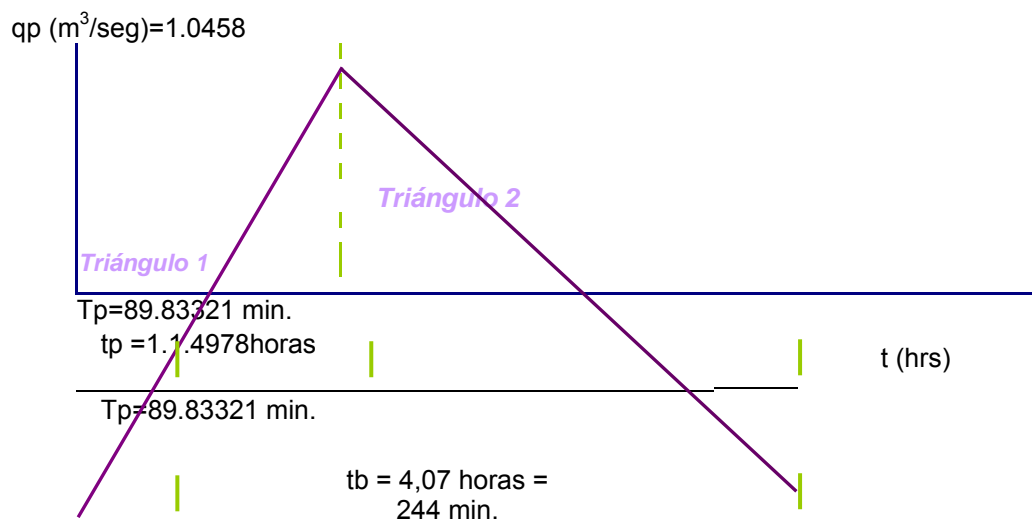
almacenamiento en cause que sirven como refuerzo para aumentos inesperados de la evaporación, así como para futuras ampliaciones.

Se calculo la producción de sedimentos por la ecuación universal de perdida de sedimentos y dio muy pequeña del orden de 3.3 m^3 al año, el calculo se presenta en los anexos.

Con estos parámetros anteriormente expuestos se realizo el modelamiento de el vaso (ver Anexos), y se obtuvieron los siguientes resultados, volumen de el embalse 280m^3 , volumen mínimo para satisfacer la demanda de 30 Ha es 170m^3 , lo que nos muestra un muy buen volumen mínimo del embalse de 110m^3 , bastante aceptable para afrontar complicaciones climáticas futuras, así como requerimientos inesperados de agua.

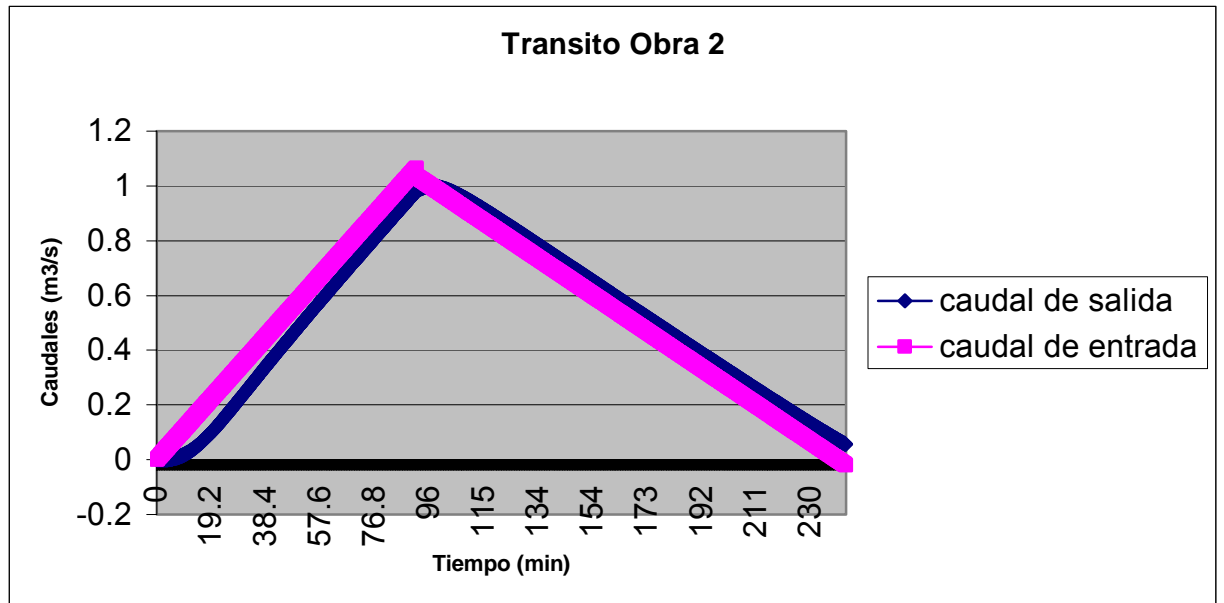
A continuación se muestran los resultados más relevantes obtenidos para el desarrollo de este embalse teniendo en cuenta que el procedimiento de calculo es el mismo que se utilizo en la primera presa

Figura 7.3 Generación del Hidrograma Triangular



Fuente: Autores del proyecto

Figura 7.4 Transito de la Creciente de Diseño



Fuente: Autores del proyecto

Con los datos generados de la grafica anterior se obtiene los datos del caudal de entrada para la avenida de diseño para el tiempo deseado.

Como esta presa tiene una magnitud considerable y para evitar problemas por erosión y por cavitación ya que la salida de las aguas es por la corona de la presa se plantea una cortina con un perfil Creager

Tabla 7.8 Características del Vertedero

| CARACTERISTICAS DEL VERTEDERO | | |
|-------------------------------|------------|--------|
| K= | 2 | |
| n= | 1.85 | |
| C= | 1.85 | |
| Qmáximo= | 0.99823014 | m³/seg |
| L= | 2 | m |
| h= | 1.8 | m |
| Hd= | 0.41752835 | m |
| h/Hd= | 4.3110845 | >>1,33 |
| V= | 1.19540402 | m/seg |
| Yc= | 0.29393014 | m |
| Vc= | 1.69807381 | m/seg |
| V<Vc | Subcritico | |

Tabla 7.9 Vertedero Creager

| VERTEDERO CREAGER $X_n = K \cdot H_{dn} - 1y$ | | | |
|---|------------|------------|------------|
| X | Y | dY/dX | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0.1 | 0.0148384 | 0.27451031 | 3.64285044 |
| 0.2 | 0.05349244 | 0.49480509 | 2.02099782 |
| 0.3 | 0.11325601 | 0.69841205 | 1.43181951 |
| 0.4 | 0.19284035 | 0.89188662 | 1.12121874 |
| 0.5 | 0.29139456 | 1.07815987 | 0.92750624 |
| 0.6 | 0.40828812 | 1.25888837 | 0.79435161 |
| 0.7 | 0.5430231 | 1.43513248 | 0.69679978 |
| 0.8 | 0.69518982 | 1.60762647 | 0.62203504 |
| 0.9 | 0.86444143 | 1.77690738 | 0.56277553 |
| 1 | 1.05047792 | 1.94338416 | 0.5145663 |
| 1.1 | 1.25303556 | 2.10737799 | 0.47452332 |

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 7.10 Pozo de Amortiguación

| POZO DE AMORTIGUACION | |
|-----------------------|------------------|
| Z= | 0.91752835 m |
| V1= | 3.72906867 m/seg |
| Y1= | 0.13384443 |
| F1= | 3.25436099 |
| h/Y1= | 0.8 |
| h= | 0.125 |
| Y2= | 0.5598 |
| Y3< | 0.41486667 |
| L= | 2.69933333 |
| chequeo 1 | |
| Y2/Y1= | 4.12944175 |
| Y2= | 0.55270278 |
| L/Y2= | 5 |
| L= | 2.76351389 |
| chequeo 2 | |
| L= | 2.85909343 |

Fuente: Autores del proyecto

Los tres chequeos nos dejan ver que la longitud de la zona pavimentada del pozo de disipación es de 2.9m. el perfil llega al canal a una distancia x de 0.7m medidos a partir del comienzo del perfil Creager, que corresponde a los 0.5m que esta la corona por encima de el canal.

El canal al que descarga esta pequeña presa es un canal natural aguas abajo y por razones naturales este canal puede soportar el caudal descarga del vertedero.

7.3 TERCER EMBALSE

El análisis de los parámetros hidrológicos para cuantificar el volumen de la escorrentía se realizó de manera similar al de el primer y segundo embalse, debido a que las condiciones topográficas e hidrológicas no varían en gran consideración, por lo tanto el coeficiente de infiltración es el mismo, de 0.15 que es el recomendado debido a las características topográficas, de suelos y a su función actual (ver anexos).

La Cuenca se modeló como se explicó anteriormente (apartado 8.3.3.1), se hizo en un tiempo de días y las entradas para nuestro proyecto o vaso son : entradas por cuenca propia, para generar estas entradas los datos de precipitación también se extrapolaron de la estación Sabana, otro tipo de entradas que se presentan en nuestro caso es el de la lluvia directa sobre el vaso y se calcula como la altura de precipitación registrada multiplicada por el área que tenga la superficie libre de el vaso, el otro tipo de entradas que se presenta aquí son las entradas por transferencia de otras cuencas , es decir, las entradas producidas por los derrames de las otras dos obras de almacenamiento, debido a que este embalse funciona en serie con las otras dos obras que están aguas arriba,. Las salidas del vaso son : la demanda de análisis y se calculan de manera similar a los otros dos embalses, la demanda está regida básicamente por las hectáreas aledañas a servir, que por la divisiones de potreros en esta zona es de 25 hectáreas, lo que produce una demanda de análisis cuantificada en 3750 litros día de la siguiente forma, 50 litros por animal por tres animales por Ha día. La otra salida es la evaporación directa sobre el vaso que en este caso es de mucha importancia, porque su cuantificación va a resultar casi del mismo orden de la demanda de

análisis. El volumen infiltrado en el vaso no se tuvo en cuenta debido a que este volumen es difícil de medir y además los estudios de suelos nos indican que es muy pequeña la infiltración (ver anexos, estudios de suelos).

Debido a la alta incidencia de la evaporación en esta tercera obra se realizó un predimensionamiento similar al de la segunda obra, simulando un embalse como un cajón en el cual el área superficial no cambia y se probaron diferentes áreas superficiales, lo que nos entregó una lista de diferentes volúmenes mínimos a embalsar para predimensionar la sección a inundar.

| Predimensionamiento | |
|----------------------------|------------------|
| area | vol reque |
| 50.00 | 128,760.95 |
| 100.00 | 133,771.90 |
| 150.00 | 138,782.85 |
| 200.00 | 143,793.80 |
| 250.00 | 148,804.75 |
| 300.00 | 153,815.70 |
| 350.00 | 158,826.65 |
| 400.00 | 163,837.60 |

Este predimensionamiento nos deja observar que el área superficial de embalse, debe estar entre 100 y 200 m² para que la profundidad no sea muy alta y para que quede un volumen de almacenamiento extra si se planten profundidades cercanas a 1m.

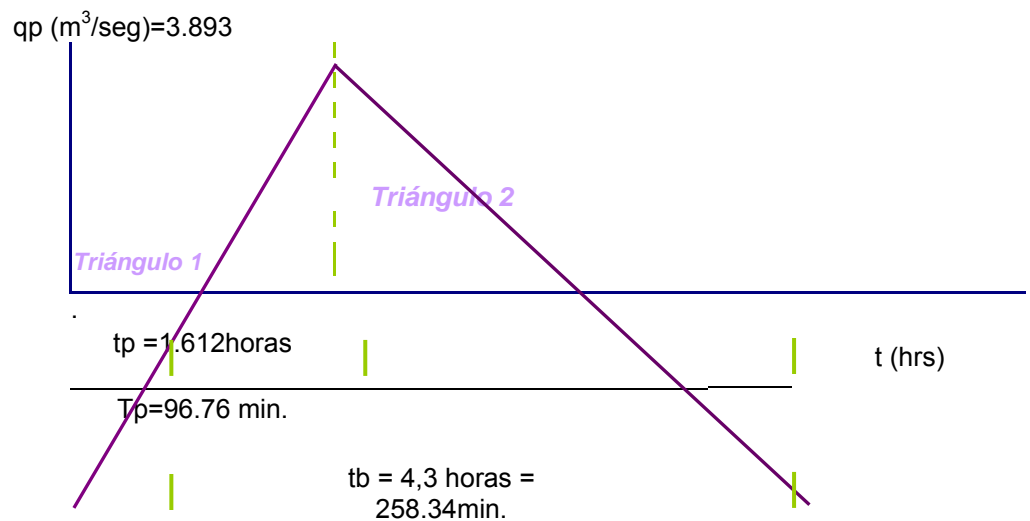
Debido a los parámetros expuestos anteriormente se escogió realizar un embalse alargado, para con la reforestación forestal que se plantea en este proyecto se disminuya las salidas por evaporación, y se plantea profundizar el cauce del caño para construir un canal con las siguientes dimensiones, de base 2m, taludes de z = 0.5 y una profundidad de 1.4 metros, y una longitud de 40m, con lo que se lograría almacenar un volumen de 151m³, pero para aprovechar la profundidad promedio del cauce del caño y pensando en una ampliación futura del embalse, se plantea una cortina de 1.9 metros para aprovechar 50 cm de almacenamiento en

cause que sirven como refuerzo para aumentos inesperados de la evaporación, así como para futuras ampliaciones (Ver anexos planos).

Se calculo la producción de sedimentos por la ecuación universal de perdida de sedimentos y dio muy pequeña del orden de 4.22 m^3 al año, el calculo se presenta en los anexos al igual que la forma de el embalse.

Con estos parámetros anteriormente expuestos se realizo el modelamiento de el vaso (ver Anexos), y se obtuvieron los siguientes resultados con la ecuación Área vs Elevación $Y= 16.161 \cdot X + 80.606$, y dio un volumen de embalse 230 m^3 , volumen mínimo para satisfacer la demanda de 25 Ha es 160 m^3 , lo que nos muestra un muy buen volumen mínimo del embalse de 70 m^3 , bastante aceptable para afrontar complicaciones climáticas futuras, así como requerimientos inesperados de agua. Y así poder mantener un nivel relativamente abundante de agua para lograr un mayor retorno de las especies naturales de la zona.

Figura 7.5 Generación del Hidrograma Triangular

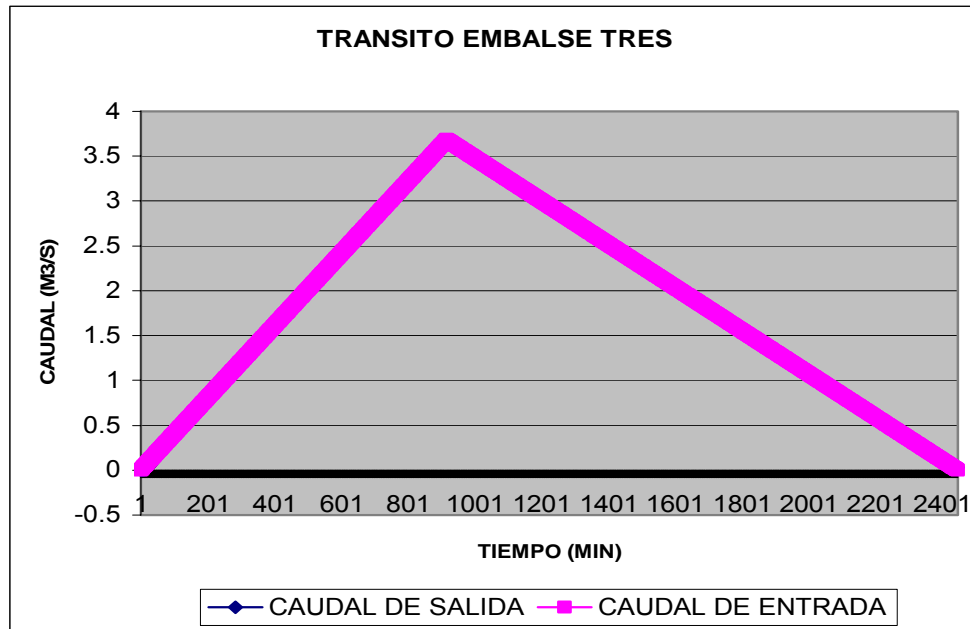


Fuente: Autores del proyecto

Con este hidrograma se obtiene de la gráfica los valores del caudal de entrada al embalse (I) cada 0.1 min aplicando semejanza de triángulos:

El transito nos muestra el hidrograma de entradas y salidas como se muestra a continuación.

Figura 7.6 Transito de la Creciente de Diseño



Fuente: Autores del proyecto

Para evitar problemas por erosión y por cavitación ya que la salida de las aguas es por la corona de la presa se plantea una cortina con un perfil Creager

Tabla 7.11 Características del Vertedero Creager

| | | |
|----------|------------|--------|
| K= | 2 | |
| n= | 1.85 | |
| C= | 1.85 | |
| Qmaximo= | 3.67723432 | m³/seg |
| L= | 4 | m |
| h= | 1.8 | m |
| Hd= | 0.62737382 | m |
| h/Hd= | 2.86910284 | >>1,33 |
| V= | 1.46532825 | m/seg |
| Yc= | 0.44165641 | m |
| Vc= | 2.08150172 | m/seg |
| V<Vc | Subcritico | |

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 7.11 Vertedero Creager.

| VERTEDERO CREAGER $X_n = K \cdot H_{dn} - 1y$ | | | |
|---|------------|------------|------------|
| X | Y | dY/dX | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0.1 | 0.01049718 | 0.1941978 | 5.14938897 |
| 0.2 | 0.03784235 | 0.35004171 | 2.8568024 |
| 0.3 | 0.0801211 | 0.49408011 | 2.02396329 |
| 0.4 | 0.13642173 | 0.63095051 | 1.58491037 |
| 0.5 | 0.20614228 | 0.76272645 | 1.31108605 |
| 0.6 | 0.28883671 | 0.89057985 | 1.12286394 |
| 0.7 | 0.38415275 | 1.01526084 | 0.98496855 |
| 0.8 | 0.49180059 | 1.13728887 | 0.87928408 |
| 0.9 | 0.61153486 | 1.25704387 | 0.79551718 |
| 1 | 0.74314331 | 1.37481512 | 0.72737053 |

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 7.12 Pozo de Amortiguación

| POZO DE AMORTIGUACIÓN | |
|-----------------------|------------------|
| Z= | 1.12737382 m |
| V1= | 3.99556468 m/seg |
| Y1= | 0.23008227 |
| F1= | 2.65951282 |
| h/Y1= | 0.4 |
| h= | 0.09203291 |
| Y2= | 0.73 |
| Y3< | 0.5173443 |
| L= | 3.04688604 |
| chequeo 1 | |
| Y2/Y1= | 3.29420834 |
| Y2= | 0.75793892 |
| L/Y2= | 4.6 |
| L= | 3.48651904 |
| chequeo 2 | |
| L= | 3.44943236 |

Fuente: Autores del proyecto

Los tres chequeos nos dejan ver que la longitud de la zona pavimentada del pozo de disipación es de 3.5m. el perfil llega al canal a una distancia x de 0.8m medidos a partir del comienzo del perfil Creager, que corresponde a los 0.5m que esta la corona por encima de el canal.

El canal al que descarga esta pequeña presa es un canal natural aguas abajo y por razones naturales este canal puede soportar esta descarga del vertedero

8. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN AMBIENTAL

La zona piloto escogida tiene distintas calidades de tierra aunque toda básicamente con el mismo fin que es la explotación ganadera, pero por la explotación de oro que se dio en esta región algunos años atrás las tierras de la zona alta de la zona piloto quedaron con características muy pobres que no tienen mayor productividad y no están brindando prácticamente ningún beneficio a los dueños de estas. Por esta razón en este proyecto se plantea la reforestación de estas zonas para lograr un beneficio tanto para los dueños de los predios como para la comunidad de la región.

Con base en estudios privados realizados con anterioridad en la zona se pudieron establecer ciertos factores de gran importancia para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, cuya determinación esta fuera de nuestra área de conocimiento, tales como la estimación de las diversas especies nativas tanto en flora como en fauna, la cual es de gran importancia para apreciar con certeza la problemática del sector y su posible solución.

8.1 FLORA

8.1.1 Clasificación de la vegetación

Según el sistema de clasificación bioclimática de L.R.Holdridge, utilizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) la zona de estudio corresponde a la formación de bosque tropical húmedo – Tropical (bh-T).

La gran parte de la vegetación existente en el predio corresponde a regeneración natural, rastrojos altos de diámetros inferiores a 0,20 m, compuesto principalmente por especies de abundante regeneración como: Peralejo (*Curatella americana*), copillo (*Xiñopía aromática*), Chocho (*Ormosia tovarensis*), entre otras.

La vegetación encontrada en la zona se clasifica como:

8.1.2 Bosques de galería

Son bosques secundarios de sucesión temprana, ubicado especialmente sobre el área de protección de las quebradas, corresponde a una vegetación pobre de baja representación ornamental, en su mayoría no sobrepasan los 10 m de altura ni superan los 0,20 m de diámetro. Estas franjas boscosas cumplen una función protectora en lo referente al borde de las quebradas. La vegetación protectora esta compuesta por especies como el cedro (*Cedrela odorata*), laurel (*Ocotea sp*), guayabo de pava (*Bellusia glutinosa*), guasimo (*Guazuma ulmifolia*), guarumo (*Cecropia peltata*), guacharaco (*Ocotea sp*), caucho (*Ficus sp*), y copillo (*Xilopía aromática*).

8.1.3 Rastrojo

Este tipo de vegetación se observa en la mayoría de predios de la zona, se caracteriza por la abundancia de especies herbáceas y gramíneas entremezcladas con especies de regeneración natural como el copillo (*Xilopía aromática*), manchador (*Vismía baccifera*), laurel (*Ocotea sp*). Las especies por lo general poseen gran poder germinativo y son abundantes en semilla.

8.1.4 Vegetación de cercas

Referente a esto se pudo apreciar que es mínimo el uso de árboles como cerco vivo, sin embargo en las fincas vecinas se observan árboles de guasito (*Guazuma ulmifolia*), Cucharo (*Vochisia aff. venezolana*), frijolito (*Schizolobium parahibum*), gualanday (*Jacaranda caucana*), pavito (*Jacaranda copaiba*), rayo (*Parkia pendula*), campano (*Samanea saman*).

8.2 FAUNA

Parece oportuno reseñar las diversas especies animales que se verán afectadas por la realización del presente proyecto ya que esto permitirá mostrar la importancia del mismo, En este campo la información reunida se baso principalmente en el estudio realizado con anterioridad por el ingeniero forestal Jaime Uribe Contreras y por consultas realizadas a la comunidad cuyo conocimiento empírico es de gran valor, a continuación se nombran las diversas especies de la zona.

Tabla 8.1 Aves de la Región.

| AVES | |
|-----------------|-------------------------------------|
| Nombre común | Nombre científico |
| Pimparo | <i>Pitangus sulfuratus</i> |
| Negrito | <i>Volatina jacarina splendens</i> |
| Abuelita | <i>Columbina passerina parvula</i> |
| Mirla | <i>Myadestes venezuelensis</i> |
| Golondrina | <i>Notiochelidon cyanoleuca</i> |
| Guañuz | <i>Crotopahaga ani</i> |
| Carpinterito | <i>Picumnus olivaceus olivaceus</i> |
| Loros tierreros | <i>Forpus conspicillatus</i> |

| | |
|------------------------|--|
| Azulejo | <i>Thraupis episcopus</i> |
| Martin Pescador Grande | <i>Celile torquita</i> |
| Papamosca | <i>Myozetetes cayanensis hellmayri</i> |
| Canario | <i>Dendroica petechia festiva</i> |
| Perdiz | <i>Colinus spp</i> |

Fuente: Plan de establecimiento y Manejo Forestal

Tabla 8.2 Mamíferos de la Región.

| MAMIFEROS | |
|--------------------|------------------------------|
| Nombre común | Nombre científico |
| Ratones de monte | <i>Proechimys guirae</i> |
| Ardilla | <i>Sciurus granatensis</i> |
| Zorro perruno | <i>Cerdocyon thous</i> |
| Murciélago narigon | <i>Rhynconycteris naso</i> |
| Murciélago orejon | <i>Micronycteris minuta</i> |
| Murciélago frutero | <i>Carollia perpicillata</i> |

Fuente: Plan de establecimiento y Manejo Forestal.

Tabla 8.3 Reptiles de la Región

| REPTILES | |
|----------------------|----------------------------------|
| Nombre común | Nombre científico |
| Coral | <i>Micrurus psypes</i> |
| Iguana | <i>Iguana iguana</i> |
| Cazadora | <i>Mastigodryas bifossatus</i> |
| Lagartija | <i>Cnemidophorus lemniscatus</i> |
| Serpiente arborícola | <i>Oxibelis spp</i> |
| Culebra ratonera | <i>Clelia Clelia</i> |
| Lobo pollero | <i>Tupinambis teguixin</i> |

Fuente: Plan de establecimiento y Manejo Forestal.

Tabla 8. 4 Anfibios de la Región.

| ANFIBIOS | |
|----------------|-------------------------|
| Nombre común | Nombre científico |
| Rana paradoja | Pseudis paradoxa |
| Rana saltadora | Leptodactylus ocellatus |
| Rana verde | Hyla punctata |
| ANFIBIOS | |
| Nombre común | Nombre científico |
| Rana minadora | Elachistocleis ovale |
| Sapo | Bufo marinus |

Fuente: Plan de establecimiento y Manejo Forestal.

8.3 PROYECTO AMBIENTAL

El terreno en el cual se pretende desarrollar un programa de reforestación se ubica en la parte alta de la zona piloto, este suelo estuvo sometido a la explotación artesanal de oro, ocasionando su deterioro, en la actualidad ya se observa un proceso de recuperación, y se busca que con un mejor aprovechamiento del agua con base en las estructuras hidráulicas diseñadas y un proceso de reforestación planificado se llegue a establecer a futuro condiciones favorables para las especies que habitan en el sector.

Para ejecutar este plan de reforestación, se tomaran como base experiencias anteriores realizadas en la zona que generaron resultados muy favorables; una de las especies más recomendadas para este proceso es el Cucharero (*Vochysia aff. Venezuelana* Stafleu) que aunque no es considerada como especie nativa según el listado de especies autóctonas de la ley 139 de 1994 se observa que si es autóctona.

Esta especie a sido utilizada en el sector y se le considera como una especie promisoría, se han observado incrementos en las alturas de 1 a 1,5 metros año, y en diámetros de 3 a 5 cm., sus incrementos permiten calcularle un promedio anual de 15m³/ha/año, de buena adaptación al tipo de suelo existente; el Cabildo Verde del municipio Sabana de Torres esta fomentando el cultivo con esta especie con buenos resultados, su semilla es de fácil consecución.

Dada la naturaleza nativa de esta especie, de su abundante regeneración natural, se considera de las especies más importantes ya que corresponde exactamente a las condiciones no solo de suelo sino climáticas de la región.

El cucharo es un árbol que llega a los 25m de altura y 50 cm. de diámetro de fuste, se encuentra en el piso basal húmedo, propia del Magdalena medio y del Andén Pacífico Colombiano, crece en paisajes de terrazas de 0 a 800 msnm, su propagación es por semilla y su madera es útil para carpintería en general.

Los árboles se establecerán a una distancia de 3 x 3 metros, entre surcos y entre líneas, para aprovechar al máximo el área a reforestar y crear buenas condiciones para su desarrollo.

Se realizara rocería en los sitios donde el terreno este cubierto con rastrojo bajo, se efectuara con machete, el sobrante de la rocería se picara bien y se acumulara para que se descomponga para su posterior utilización.

El trazo de la plantación será a cuadro a una distancia de 3 metros entre surcos y 3 metros entre líneas.

El plateo del sitio marcado para el establecimiento del árbol tendrá como mínimo un diámetro de 80 cm. El hoyo se hará mediante repicado a una profundidad de 0,40 m. y el mismo ancho.

La fertilización se efectuara paralela a la plantación aplicando los respectivos fertilizantes; Para evitar una quema total de la plantación se establecerán corredores libres de maleza y de la misma plantación, los cuales servirán de vías internas o de acceso a los diferentes sitios de plantación, de igual manera se

ejercerá un control fitosanitario para detectar trozadores y otro tipo de plagas como el comején para evitar daños severos en los árboles recién sembrados y posteriormente en sus etapas de crecimiento.

Para la siembra se tendrá en cuenta el tamaño de la bolsa, además de la elaboración del hueco en el sitio de plateo, con un diámetro mínimo de 0,30 m, quitando la bolsa y aplicando el abono respectivo en el fondo del hueco. Se llevara acabo en la época invernal para garantizar su prendimiento.

Se efectuara limpias y se efectuaran dos veces por año, al inicio de la temporada de lluvias en los meses de Marzo-Abril para el primer semestre y Agosto-Septiembre para el segundo semestre. Esta práctica consiste en eliminar todas las malezas que aparecen en el periodo inicial, 0,80 m alrededor del árbol sembrado.

Se fertilizara teniendo en cuenta las siguientes aplicaciones por hectárea:

700kg. Cal Dolomitica

2 Toneladas de Abono Orgánico

150kg. De Urea

80kg. de Fosfato Diamonico

150kg de Cloruro de Potasio

Siendo el más recomendado el abono orgánico dado que la actividad principal de la zona es la ganadería. La aplicación de cualquier tipo de abono se debe realizar con el suelo húmedo.

Se realizaran podas al cabo de los cuatro y seis años de edad para darles formación y eliminar cualquier defecto; la cual se efectuara a una altura de 1,8 a 3 m con el fin de facilitar el acceso y disminuir el riesgo de incendios.

Teniendo en cuenta la densidad de plantación de la especie seleccionada se realizara el primer aclareo eliminando el 30% de árboles plantados, el segundo aclareo se efectuara a los 12 años eliminando el 40% de lo que quedo del primer aclareo dejando plantados un 42% de los plantados inicialmente.

Para la ejecución de las actividades de establecimiento y manejo silvicultural se contara con la supervisión de un Ingeniero Forestal y funcionarios de la UMATA

para garantizar el éxito en su desarrollo. La zona total a reforestar consta de 58 ha. y se ubica en la parte más accidentada del sector y en donde se encuentran generalmente la mayor cantidad de las especies nativas, cantidad que se ha visto afectada por la disminución en la densidad de la flora. Con el plan de reforestación se buscar conservar las condiciones ambientales existentes con miras a un mejoramiento a futuro de las mismas. El costo estimado por hectárea es de \$767000, la obtención de este valor se muestra en los anexos relacionados con el presupuesto del proyecto.

9. PRESUPUESTO

En este capítulo se muestran las actividades a realizar en la ejecución de la obra y sus respectivos costos. El análisis de precios unitarios utilizado para la obtención de este presupuesto se encuentra en los anexos.

| ESTRUCTURA DEL PRESUPUESTO | | | | | |
|---|---|----------------|--|------------|---------------|
| OBRA : REGULACIÓN HIDRICA | | | RESPONSABLE : LUIS SUAREZ Y FRANCISCO CALA | | |
| UBICACIÓN : FINCAS EL EDEN Y TABLEMINAS SABANA DE TORRES | | | FECHA : AGOSTO / 04 | | HOJA 1 DE 2 |
| ITEM | DESCRIPCION | UND | CANT | VALOR UNIT | VALOR PARCIAL |
| 1 | PRELIMINARES | | | | |
| 1.1 | LOCALIZACION Y REPLANTEO | m ² | 1200 | 682 | 818571.36 |
| 2 | PRESA | | | | |
| 2.1 | EXCAVACIONES | | | | |
| 2.1.1 | EXCAVACION CON MAQUINA | m ³ | 1800 | 4933 | 8880120 |
| 2.2 | COMPACTACION | | | | |
| 2.2.1 | COMPACTACION CON PATA DE CABRA | m ² | 450 | 386 | 173880 |
| 2.3 | MURO TIPO GRAVEDAD f _c = 3000psi | | | | |
| 2.3.1 | MURO DE 2.9*0.25m | m | 2 | 757040 | 1514079.253 |
| 2.4 | IMPERMEABILIZACIONES | | | | |
| 2.4.1 | IMPERMEABILIZACION MURO e= 0,05m | m ² | 9.6 | 5000 | 48000 |
| 2.5 | CANALES | | | | |
| 2.5.1 | CANAL EN MAMPOSTERIA | | | | |
| 2.5.1.1 | CANAL EN MAMPOSTERIA EN LADRILLO H15 | UND | 30 | 13134 | 394025.8404 |
| 2.6 | ACERO DE REFUERZO | UN | 40 | 8572 | 342880 |
| 3 | OBRA AUXILIAR 1 | | | | |
| 3.1 | EXCAVACIONES | | | | |
| 3.1.1 | EXCAVACION CON MAQUINA | m ³ | 750 | 4933 | 3700050 |
| 3.2 | COMPACTACION | | | | |

| ESTRUCTURA DEL PRESUPUESTO | | | | | |
|---|---|---------------------|--|---------------|------------------|
| OBRA : REGULACIÓN HIDRICA | | | RESPONSABLE : LUIS SUAREZ Y FRANCISCO CALA | | |
| UBICACIÓN : FINCAS EL EDEN Y TABLEMINAS SABANA DE TORRES | | FECHA : AGOSTO / 04 | | HOJA 2 DE 2 | |
| ITEM | DESCRIPCION | UND | CANT | VALOR UNIT | VALOR PARCIAL |
| 3.2.1 | COMPACTACION CON PATA DE CABRA | m ² | 300 | 386 | 115920 |
| 3.3 | MURO TIPO GRAVEDAD f'c= 3000psi | | | | |
| 3.3.1 | MURO DE PRESA | m ² | 2 | 842446 | 1684891.587 |
| 3.4 | IMPERMEABILIZACIONES | | | | |
| 3.4.1 | IMPERMEABILIZACION MURO e= 0,05m | m ² | 6 | 5000 | 30000 |
| 3.5 | CANALES | | | | |
| 3.5.1 | CANAL EN MAMPOSTERIA | | | | |
| 3.5.1.1 | CANAL EN MAMPOSTERIA EN LADRILLO H15 | UND | 30 | 13134 | 394025.8404 |
| 3.6 | ACERO DE REFUERZO | UN | 40 | 8572 | 342880 |
| 4 | OBRA AUXILIAR 2 | | | | |
| 4.1 | EXCAVACIONES | | | | |
| 4.1.1 | EXCAVACION CON MAQUINA | m ³ | 1125 | 4933 | 5550075 |
| 4.2 | COMPACTACION | | | | |
| 4.2.1 | COMPACTACION CON PATA DE CABRA | m ² | 450 | 386 | 173880 |
| 4.3 | MURO TIPO GRAVEDAD f'c= 3000psi | | | | |
| 4.3.1 | MURO DE PRESA | m ² | 2 | 842446 | 1684891.587 |
| 4.4 | IMPERMEABILIZACIONES | | | | |
| 4.4.1 | IMPERMEABILIZACION MURO e= 0,05m | m ² | 6 | 5000 | 30000 |
| 4.5 | CANALES | | | | |
| 4.5.1 | CANAL EN MAMPOSTERIA | | | | |
| 4.5.1.1 | CANAL EN MAMPOSTERIA EN LADRILLO H15 | UND | 30 | 13134 | 394025.8404 |
| 4.6 | ACERO DE REFUERZO | UN | 55 | 8572 | 471460 |
| 5 | REFORESTACIÓN | Ha | 58 | 767000 | 44486000 |
| 6 | RETIRO Y LIMPIEZA | gIb | | | 135000 |
| COSTO DIRECTO TOTAL | | | | | 71364656 |

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio realizado podrá ser la base para la elaboración de estudios similares en zonas aledañas a la población de Sabana de Torres con miras a la recuperación ambiental mediante la regulación de los recursos hídricos y la redistribución del uso del suelo según su vocación, teniendo en cuenta que en la cantidad de agua precipitada en la zona es relativamente alta lo que permitiría realizar obras de almacenamiento en sectores con características similares aplicando no los resultados puntuales, si no los mecanismos mostrados para su obtención.

Se recopiló la información necesaria para realizar el estudio hidrológico de la microcuenca y así se logró estimar la cantidad de agua disponible que permitió el diseño de las estructuras hidráulicas que mejorarán la regulación del agua en el sector.

Se realizaron los estudios topográficos, hidrológicos, hidráulicos, y de suelos que permitieron el conocimiento detallado de la zona; con base en esto y con los requerimientos planteados por los dueños de los predios se planteo la construcción de tres pequeñas presas que permitirán mejorar la regulación del agua y así aumentar las condiciones de productividad de la zona

Se elaboró el presupuesto de los costos del proyecto, mostrando viabilidad para las personas interesadas, pues la inversión es mínima para los beneficios que los dueños de los predios piensan obtener a corto y mediano plazo, al garantizar reservas de agua para los periodos de sequía al ser estos una de las causas en la disminución en la producción.

Actualmente el uso del suelo es netamente agropecuario con zonas de productividad muy bajas, por consiguiente se propone a los dueños de los predios

una nueva distribución del uso del suelo, en tres zonas muy bien definidas:

1. Reforestación natural, correspondiente al 18,77% (58 Ha).
2. Recuperación para la conservación de fuentes y cauces, correspondiente al 11% (34 Ha).
3. Producción agropecuaria, correspondiente al 70.23% (217 Ha).

Esta distribución se puede observar en los planos; esta distribución se realiza buscando la reforestación y conservación de ciertos sectores que no están aportando mayor productividad y por el contrario permitirán el mejoramiento de la situación ambiental de la zona .

Se recomienda especial control sobre la reforestación en la rivera de los caños y canales, para que esta funcione como cercado natural y a su vez permita el mejoramiento de las condiciones naturales existentes.

Se recomienda ejercer un control sobre el acceso de los animales de pastoreo a los sitios de embalse buscando no generar daños en las estructuras diseñadas.

Se aconseja ejercer un control periódico de la cantidad de sedimentos presentes, dado que a pesar que el cálculo los indica pequeños se pueden remover periódicamente de forma manual gracias a la poca magnitud de los embalses.

Se propone la búsqueda de financiación para los proyectos de reforestación, debido a su alto impacto social y gran beneficio para los habitantes de las zonas aledañas al proyecto.

Se aclara que el nivel de riesgo en el diseño de las obras hidráulicas es del 55% y los estudios realizados son para mostrar viabilidad en el desarrollo del proyecto.

11. BIBLIOGRAFÍA

DEPARTMENT of the interior U.S. Diseño de Pequeñas Presas. Editorial CECSA. México, 1966.

JUÁREZ, Eulalio y RICO, A. Mecánica de Suelos. 3^a Edición. Editorial Limusa. México, 1977.

MATERÓN, Hernán. Obras Hidráulicas Rurales. Editorial Universidad del Valle. Santiago de Cali, 1997.

MIJARES, Francisco. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa. México, 2001.

URIBE, Jaime. Plan de establecimiento y Manejo Forestal. Bucaramanga, 2002.

VEN, Te Chow. Hidráulica de Canales Abiertos. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá, 1994

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente. Ley 400 de 1997. Decreto 33 de 1998

NILSON, Arthur, Diseño de Estructuras de Concreto, Editorial Mc Graw Hill. Bogotá, 1999. .

12. ANEXOS

1. PLANO TOPOGRÁFICO
2. PLANOS DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS
3. PLANO DE REDISTRIBUCION DEL TERRENO.
4. PLANO ESTRUCTURAL

Nota: los anexos están en la carpeta llamada anexos