

**REVISIÓN Y REPLANTEO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO EN LA QUEBRADA
PALMICHALA MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, SANTANDER EN PREDIOS DE
LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

JUAN SEBASTIAN ARAQUE HERRERA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**REVISIÓN Y REPLANTEO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO EN LA QUEBRADA
PALMICHALA MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, SANTANDER EN PREDIOS DE
LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

JUAN SEBASTIAN ARAQUE HERRERA

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

DIRECTOR TRABAJO DE GRADO

Juan Carlos Forero Sarmiento

Ing. Civil. M.Sc en Ing. Civil - Recursos Hídricos

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Bucaramanga, Marzo del 2014

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	11
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE ESTUDIO	15
4.2. MORFOMETRIA DE LAS CUENCAS	15
4.3. CLIMA	16
4.4. CAUDAL DE DISEÑO.....	20
4.5. SELECCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO	20
4.6. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	21
4.7. MÉTODO RACIONAL.....	22
5. METODOLOGÍA Y DESARROLLO	26
5.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS	26
5.2. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	28
5.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO ACORDE A LAS NECESIDADES ACTUALES Y FUTURAS	30
5.4. REPLANTEO Y LOCALIZACIÓN DEL LUGAR DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE AFORO	32
5.5. SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO.....	33
5.6. CALCULO DE MATERIALES Y PRESUPUESTO DE MATERIALIZACIÓN DEL PROYECTO	40
6. RESULTADOS	42
7. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES	45
8. CONCLUSIONES	46
9. Bibliografía	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del rio Lebrija	9
Figura 2. Quebrada Palmichala campus Universidad Pontificia Bolivariana.....	10
Figura 3. Quebrada Palmichala y Quebrada Mensulí	14
Figura 4. Temperatura promedio mensual estación UPB	15
Figura 5. Precipitación media mensual multianual estación UPB	16
Figura 6. Precipitación media mensual multianual estación la esperanza.....	17
Figura 7. Precipitación media mensual multianual estación granja - Piedecuesta	17
Figura 8. Diseño hidráulico en el software WINFLUME año 2005	24
Figura 9. Detalle de las secciones transversales en cada zona del aforador.....	25
Figura 10. Coeficiente rugosidad concreto para la estructura	26
Figura 11. Gradiente hidráulico, metodología de calculo, máximo flujo	27
Figura 12. Borde libre mínimo requerido	27
Figura 13. Perfil longitudinal estructura	28
Figura 14. Sección transversal zona de captación	29
Figura 15. Sección transversal zona de control	29
Figura 16. Sección transversal zona de descarga	29
Figura 17. Reporte evaluación parámetros de diseño	30
Figura 18. Localización lugar de construcción de la estructura de aforo	31
Figura 19. Sección transversal estación 60	32
Figura 20. Sección transversal estación 54,2	32
Figura 21. Sección transversal estación 52,7	33

Figura 22. Sección transversal estación 49,2	33
Figura 23. Sección transversal estación 49,19	34
Figura 24. Sección transversal estación 47,19	34
Figura 25. Perfil general a flujo de diseño, intervención secciones transversales	35
Figura 26. Perfil general en perspectiva a flujo de diseño, intervención secciones transversales	36
Figura 27. Grafica de calibración estructura de aforo	39
Figura 28. Simulación en 3D de la estructura de aforo.....	41
Figura 29. Perfil longitudinal estructura de aforo definitiva	42
Figura 30. Vista superior interna estructura de aforo	42
Figura 31. Vista lateral izquierda interna estructura de aforo.....	43
Figura 32. Vista lateral derecha interna estructura de aforo	43
Figura 33. Vista isométrica estructura de aforo y obras complementarias ...	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información de estaciones hidrológicas IDEAM	15
Tabla 2. Características principales de las microcuencas.....	18
Tabla 3. Caudales de diseño Tr 50 años.....	19
Tabla 4. Dimensiones de la estructura de aforo año 2005.....	25
Tabla 5. Dimensiones de la estructura de aforo	28
Tabla 6. Velocidades del flujo en el canal según caudales.....	37
Tabla 7. Altura del flujo en estación 60 con respecto a los caudales.....	38
Tabla 8. Presupuesto de obra	40

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A: Archivos software Auto-Cad**
- Anexo B: Archivos software Excel**
- Anexo C: Archivos software HEC-RAS**
- Anexo D: Archivos software Winflume**

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: REVISIÓN Y REPLANTEO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO EN LA QUEBRADA PALMICHALA MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, SANTANDER EN PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

AUTOR: JUAN SEBASTIAN ARAQUE HERRERA

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Juan Carlos Forero Sarmiento

RESUMEN

El presente proyecto realizo el replanteo y rediseño de la estructura de aforo a construirse en la quebrada Palmichala, localizada al oriente de los predios de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Teniendo como fuentes informativas estudios hidrológicos e hidráulicos previos, cuyos objetivos convergen directa o indirectamente con el presente proyecto y la aplicación de software tales como Winflume, HEC-RAS y otros.

Las estructuras de aforo proveen una solución práctica, económica y segura para la medición y monitoreo de una cuenca y quebrada en particular. Por medio del diseño en el software Winflume, se adaptó y diseñó una estructura única, conforme a las necesidades y requerimientos arrojados por los estudios previos.

Palabras clave: Aforo, Caudal, Cuenca.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: REDESIGN THE GAGING STRUCTURE IN PALMICHALA'S CREEK LOCATED AT FLORIDABLANCA, SANTANDER ON PREMISES OF PONTIFICIA BOLIVARIANA UNIVERSITY

AUTHOR: JUAN SEBASTIAN ARAQUE HERRERA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Juan Carlos Forero Sarmiento

ABSTRACT

This project was conducted to rethink and redesign the spillway structure to be built in the Palmichala creek, located at the east of the campus of the Bucaramanga Pontificia Bolivariana University. Taking as information sources prior hydrologic and hydraulic studies, whose objectives converge directly or indirectly with this project and software application such as WinFlume, HEC-RAS and others.

The spillway structures provide a convenient, economical and safe solution for the measurement and monitoring of a particular watershed and creek. Through the design in software WinFlume, was adapted and designed a unique structure, in accordance with the needs and requirements shown by previous studies.

Key word: drainage basin, caudal, gaging.

INTRODUCCIÓN

La historia de la humanidad se ha visto ligada indiscutiblemente con el uso, aprovechamiento y optimización de los recursos necesarios para su evolución. Fue la revolución agrícola una de las principales razones para el origen de los primeros pueblos sedentarios, al desarrollar el hombre la habilidad de explotar las tierras por medio de cultivos estables o cíclicos. Dando así, un paso de gran importancia para la historia de la sociedad, al originarse poblaciones constantes entorno a cualquier clase de fuente hídrica.

El crecimiento poblacional y por ende el de sus necesidades de abastecimiento, trajo consigo el aumento de sus capacidades de producción, generando la expansión de los cultivos y creando la necesidad de transportar el agua para realizar los respectivos riegos de manutención surgen así pues los canales artesanales. Es allí donde la ingeniería hidráulica hace aparición en la historia de la humanidad, adaptando un modelo de aprendizaje constructivista, donde las experiencias in situ, la retroalimentación entre pares y la generación de soluciones a las problemáticas se efectuaron por medio de metodologías prueba y error.

Aprendió así el hombre a suplir las necesidades para su supervivencia, pero paralelamente se desencadenarían eventos hidrológicos donde el hombre vio la necesidad no solo de transportar el agua si no a su vez de controlarla, es allí donde el campo investigativo ingenieril se abre a la humanidad, creando estructuras de control las cuales garantizarían condiciones de seguridad con sus colindantes.

Hoy en día, el desmesurado abuso de este recurso hídrico no renovable, ha llevado a la aplicación de un desarrollo sostenible y a la investigación ardua en los campos de la hidrología, la hidráulica y la hidrogeología. Siendo estos argumentos la base para el presente proyecto integrador, por el cual se rediseño y reevaluó una estructura de aforo optima la cual es parte de la iniciativa de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga por conocer el comportamiento de sus cuencas hidrográficas aledañas.

Se realizaron todos los procesos de investigación, modificación y rediseño necesarios para el alcance del objetivo del presente proyecto, logrando el replanteo y la propuesta constructiva de la estructura de aforo para la medición de los caudales de la quebrada Palmichala.

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La micro cuenca Palmichala se encuentra localizada en la subcuenca de Rio Frio, la cual a su vez hace parte de la cuenca del Rio de Lebrija.

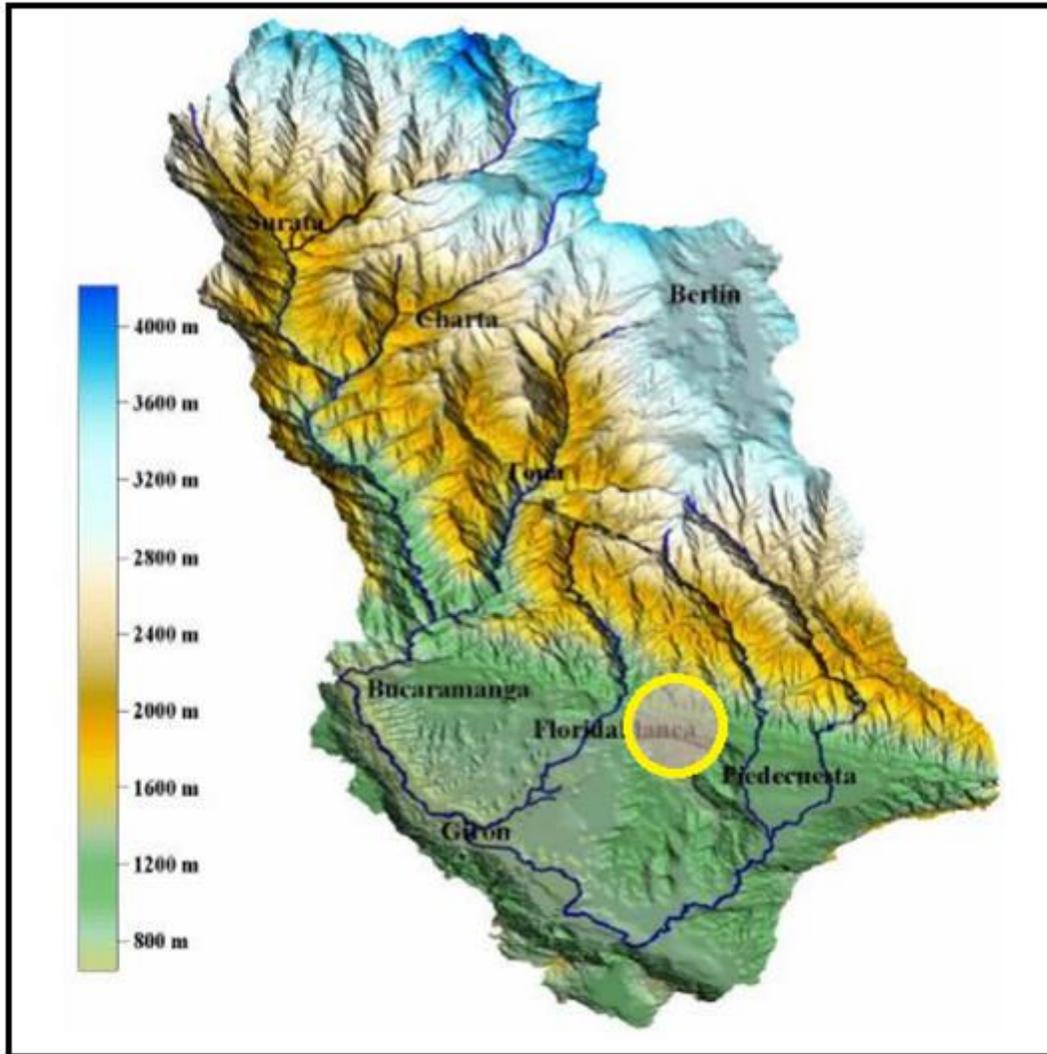


Figura 1. Cuenca del Río de Lebrija

Fuente: Proyecto de Investigación Geológica e Hidrogeológica en la Región Central del Departamento de Santander. UIS 2007.

La extensión que comprende el Río Frio es de 11.900 Ha, situada en la parte sur de la cuenca del Río Lebrija. El clima que comprende este sector es un clima medio. A nivel de relieve se diferencian dos sectores uno montañoso en la parte oriental y en la occidental uno suave, conteniendo así las denominadas “mesas”, separados a su vez por la falla de Bucaramanga la cual atraviesa los cascos

urbanos de municipios tales como: Rionegro, Bucaramanga, Piedecuesta y Floridablanca. Quebradas como la Mensulí y Palmichala están situadas al final de dicho sector montañoso vertiendo sus aguas sobre los valles.

El campus Universidad Pontificia Bolivariana está ubicado al occidente del Valle de Mensulí, siendo este una importante depresión topográfica situada entre Piedecuesta y Floridablanca y al oriente por laderas del Macizo de Santander. En las partes bajas del dicho macizo es donde nace y se desarrolla la micro cuenca de la Quebrada Palmichala comprendida por dos grandes sectores: el sector de cabeceras que se extiende sobre la pendiente en el Macizo Santander la cual es la cuenca receptora de aguas y el sector que ocupa la parte del valle de Mensulí con pendiente montañosa y particularmente cubierto de depósitos de materiales provenientes del Macizo Santander¹.

En la siguiente figura se observa la ubicación de la Quebrada que será objeto de estudio del proyecto subrayada con color amarillo.

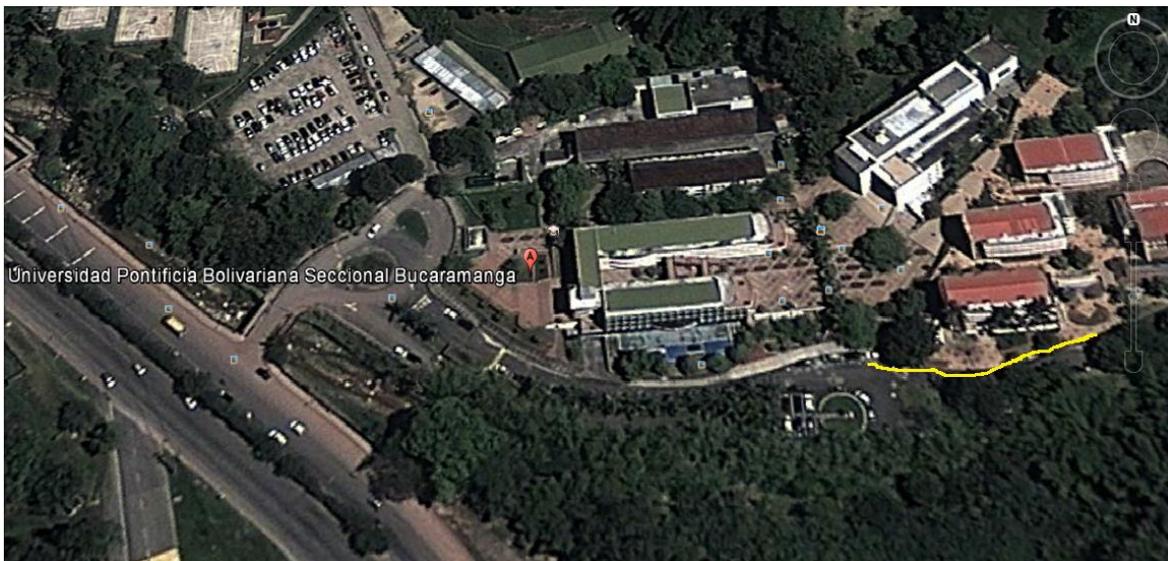


Figura 2. Quebrada Palmichala Campus Universidad Pontificia Bolivariana.
Fuente: Google Earth 2014.

¹ GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 12,13 p.

2. JUSTIFICACIÓN

Para la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, se hace de vital importancia conocer el comportamiento de los afluentes con los que limita, puesto que las variaciones de estos, afecta temporal o permanentemente las zonas aledañas a sus pasos, provocando eventos de emergencia tales como inundaciones y socavación de laderas.

La implementación de la estructura de aforo del presente proyecto permite conocer los caudales de la corriente de agua en una sección determinada, con lo cual se pueden identificar comportamientos de la cuenca donde se esté aplicando la estructura. El desarrollo de esta micro cuenca experimental permitirá la creación de un espacio integral para la práctica académica, creando procesos de investigación y recopilación de datos sobre el afluente de estudio en tiempo real.

Mediante la articulación de la estructura de aforo en la quebrada Palmichala del presente proyecto, la estación pluviográfica de la UPB ubicada en sus instalaciones y la estación de aforo tipo radar, adquirida por la universidad en el presente año la cual monitorea el comportamiento de la quebrada Mensuly, se abre un espacio de investigación donde convergen varias ramas de la ingeniería, tales como la hidrología, la hidráulica y la hidrogeología, gracias a la correlación de datos como, la variación de caudales temporales, la relación entre lluvia y escorrentía y caracterización de sedimentos entre otros.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Replanteamiento y propuesta constructiva de la estructura de aforo diseñada para la medición de caudales en la quebrada Palmichala

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluación de los estudios previos efectuados en la zona de proyecto y definición de los parámetros de diseño de la estructura de aforo.
- Diseñar la estructura de aforo que supla las necesidades del estado actual y futuro de la quebrada Palmichala
- Replanteo y localización del lugar de construcción de la estructura conforme a la morfología de la quebrada Palmichala.
- Simulación de las condiciones de trabajo de la estructura de aforo mediante el programa HEC-RAS.
- Realizar los procedimientos de cálculo de materiales y presupuesto para materialización del presente proyecto.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE ESTUDIO

La microcuenca o bien dicho sector hídrico de la Quebrada Palmichala comprende dos sectores, el primero de cabeceras que recorre las laderas muy altamente pendientes del macizo Santander y el segundo el cual comprende la parte del valle de Mensulí. En la parte de cabeceras se aprovecha la alta pendiente longitudinal para drenaje del macizo Santander, disminuyendo de pendiente en el valle de Mensulí siendo continuamente alta hasta desembocar en la Quebrada Mensulí.

En la parte del sector de cabeceras sus líneas de drenaje son las que fluyen de oriente a occidente hasta las partes bajas con una pendiente alta longitudinalmente descendiendo así sobre los causes en los que afloran grandes bloques rocosos. Para la parte del tramo de media montaña posee condiciones adecuadas para que ocurra una amortiguación y disminuya los desastres naturales, ya en el fondo del valle de Mensulí².

Los tramos existentes en las instalaciones del campus universitario UPB, por parte de la Quebrada palmichala continua un recorrido con pendiente alta, comenzando un trazado en línea recta, y luego con un tramo de meandros que termina en la confluencia de la quebrada Mensulí.

4.2. MORFOMETRIA DE LAS CUENCAS

La quebrada Palmichala, posee un área de 14 ha, con una elevación de su corriente principal de 1520msnm y un recorrido de longitud de 2654 m hasta llegar a un nivel de 970 msnm en donde hace su desembocadura en la quebrada Mensulí³.

² GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 17 p.

³ GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 19 p.

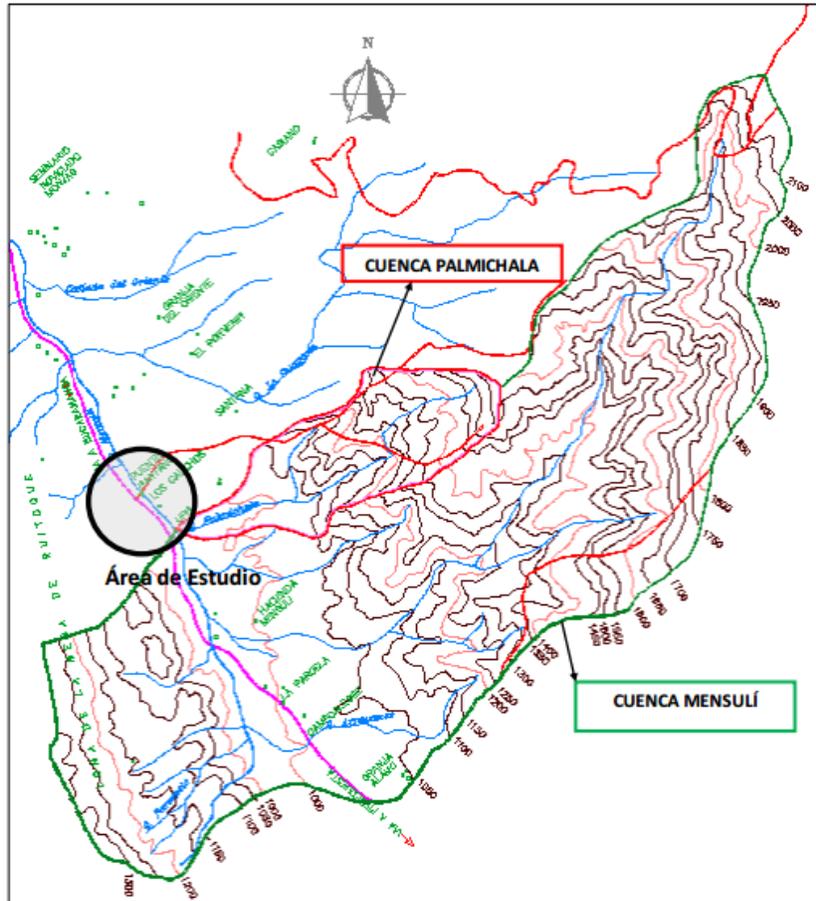


Figura 3. Quebrada Palmichala y Quebrada Mensulí.
Fuente: Estudio de Ballesteros, Quiroga Y Forero.

4.3. CLIMA

La quebrada Palmichala se encuentra entre cotas de 1520 msnm y 970 msnm, donde la temperatura promedio es aproximadamente 23 °C la cual cumple con las características de un clima templado; similar al que presenta la quebrada Mensulí dada a su semejanza y cercanía.

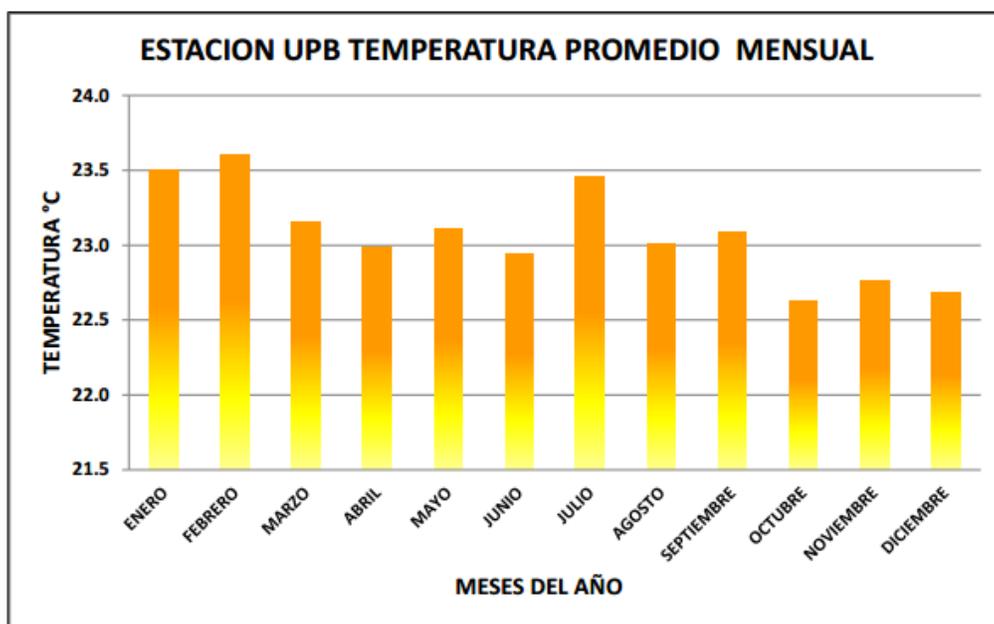


Figura 4. Temperatura promedio mensual estación UPB.
Fuente: Estudio hidrológico, hidráulico y geotécnico de Diego Guzmán.

Para identificar el clima de la zona de interés se utilizó la información proporcionada por la estación meteorológica del IDEAM localizada en el municipio, aledaña al proyecto; la localización de las estaciones y sus descripciones respectivas se encuentran contenidas en la siguiente tabla:

CODIGO	TE	ESTACION	SUBCUENCA	MUNICIPIO	N	W	ELEV	F INS
2319070	PG	GRANJA PIEDRECUESTA	LATO	PIEDRECUESTA	07° 00	73° 05	1000	1970-07
NA	PG	LA ESPERANZA	RIO FRIO	FLORIDABLANCA	07°04	73°04	1035	1987
NA	PG	UPB	RIO FRIO	FLORIDABLANCA	07°02	73°04	1005	2009

Tabla 1. Información de estaciones Hidrológicas IDEAM.
Fuente: Registros hidrológicos del IDEAM.

Dado al poco registro de precipitación presente por la estación más cercana al área de estudio, siendo esta la estación UPB, se tomaran como base del análisis los registros de las otras estaciones a modo de hacer valida la información.

La micro cuenca de Mensulí sigue un régimen bimodal, para su distribución de lluvias anuales; con un periodo húmedo entre los meses de abril a mayo, extendiéndose a mediados de junio, y otro desde finales de septiembre hasta

noviembre; extendiéndose hasta los primeros días de diciembre en casos de años húmedos⁴.

En una gráfica de comportamiento anual de la precipitación el eje vertical corresponde a la precipitación promedio anual en milímetros y el horizontal a los meses del año, representándose así en un diagrama de precipitación media mensual multianual.

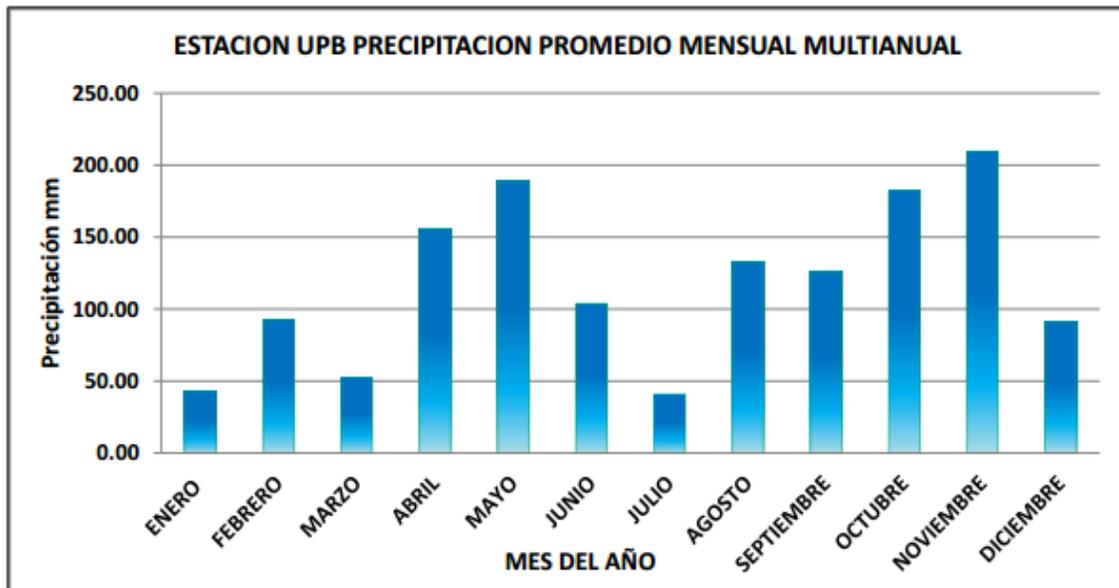


Figura 5. Precipitación media mensual multianual estación UPB.
Fuente: Estudio hidrológico, hidráulico y geotécnico de Diego Guzmán

Se realizó un análisis comparativo entre las estaciones cercanas a la estación UPB a modo de seleccionar la que cumpla con las características similares a los registros de precipitaciones de esta, con el fin de generar validez y seguridad a las estructuras a diseñar. No se utilizaran los datos arrojados por dicha estación ya que esta no cuenta con un registro histórico lo suficientemente amplio para predecir a través de un análisis estadístico los caudales de diseño para las estructuras. Tras el análisis de los diagramas se seleccionó la estación de la esperanza coincidiendo esta en los meses más y menos lluviosos durante el año, presentando una menor distancia entre sí.

⁴ GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 20,21,22,23 p.

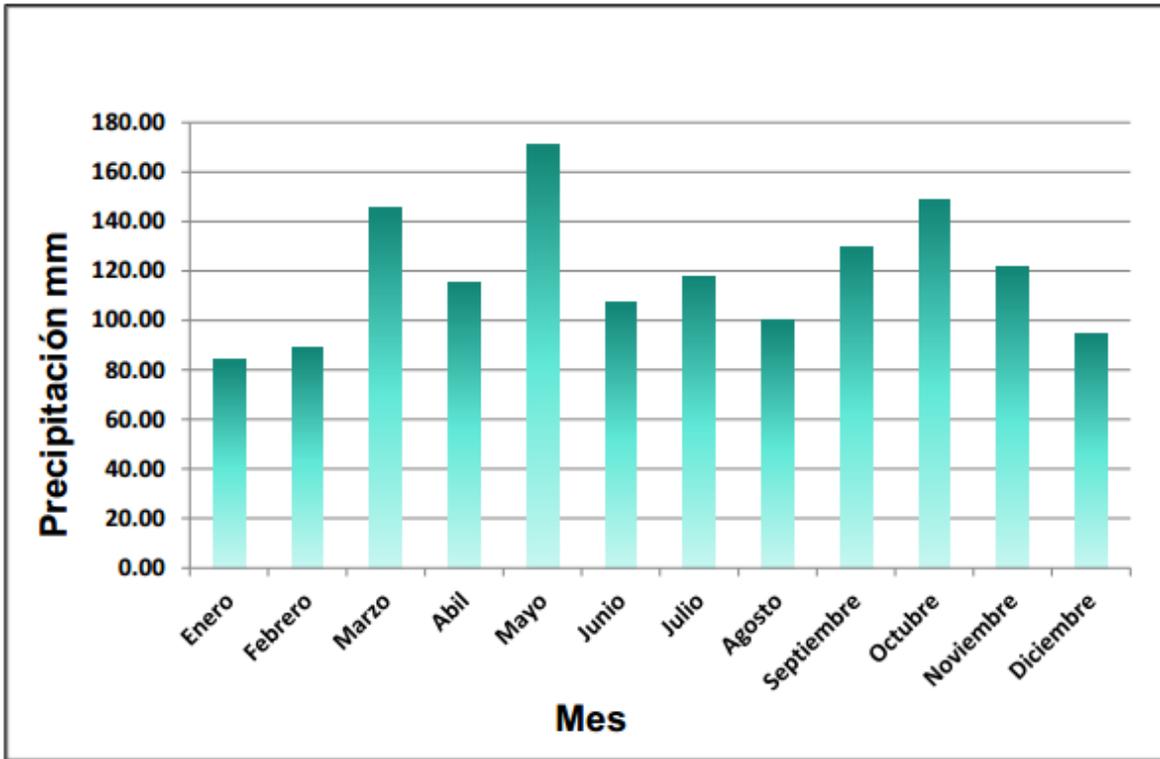


Figura 6. Precipitación media mensual multianual estación la esperanza.
Fuente: Estudio hidrológico, hidráulico y geotécnico de Diego Guzmán

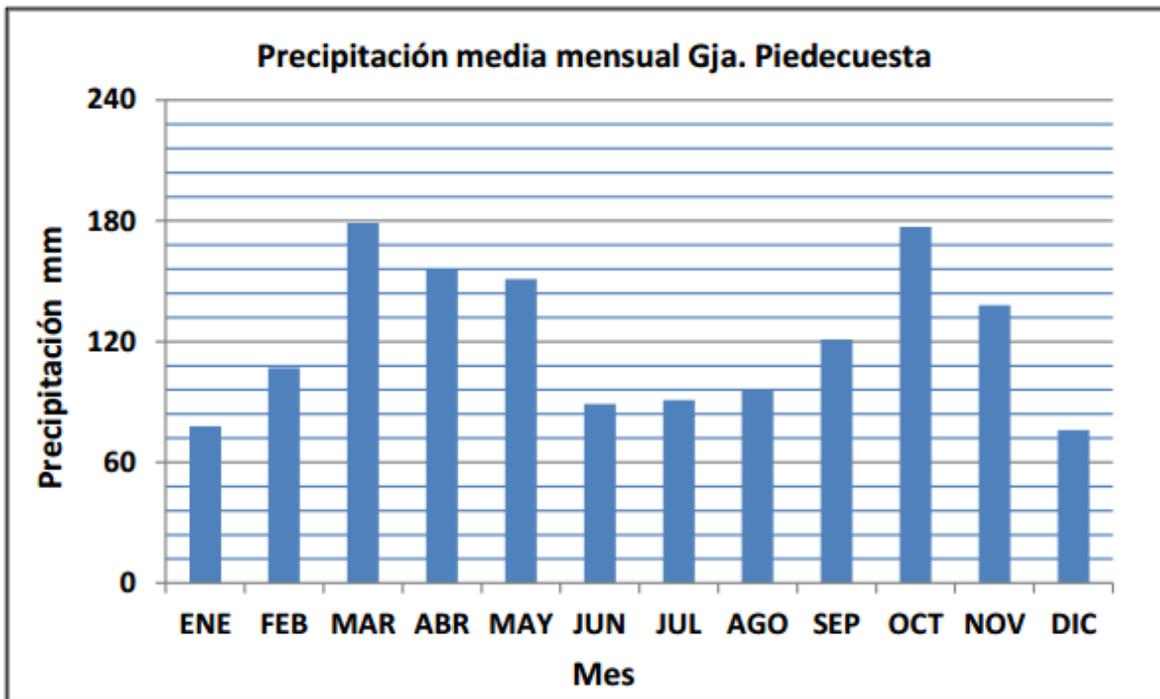


Figura 7. Precipitación media mensual multianual estación granja- Piedecuesta.
Fuente: Estudio hidrológico, hidráulico y geotécnico de Diego Guzmán

4.4. CAUDAL DE DISEÑO

El caudal es un parámetro determinante para el diseño de las estructuras así como la comprensión de la variabilidad de la escorrentía y su dinámica, para generar un hidrograma de caudal se tuvo en cuenta varios aspectos tales como: precipitación, área de las micro cuencas, obtener la intensidad de la lluvia para periodos de retorno de 50, 00 y 500 años, emplear ecuaciones como la de Retardo del SCS para obtener el tiempo de concentración respectivo, porcentajes de aras impermeables, curva número CN para usos y clases de suelos, factor de abstracción... entre otros con el fin de obtener el caudal pico, a través del método 484 SCS tipo 1⁵.

Las características de cada micro cuencas tras el análisis hidrológico están representados en la siguiente tabla:

Característica	Unid.	Mensulí	Palmichala
Área	ha	1086.7	140.6
Longitud del cauce principal	km	6.91	2.65
Pendiente media de la cuenca	m/m	0.43	0.53
Pendiente media del cauce principal	m/m	0.04	0.07
Tiempo de concentración T_c	min	70	25
CN (número de curva)		64	81

Tabla 2. Características principales de las microcuencas.
Fuente: Estudio hidrológico, hidráulico y geotécnico de Diego Guzmán

Tras la selección del caudal de diseño el cual se define a partir de diferentes factores tales como: del periodo del retorno escogido, la magnitud de la obra a emprender y el periodo de vida útil que se necesite. Su importancia radica ya que en base de él se define la cota de inundación y la profundidad de socavación, esto es bajo el supuesto de un flujo de creciente estable y permanente, teniendo el cuidado necesario ya que dentro de los planes a futuro de la universidad de encuentra el de la expansión de su campus a predios cercanos a los límites de la quebrada de Mensulí.

4.5. SELECCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno T_r en un evento hidrológico está definido como el intervalo medio de tiempo en el cual existe la posibilidad de que se produzca un evento igual o mayor al fijado. La selección del mismo se basa en función de la probabilidad o riesgo de que la variable estimada sea en algún periodo de análisis de n años superior.

⁵ GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 25p.

Para un evento de inundación la estimación del periodo de retorno de diseño depende del grado de seguridad que se solicita la comunidad y resiliencia ante las inundaciones, a su vez del comportamiento de todas las precipitaciones presentes sean en forma de recurrencia anual y de intensidad, de los caudales, los eventos causados por el exceso del caudal para la capacidad de las obras existentes y todo el factor económico que genera dichas consecuencias⁶.

4.6. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración se conoce como el periodo de tiempo mínimo para que se alcance el caudal máximo de salida de la cuenca⁷.

Para calcular el caudal de diseño a través del método racional se hace uso de las curvas IDF, y la suposición de la duración del evento de precipitación que en este caso será igual al tiempo de concentración para un sistema de alcantarillado de aguas lluvias, se calcula con la siguiente formula:

Federal Aviation Administration (1970)

$$t_c = 1.8 \times (1.1-C) \times L^{0.5} / S^{0.33}$$

t_c = Tiempo de concentración (min).

L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (pies).

S = Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red.

C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional).

California Culverts Practice (1942)

$$t_c = 60 \times \left(11.9 \times \frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

t_c = Tiempo de concentración (min).

L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (mi).

H = Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (pies).

Kirpich (1940)

$$t_c = 0.0078 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Dónde:

t_c = Tiempo de concentración (min).

L = Longitud máxima de flujo de escorrentía s

S = Pendiente promedio entre el punto más red.

Opcionalmente se puede calcular:

$$T_c = t_e + t_t$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (min).

⁶ GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 28 p.

⁷ GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 29 p.

Federal Aviation Administration (A)

$$t_e = \frac{0.707 \times (1.1 - C) \times L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{3}}}$$

Dónde:

t_e = Tiempo de entrada (min).

C = Coeficiente de impermeabilidad (adimensional).

L = Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).

S = Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red.

Tiempo de recorrido

$$t_t = \frac{L}{60 \times v}$$

Dónde:

t_t = Tiempo de recorrido (min).

L = Longitud de la tubería o tramo de red (m).

v = Velocidad media del flujo (m/s).

4.7. MÉTODO RACIONAL

El método racional es el método más conocido en la hidrología gracias a su fácil aplicación y que los parámetros a emplear son asequibles y los resultados que arroja son aproximados si de cuencas pequeñas se trata⁸.

El método TEMEZ o racional modificado supone que el caudal máximo es el que es generado por la lluvia cuya duración es igual al tiempo de concentración, con un coeficiente de uniformidad K, en función de dicho tiempo.

El método del hidrograma de la soil conservation service o SCS, también denominado “numero de la curva” se divide en dos partes la primera es donde se estima el volumen de escorrentía que resulta de la precipitación y el segundo donde se estima el tiempo de distribución dicho escurrimiento incluyendo el caudal de punta.

El método del hidrograma unitario sintético, se emplea para determinar el caudal producido por una precipitación en una cuenca hidrográfica determinada. De este proceso de lograron obtener el caudal pico relacionado en la siguiente tabla el cual se selecciona con un Tr de 50 años.

⁸ GUZMAN A. DIEGO FERNANDO. 2013 ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVIERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA- MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER. Tesis estudio. Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 37,38,39p.

Tr 50 años		
METODO	Q. PALMICHILA (m3/seg)	Q. MENSULI (m3/seg)
Racional	21.0	84.0
Temez	8.1	68.8
SCS	28.0	78.4
Snyder	13.5	73.7
USBR	31.8	143.3

Tabla 3. Caudales de diseño Tr 50años.

Fuente: Estudio hidrológico, hidráulico y geotécnico de Diego Guzmán

Con respecto a una historia del arte existe la validación de la metodología de experimentación hidrológica en cuencas o áreas experimentales al aire libre la cual ha sido consolidada por diferentes entidades a nivel internacional tales como el National Research Council de los Estados Unidos y el CEMEAGREF de Francia; en países tales como: Japón, Cuba, Portugal, Argentina, Perú, Venezuela y China se han hecho investigaciones similares.

Comprendiendo que una microcuenca experimental es un escenario de investigación, esto es, un laboratorio a una escala real, donde se analizan diferentes fenómenos del medio natural. Es por esto que se presenta a continuación una serie de acumulación de información acerca de las investigaciones realizadas a lo largo de la historia:

✓ ARIZONA WATERSHED PROGRAM

El programa se inicia en 1930 por el USDA el cual tiene por objeto aumentar la productividad hídrica de las cuencas hidrográficas del estado de Arizona. En este programa fueron objeto de estudio dos microcuencas: Sierra Ancha y Beaver Creek.

Se han desarrollado estudios a largo y corto plazo en la región de bosques de Sierra Ancha, dentro de los estudios a corto plazo, están aquellos orientados a investigar todas las relaciones ecológicas e hidrológicas de diferentes comunidades forestales, las cuales son base de estudios a largo plazo guiados a evaluar la respuesta en cuanto al rendimiento hídrico de las cuencas frente a los diversos cambios por parte de la cobertura vegetal⁹. Para estas cuencas se ha desarrollado una metodología de clasificación en base a la precipitación,

⁹ Méndez G. José C. Redondo R. Javier E.. 2005 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO DE CAUDALES EN LA MICROCUENCA EXPERIMENTAL DE LA QUEBRADA PALMICHALA. Tesis . Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 15, 16 p.

evapotranspiración y rendimiento hídrico. Un estudio realizado fue mediante el cual se promovía el cambio de rastrojos de raíz corta para sustituir los de raíz profunda, con el cual el consumo de agua era notoriamente mayor. Probando también diferentes métodos para el control de rastrojos, incluyendo la implementación de herbicidas y quemas controladas.

Por parte de las investigaciones a largo plazo se ha realizado especial énfasis en el uso de lisímetros y en la elaboración de equipos de instrumentación orientados a la medición del uso consuntivo (no es más que la evapotranspiración real) para una cuenca o cierta parte de ella. Como resultado de dichas investigaciones se desarrolló el lisímetro de base (rock base lysimeter) adoptado por el USDA y el SCS en todo el territorio americano.

Los resultados pueden consultarse en la siguiente dirección electrónica: <http://ag.arizona.edu/OALS/watershed/sierraancho/satreatments.html>.

✓ **MICRO CUENCA EXPERIMENTAL DE CASPAR CREEK, CALIFORNIA, USA**

Esta microcuenca experimental se trata de un proyecto cuyo fin es investigar los efectos de la construcción de vías y extracción de las maderas sobre el régimen hidrológico cuantitativo de una cuenca¹⁰.

Los resultados pueden consultarse en la siguiente dirección electrónica:

www.fs.fed.us/psw/publications/lisle/Lisle79.pdf#

✓ **SOUTH WEST WATERSHED EXPERIMENTAL PROGRAM**

Este programa es desarrollado también para el estado de Arizona, con la supervisión del USDA – ARS (Agricultural Research Service). Dicha investigación está basada en la información de una cuenca experimental de unos 150 km², llamada Walnut Gulch, con cerca de unos 100 pluviómetros digitales a lo largo de su recorrido, 30 limnigrafos, 8 estaciones de registro de sedimentos de suspensión y de fondo, y por último 3 estaciones climatológicas completas. Dicha información ha sido analizada y recopilada desde el año 1957¹¹.

¹⁰ Méndez G. José C. Redondo R. Javier E.. 2005 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO DE CAUDALES EN LA MICROCUENCA EXPERIMENTAL DE LA QUEBRADA PALMICHALA. Tesis . Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 15 p.

¹¹ Méndez G. José C. Redondo R. Javier E.. 2005 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO DE CAUDALES EN LA MICROCUENCA EXPERIMENTAL DE LA QUEBRADA PALMICHALA. Tesis . Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 15, p.

Este programa es pionero en la utilización de un equipo hidrológico electrónico de punta y última generación, tales como lo son los simuladores de lluvia programables y de una intensidad variable, canales de flujo supercríticos totalmente instrumentados y unos muestreadores de sedimentos acompañada de una estación pluviográfica electrónica.

✓ **MICROCUENCA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE DELAWARE**

Para este programa se analizan los diferentes intereses que en materia de recursos hídricos posea la Universidad de Delaware en Estados Unidos; debe anotarse que también existen microcuencas experimentales en otras universidades tales como Cornell (en consorcio con la Universidad de Siracusa), Michigan State University, Pennsylvania State University, Shippensburg University, University of California – San Diego, y Williams College en el estado de Massachussets.

Para unos objetivos específicos por parte de la Universidad de Delaware se encuentran el desarrollo de una metodología para la evaluación y caracterización del estado (la salud, health en ingles) de una microcuenca, en base a todos los registros existentes y un análisis de cuatro parámetros básicos; las condiciones del hábitat, la cobertura impermeable, la calidad del agua y el uso del suelo¹².

La universidad ha sido la encargada de la instrumentación de la microcuenca y de todos los servicios de meteorología estatales y federales. A su vez tiene diseñado e implementado en su totalidad un curso de investigación de las microcuencas, con un programa y formatos ya establecidos como parte del montaje de la microcuenca, para el cual se diseñó un procedimiento en ArcView titulado “el método de los cuatro pasos para mapeo de microcuencas”, que puede ser usado para establecer mapas de otras cuencas hidrográficas.

¹²Méndez G. José C. Redondo R. Javier E.. 2005 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO DE CAUDALES EN LA MICROCUENCA EXPERIMENTAL DE LA QUEBRADA PALMICHALA. Tesis . Univ. Pontificia Bolivariana, Fac. Ing. Civil. Col. 15, 16 p.

5. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Siendo la investigación un pilar fundamental para la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, por la cual esta misma ha resaltado en el campo científico y académico, concibiendo grandes aportes al conocimiento y siendo así, este punto, un jalonamiento del conocimiento estudiantil integral, el presente proyecto se direccionó en la investigación, recopilación y fundamentación de todo aspecto concerniente directa o indirectamente al objetivo general del presente propuesta.

Los resultados del presente proyecto, se encaminan en tres ejes de desarrollo metodológico fundamentales, los cuales acogen a cada uno de los objetivos específicos planteados y desenvuelven la metodología de estudio propuesta, aplicando los procesos de investigación, recopilación y optimización de estudios y diseños.

5.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS

Se procedió en primera instancia a la recopilación de toda la documentación realizada en el año 2005 por los Ingenieros Civiles José C. Méndez G. y Javier E. Redondo R. proyecto que llevaba por nombre “*DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO DE CAUDALES EN LA MICROCUEENCA EXPERIMENTAL DE LA QUEBRADA PALMICHALA*” por el cual se propuso una primera estructura de aforo a desarrollar.

Logrando obtener todos los estudios concernientes a dicha investigación se procedió a su análisis, teniendo como base el estudio de suelos realizado, la visita a campo y verificación del levantamiento topográfico realizado y por sobre todo el diseño en el software Winflume el cual dio la primera pauta para el diseño hidráulico de la estructura.

La estructura previa fue diseñada en base a un caudal de $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$ con un tiempo de retorno [Tr] de 20 años, datos con los que se procedió a la realización del modelo hidráulico de la estructura gracias al software WinFlume, apreciable en la figura 8.

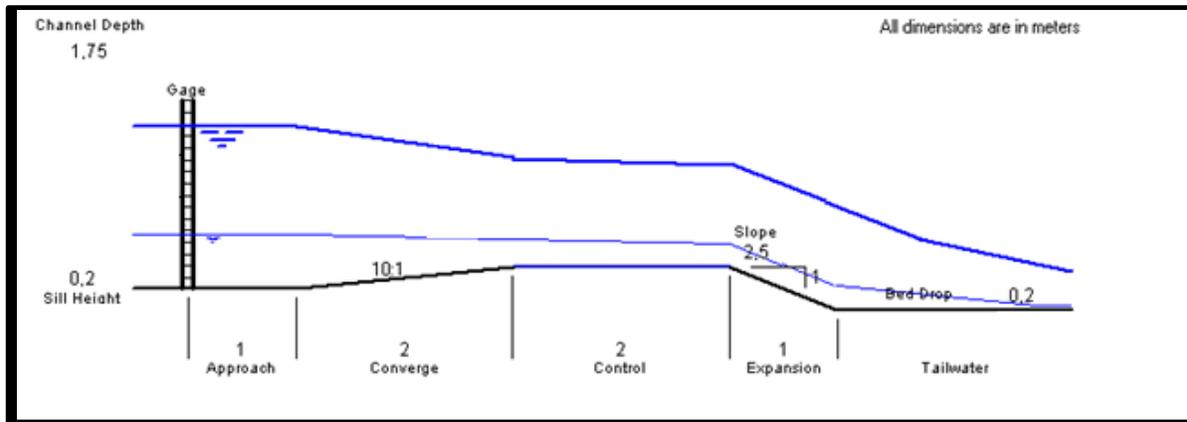


Figura 8. Diseño hidráulico en el software WinFlume, año 2005
Fuente: Trabajo de grado José C. Méndez G. y Javier E. Redondo R

De la cual se pueden apreciar las características físicas principales del aforador tales como su altura y longitudes de las zonas del mismo, las cuales se han organizado en la tabla 4.

Especificación	Dimensión (m)
Altura Canal	1.75
Dif. Nivel Sección entrada-control	0.2
Longitud zona de entrada	1
Longitud zona de convergencia	2
Longitud zona de control	2
Longitud zona de divergencia	1
Dif. Nivel Sección entrada-salida	0.2

Tabla 4. Dimensiones de la estructura de aforo año 2005
Fuente: Elaboración propia

El aforador cuenta con una forma rectangular en toda su longitud, con una variación en su zona de control la cual presenta una forma triangular con pendiente 5:1. Lo anterior se ilustra en la Figura 9. Mostrada a continuación.

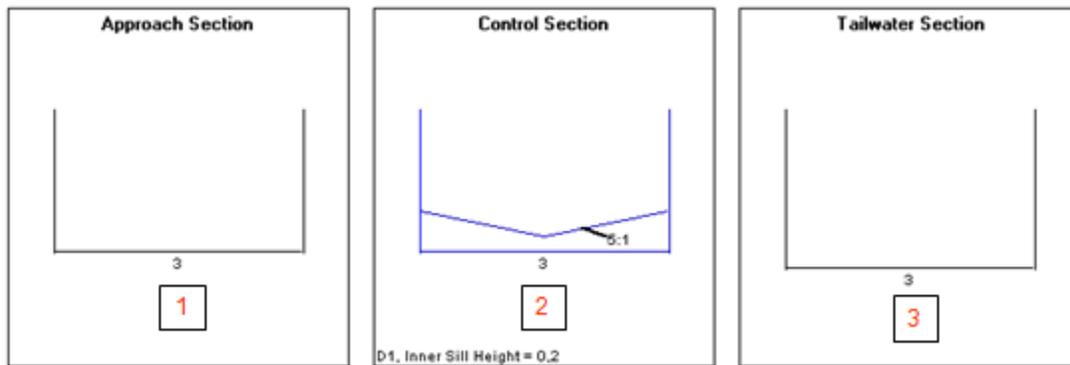


Figura 9. Detalle de las secciones transversales en cada zona del aforador.
Fuente: Trabajo de grado José C. Méndez G. y Javier E. Redondo R

5.2. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

El dimensionamiento de la estructura mediante la aplicación del software Winflume, requiere la definición de unos parámetros básicos de diseño para su primer procedimiento de cálculo, los cuales hacen referencia al coeficiente de rugosidad del material al construirse en este caso concreto y con un valor de 0.0015m (figura 10).

The screenshot shows the 'Freeboard Requirement' tab in the Winflume software. It features two radio buttons: 'Stationary Crest' (which is selected) and 'Movable Crest'. Below these, there are two input fields: 'Flume Construction Material' with a dropdown menu showing 'Concrete - rough', and 'Roughness Height' with a text input field containing '0.0015' and the unit 'meters'.

Figura 10. Coeficiente rugosidad concreto para la estructura
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

Se definió el gradiente hidráulico en 0.001 m/m (figura 11), la aplicación de un borde libre de 0.1m (figura 12) en la estructura para garantizar el no

desbordamiento del afluente gracias a la presencia de posibles oleajes y la definición de la metodología de cálculo de la estructura en este caso la ecuación de Manning.

Flume Crest | **Discharge & Tailwater** | Head Measurement | Freeboard Requirement

Range of Flume Operation

	Discharge		Tailwater Level, y2	
Minimum Flow to be Measured	0.01	cu. m/s	0.027	meters
Maximum Flow to be Measured	21	cu. m/s	2.726	meters

Tailwater Calculations

Method: Manning's equation using n and S [Explain Methods]

Manning's n:

Bed Slope (Hydraulic Gradient): m/m

Click on + symbols to select from a list of Manning's n-values.

- + [] LINED OR BUILT-UP CHANNELS
- + [] EXCAVATED OR DREDGED CHANNELS
- + [] MINOR NATURAL STREAMS, TOP WIDTH AT Qmax < 30 meters
- + [] CLOSED CONDUITS FLOWING PARTLY FULL, METALLIC
- + [] CLOSED CONDUITS FLOWING PARTLY FULL, NON-METALLIC

Figura 11. Gradiente Hidráulico, Metodología de calculo, Máximo flujo
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

Flume Crest | Discharge & Tailwater | Head Measurement | **Freeboard Requirement**

Absolute Distance

Freeboard Requirement is Expressed as an Absolute Distance

Required Minimum Freeboard: meters

Percentage of Upstream Head

Required Freeboard is a Percentage of the Upstream Head, h1

Required Minimum Freeboard: %

Figura 12. Borde libre mínimo requerido
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

Una de las modificaciones mas significativas del presente proyecto es el cambio del caudal máximo a soportar y controlar eficientemente por la estructura. Gracias al estudio realizado por el Ingeniero Diego A. Guzman A. en su documento

“ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA – MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER”, se pudo obtener un caudal de diseño de 21 metros cúbicos por segundo el cual se hace confiable para el procedimiento de cálculo respectivo (figura 11).

5.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO ACORDE A LAS NECESIDADES ACTUALES Y FUTURAS

Dándole continuidad al diseño de la estructura en el software Winflume, el cual genera reportes parciales en cuanto a las modificaciones necesarias para la generación de una estructura optima (figura 13), se procedió a la definición de las longitudes de cada una de las zonas del aforador (tabla 5) y de los anchos y pendientes para sus secciones transversales.(figuras 14,15,16)

Especificación	Dimensión (m)
Altura Canal	2.9
Dif. Nivel Sección entrada-control	0.2
Longitud zona de entrada	3.8
Longitud zona de convergencia	1.5
Longitud zona de control	3.5
Longitud zona de divergencia	0
Dif. Nivel Sección entrada-salida	0.5

Tabla 5. Dimensiones de la estructura de aforo
Fuente: Elaboración propia

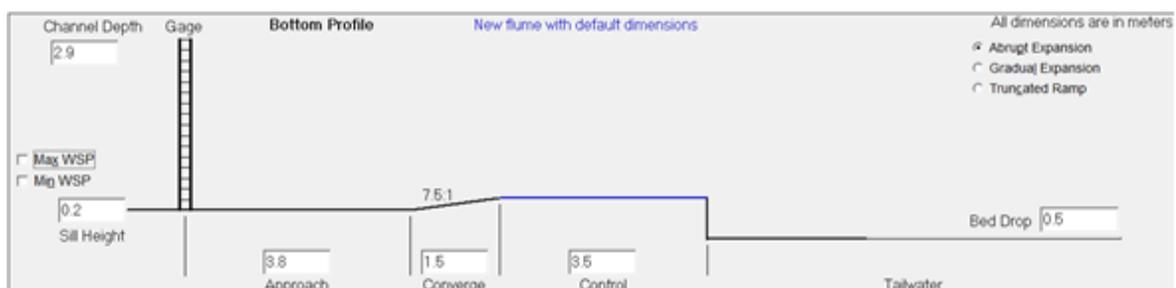


Figura 13. Perfil longitudinal estructura
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

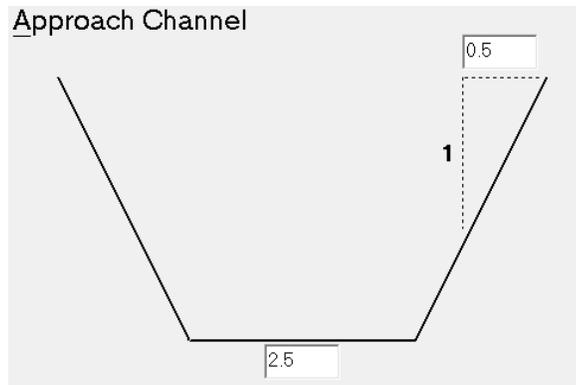


Figura 14. Sección transversal zona de captación
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

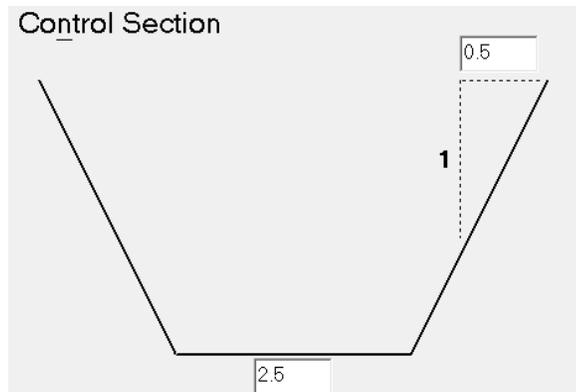


Figura 15. Sección transversal zona de control
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

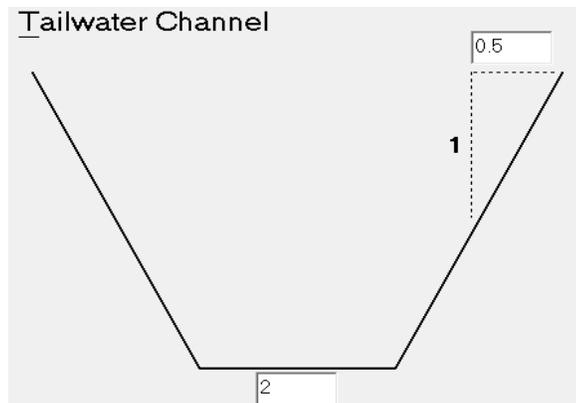


Figura 16. Sección transversal zona de descarga
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

Generando así el reporte de la evaluación de los seis parámetros de diseño del software (figura 17).

EVALUATION OF DESIGN CRITERIA	
Ok.	Froude number @ Qmax = 0.488
Ok.	Freeboard @ Qmax = 0.300 m
Ok.	Submergence Protection @ Qmax = 0.192 m
Ok.	Submergence Protection @ Qmin = 0.888 m
Ok.	Expected error @ Qmax = ± 2.08 %
Not Ok.	Expected error @ Qmin = ± 29.34 %

Figura 17. Reporte evaluación parámetros de diseño
Fuente: Software Winflume, proceso dimensionamiento

El software Winflume genera el anterior reporte en base a los siguientes seis criterios básicos de diseño.

1. El Número de Froude canal aguas arriba < 0.5
2. Bordo libre aguas arriba \geq del límite especificado por el usuario: 0.1m.
3. Nivel permitido en canal aguas abajo $>$ al actual nivel dado a flujo máximo.
4. Nivel permitido en canal aguas abajo $>$ al actual nivel dado a flujo mínimo.
5. El error de medida de la descarga esperado reúne el requisito del diseño del flujo máximo.
6. El error de medida de la descarga esperado reúne el requisito del diseño del flujo mínimo

A su vez se diseñaron las obras complementarias para la operación y puesta en marcha de la estructura como también del equipo de medición a utilizar.

5.4. REPLANTEO Y LOCALIZACIÓN DEL LUGAR DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE AFORO

Efectuando un reconocimiento de la zona proyectada para la ejecución del proyecto, se procedió a realizar un levantamiento topográfico georeferenciado (figura 18) gracias a los testigos topográficos presentes en áreas aledañas, los cuales pertenecen a la Universidad Pontificia Bolivariana y se encuentran en sus instalaciones. Dando paso así a la localización definitiva de la estructura conforme a la morfología de la de la quebrada Palmichala.

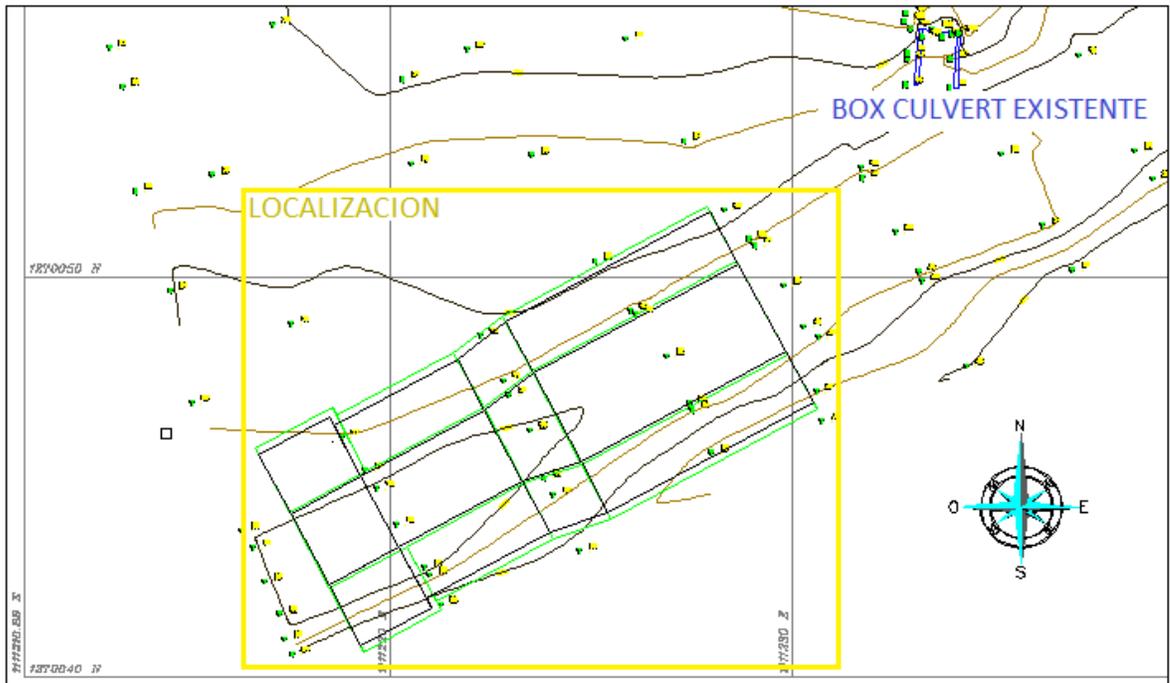


Figura 18. Localización lugar de construcción de la estructura de aforo
Fuente: Levantamiento topográfico georeferenciado

5.5. SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE LA ESTRUCTURA DE AFORO

Debido a la intervención al cauce natural, por medio del endurecimiento del mismo, se hizo necesario modelar las condiciones de trabajo desde el momento de la construcción y puesta en marcha de la estructura de aforo. Por medio de la simulación en el software HEC-RAS.

Las condiciones de trabajo se pudieron verificar por medio de esta simulación, donde se comprobó el caudal de diseño adecuado de la estructura. Se hizo necesaria la ubicación de la estructura sobre el cauce natural de la quebrada lo cual generó unas secciones georeferenciadas que se muestran a continuación trabajando en su caudal de diseño ($21 \text{ m}^3/\text{s}$).

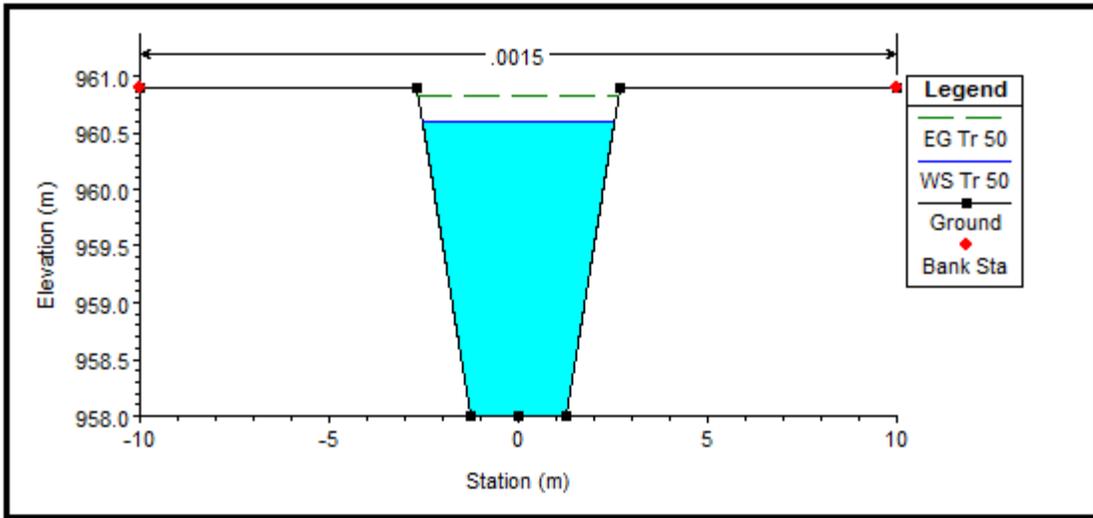


Figura 19. Sección transversal estación 60
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

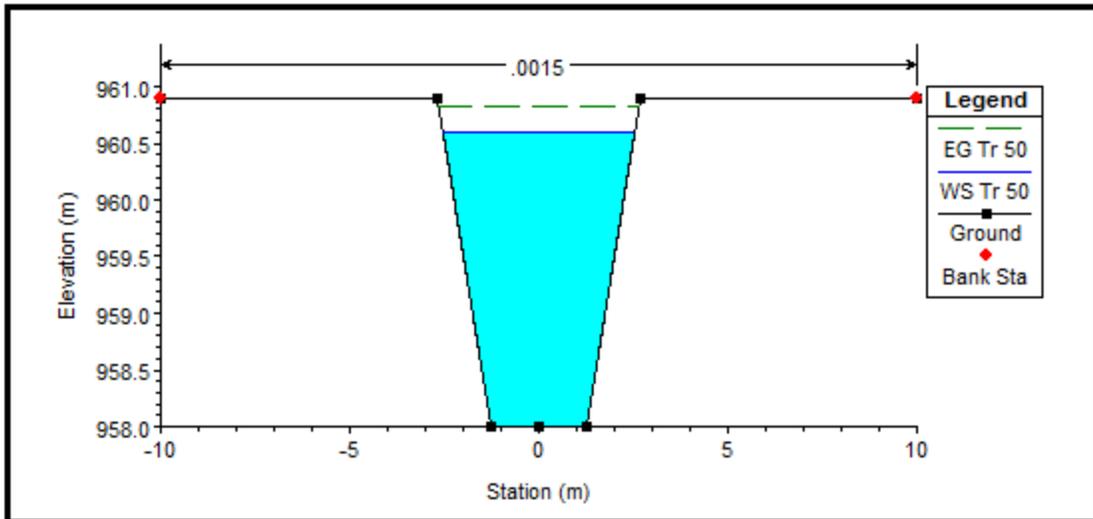


Figura 20. Sección transversal estación 54.2
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

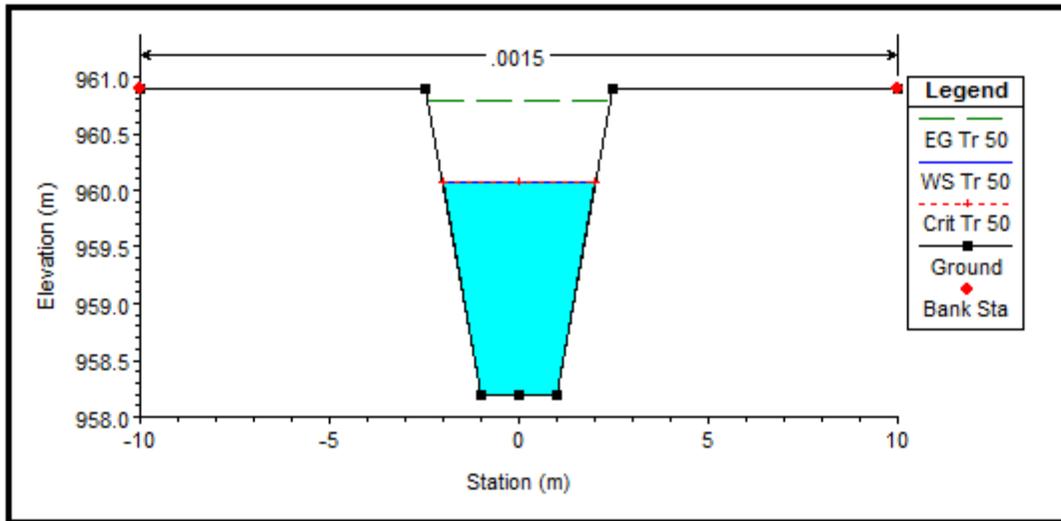


Figura 21. Sección transversal estación 52.7
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

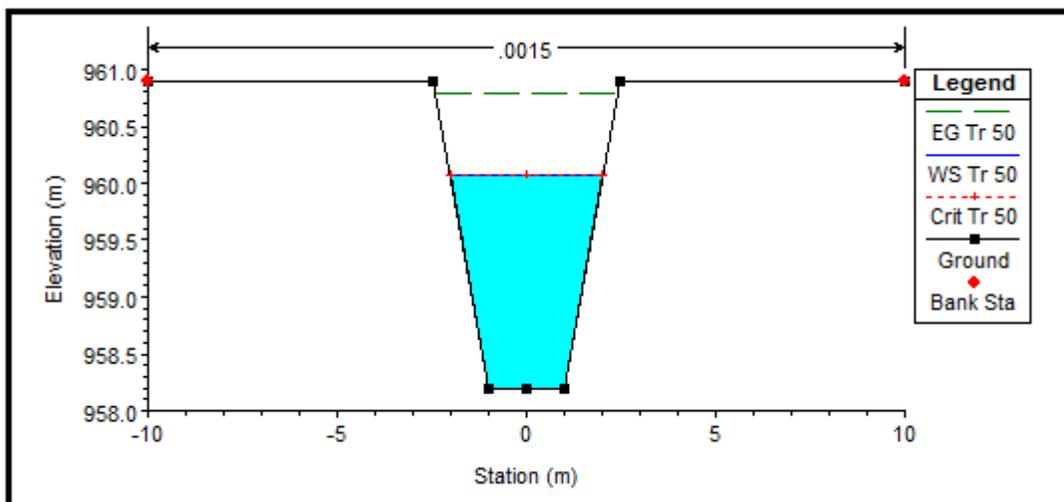


Figura 22. Sección transversal estación 49.2
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

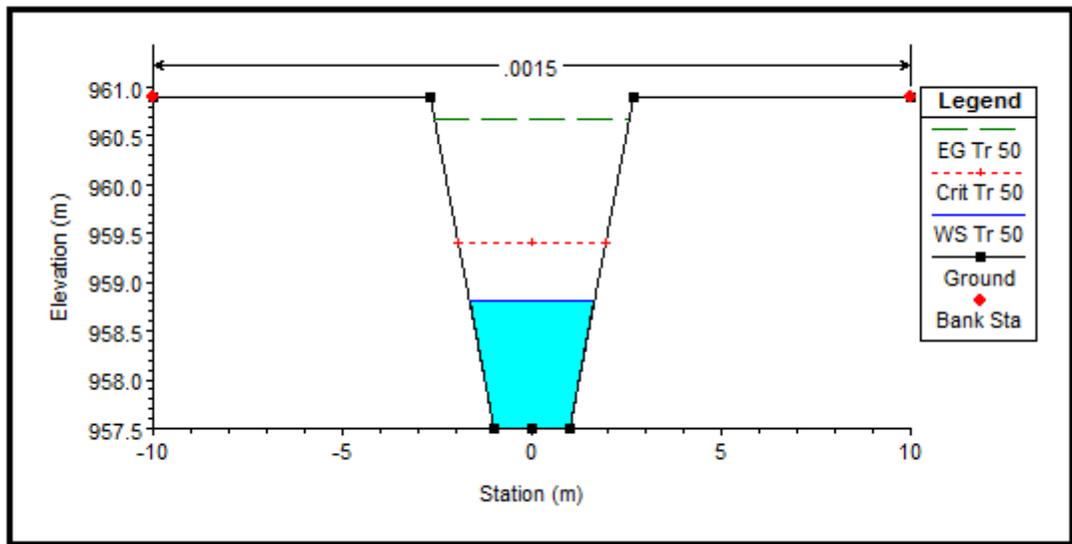


Figura 23. Sección transversal estación 49.19
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

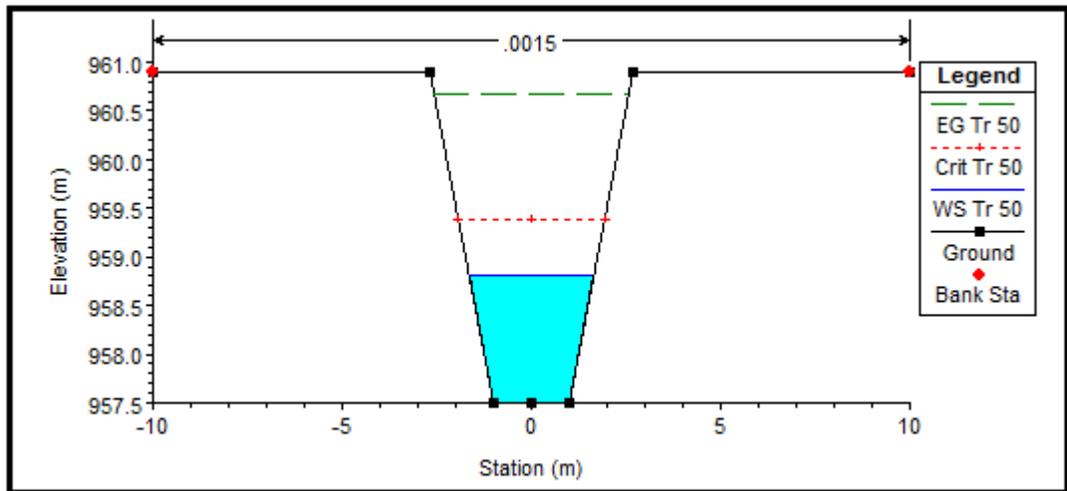


Figura 24. Sección transversal estación 47.19
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

A su vez se generó el perfil general a flujo de diseño donde se aprecia la influencia de la intervención de las secciones transversales. (figura 25)

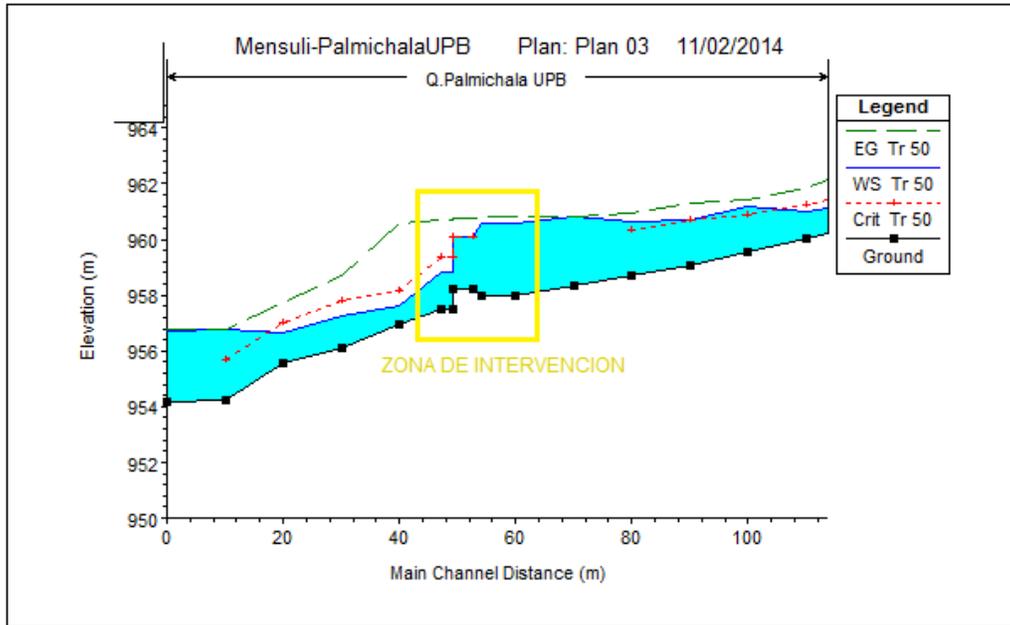


Figura 25. Perfil general a flujo de diseño, intervención secciones transversales
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

Todas las condiciones se pueden apreciar en el perfil en perspectiva de la canaleta trabajado en su caudal de diseño. (figura 26)

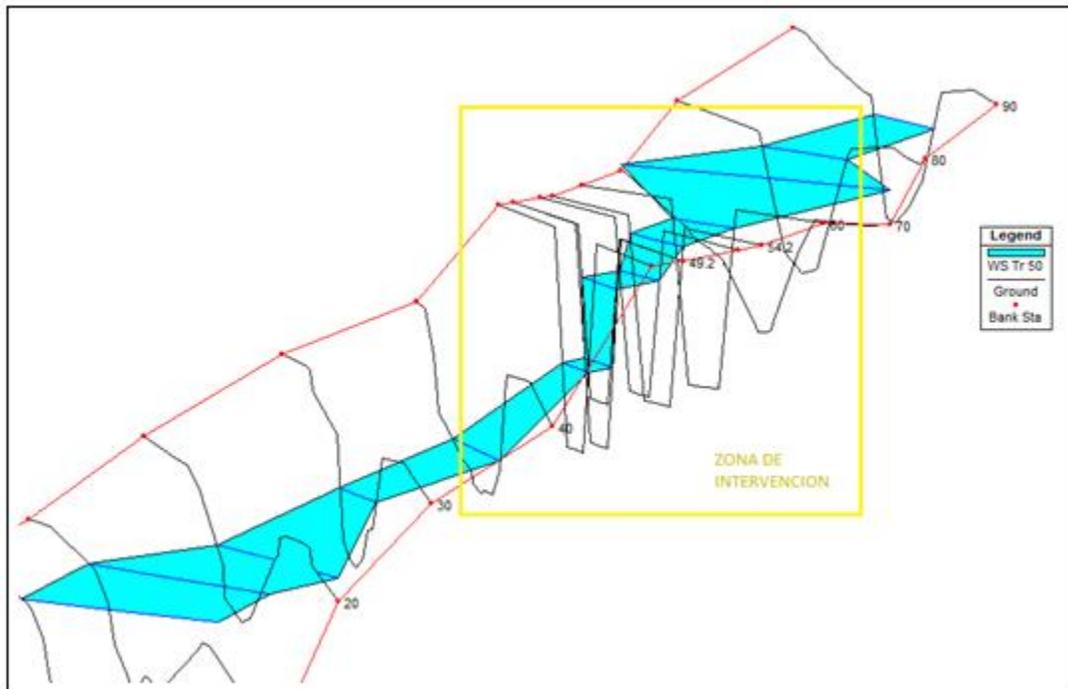


Figura 26. Perfil general en perspectiva a flujo de diseño, intervención secciones transversales
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

VELOCIDADES DEL FLUJO EN EL CANAL SEGÚN CAUDALES											
Q [m ³ /s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
60	0.58	0.82	0.99	1.13	1.24	1.33	1.42	1.5	1.57	1.63	1.69
54.2	0.58	0.82	0.99	1.13	1.24	1.33	1.42	1.5	1.57	1.63	1.69
52.7	1.62	2	2.24	2.42	2.46	2.71	2.82	2.82	2.91	3.1	3.07
49.2	1.62	2	2.25	2.44	2.59	2.73	2.84	2.94	3.04	3.11	3.19
49.19	4.25	4.54	4.76	4.93	5.04	5.17	5.26	5.34	5.42	5.48	5.55
47.19	4.25	4.54	4.76	4.93	5.04	5.17	5.26	5.34	5.42	5.48	5.55
ESTACION											

VELOCIDADES DEL FLUJO EN EL CANAL SEGÚN CAUDALES										
Q [m ³ /s]	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
60	1.74	1.8	1.85	1.89	1.93	1.98	2.02	2.06	2.09	2.13
54.2	1.74	1.8	1.85	1.89	1.93	1.98	2.02	2.06	2.09	2.13
52.7	3.15	3.22	3.28	3.43	3.49	3.54	3.59	3.64	3.68	3.73
49.2	3.27	3.33	3.39	3.44	3.49	3.54	3.59	3.64	3.68	3.73
49.19	5.62	5.66	5.72	5.78	5.85	5.88	5.92	5.96	6	6.04
47.19	5.62	5.66	5.72	5.78	5.85	5.88	5.92	5.96	6	6.04
ESTACION										

Tabla 6. Velocidades del flujo en el canal, según caudales
Fuente: Elaboración propia en base a datos arrojados por el software HEC-RAS

Del proceso de simulación se obtienen las velocidades en cada estación de la canaleta para cada caudal indicado, hasta el caudal de diseño (tabla 6), también la altura del flujo en la estación 60 con respecto a los caudales (tabla 7).

Q [m ³ /s]	H [m]
0	0
1	0.19
2	0.4
3	0.58
4	0.72
5	0.85
6	0.97
7	1.08
8	1.19
9	1.28
10	1.38
11	1.46
12	1.54
13	1.62
14	1.7
15	1.77
16	1.84
17	1.91
18	1.98
19	2.04
20	2.11
21	2.17

Tabla 7. Altura del flujo en la estación 60 con respecto a los caudales
Fuente: Elaboración propia en base a datos arrojados por el software HEC-RAS

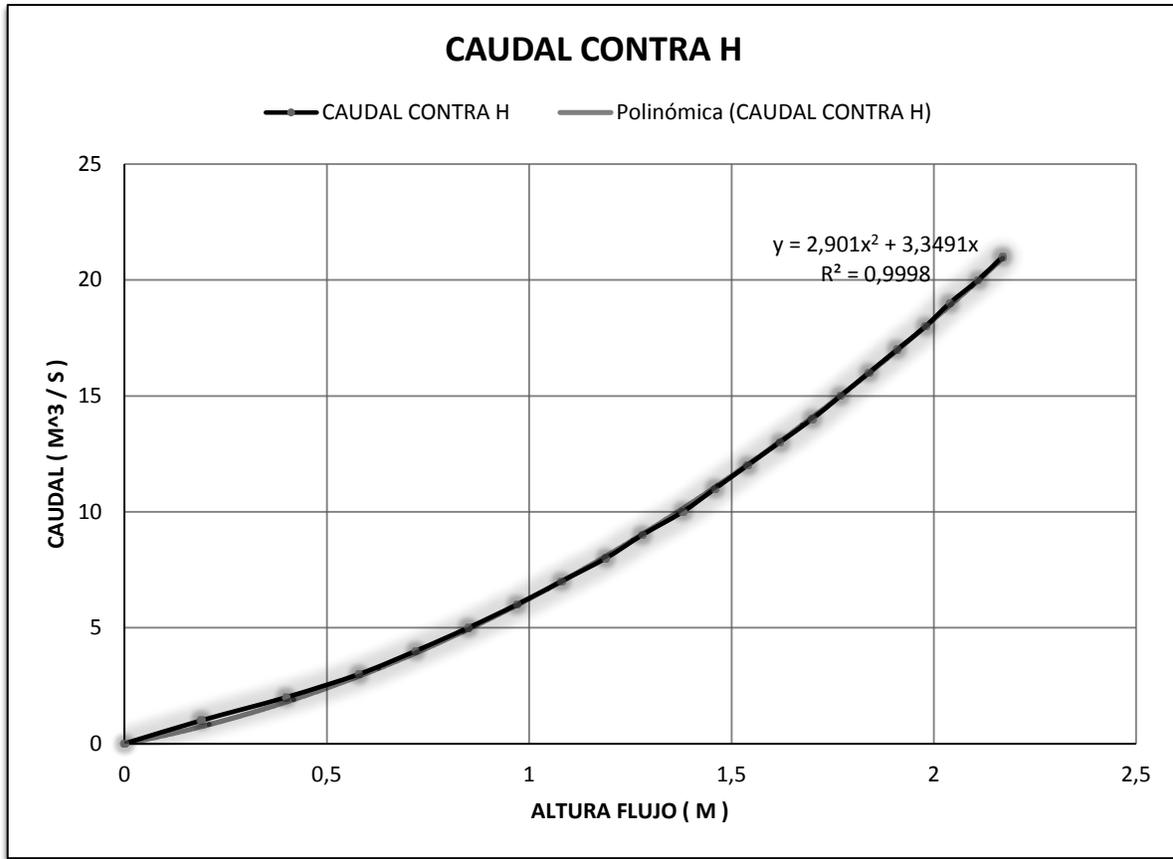


Figura 27. Grafica de calibración estructura de aforo
Fuente: Modelación Hidráulica software HEC-RAS

Con los datos obtenidos en la tabla 7 se obtiene la gráfica de calibración (figura 27) de la estructura de aforo la cual cuenta con una tendencia polinómica de grado 3, la cual nos genera la siguiente ecuación

$$Q = 2.901H^2 + 3.3491H$$

Y a su vez el siguiente coeficiente de determinación, con un valor bastante aceptable

$$R^2 = 0.9998$$

5.6. CALCULO DE MATERIALES Y PRESUPUESTO DE MATERIALIZACIÓN DEL PROYECTO

Por medio de los cálculos de cantidades de materiales de obra se obtuvo una propuesta para la ejecución del presente proyecto, con el fin de desarrollar a cabo la construcción del mismo, la cual se presenta a continuación

PRESUPUESTO DE OBRA					
ITEM	ACTIVIDAD	UND	VALORES DE EJECUCION PRESUPUESTAL		
			CANT.	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1	PRELIMINARES				
1.01	Localización y Replanteo	GLB	1.0	\$ 250,000.00	\$ 250,000.00
1.03	Campamento 4m x 4m	UND	1.0	\$ 150,000.00	\$ 150,000.00
1.04	Valla Informativa	UND	1.0	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00
2	EXCAVACIONES				
2.01	Excavación a mano en material común	M3	20.0	\$ 17,500.00	\$ 350,000.00
2.02	Relleno compactado en material común	M3	240.0	\$ 18,000.00	\$ 4,320,000.00
3	ESTRUCTURA				
3.01	Solado limpieza E:20mm	M3	1.0	\$ 200,000.00	\$ 200,000.00
3.02	Concreto Ciclópeo 3000 psi	M3	3.0	\$ 360,000.00	\$ 1,080,000.00
3.03	Concreto 3000 psi	M3	16.0	\$ 320,000.00	\$ 5,120,000.00
3.04	Tubería PVC tipo pesado 4in	ML	4.0	\$ 58,788.00	\$ 235,152.00
3.05	Malla electrosoladada de acero figurado 4mm 15cmx15cm	M2	310.0	\$ 9,600.00	\$ 2,976,000.00
4	CIMENTACION				
4.01	Concreto 3000 psi	M3	15.0	\$ 320,000.00	\$ 4,800,000.00
4.02	Acero refuerzo varilla corrugada 1/2 in	ML	140.0	\$ 2,084.00	\$ 291,760.00
4.03	Acero refuerzo varilla corrugada 3/8 in para estribos	ML	150.0	\$ 1,170.00	\$ 175,500.00
5	POZO EQUIPO MEDICION				
5.1	Ladrillo tipo temosa	UND	350.0	\$ 300.00	\$ 105,000.00
5.2	Mortero pega junta 1.5 cm	M3	0.4	\$ 200,000.00	\$ 80,000.00
5.3	Tapa pozo	UND	1.0	\$ 350,000.00	\$ 350,000.00
6	MANEJO DEL CAUCE				
6.1	desviación cauce	UND	1.0	\$ 800,000.00	\$ 800,000.00
	COSTO DIRECTO DE EJECUCION				\$ 21,783,412.00

SUBTOTAL		\$ 21,783,412.00
ADMINISTRACION	20.0%	\$ 4,356,682.40
IMPREVISTOS	10%	\$ 2,178,341.20
UTILIDAD	5%	\$ 1,089,170.60
IVA	16%	\$ 174,267.30
TOTAL		\$ 29,581,873.50

Tabla 7. Presupuesto de obra
Fuente: Elaboración propia

6. RESULTADOS

El proceso de diseño, arroja como resultado una canaleta cuya definición técnica es la siguiente: “*CANALETA DE AFORO GARGANTA LARGA CON CRESTA ESTACIONARIA Y DE EXPANSIÓN ABRUPTA*” la cual se puede apreciar en la figura 28.

Durante la ejecución del proceso investigativo, el cual tenía como principal objetivo la optimización de la estructura, se pudo omitir la zona de divergencia de la estructura, puesto que su omisión no afectaba el comportamiento del modelo hidráulico en el software HEC-RAS. A su vez, en el proceso de análisis del dimensionamiento en el software Winflume, se hace caso omiso del error en cuanto al análisis del parámetro de diseño básico “*medida de la descarga esperada requisito del diseño del flujo mínimo*” debido a las fuertes temporadas de sequía presentes en la zona de ejecución del proyecto, lo cual genera que se presenten alturas de flujo extremadamente bajas, casi nulas.

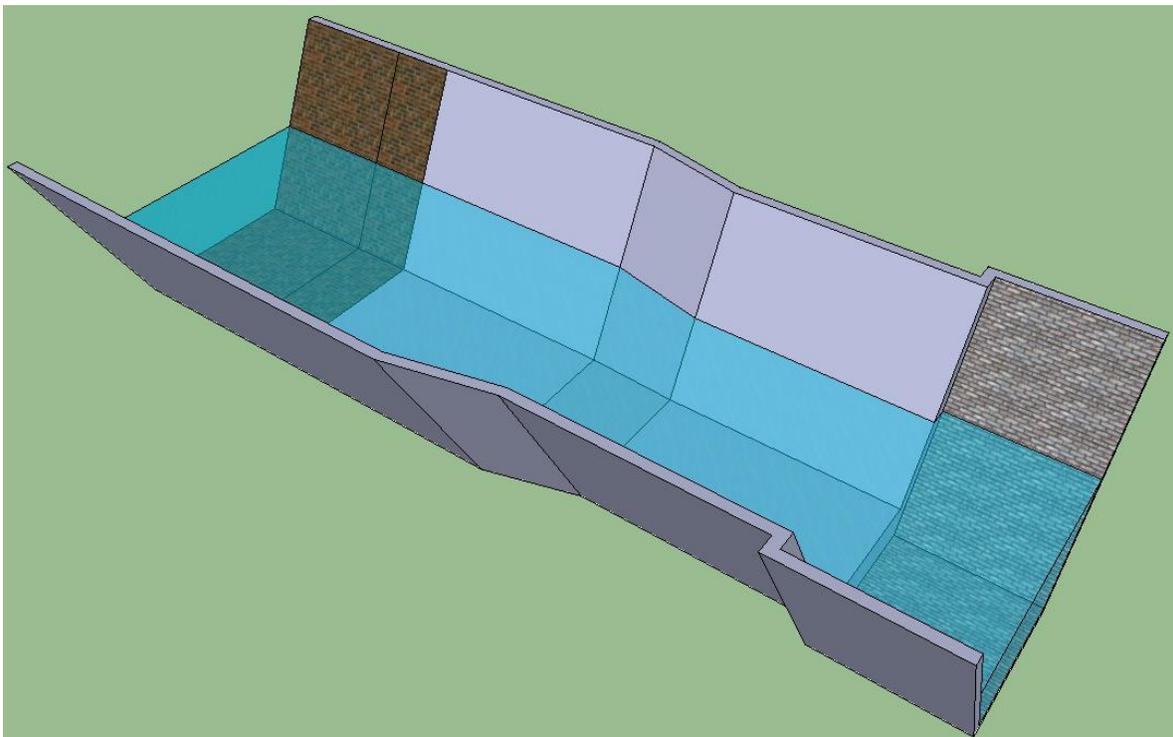


Figura 28. Simulación en 3D de la estructura de aforo
Fuente: Elaboración propia mediante el software sketchu

Se obtiene el perfil longitudinal de la canaleta de aforo definitiva, en el cual se aprecia el máximo flujo definido con anterioridad y las dimensiones establecidas

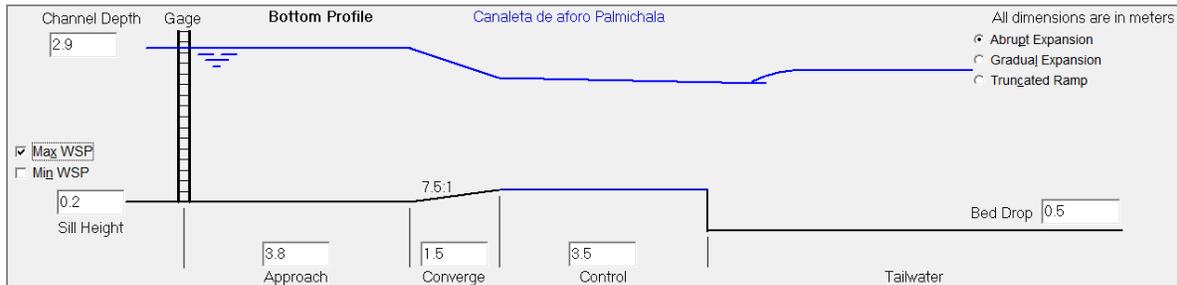


Figura 29. Perfil longitudinal estructura de aforo definitiva
Fuente: Dimensionamiento software Winflume

6.1. MATERIALIZACIÓN DE LOS DISEÑOS EN EL SOFTWARE AUTOCAD CON SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS.

Teniendo como objetivo la ejecución del presente proyecto, se hace necesario el diseño en el software AUTO-CAD, para brindar facilidades al momento del desarrollo constructivo del mismo. A continuación se presentan dichos diseños. (figuras 30,31,32,33)

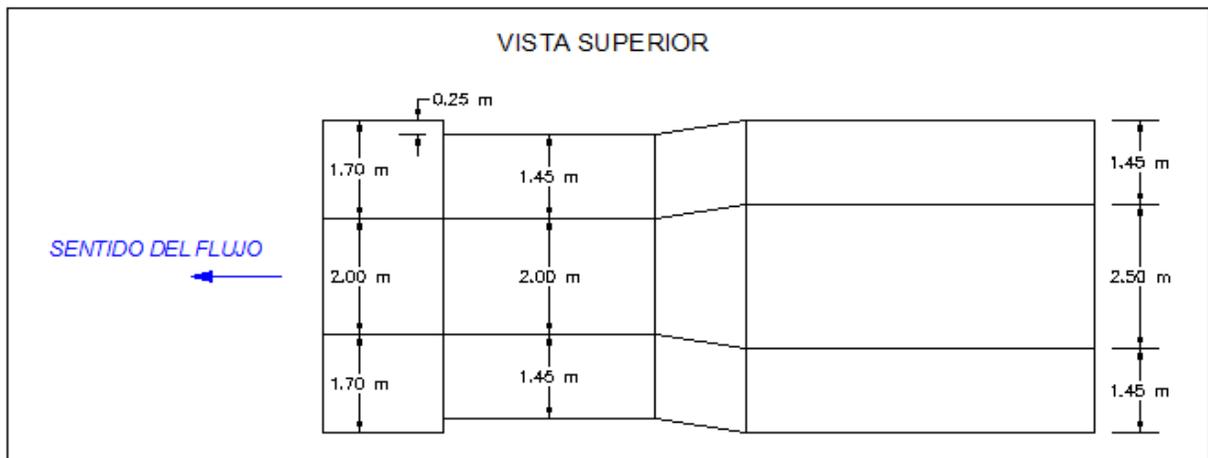


Figura 30. Vista superior interna estructura de aforo
Fuente: Proceso de diseño software Auto-Cad

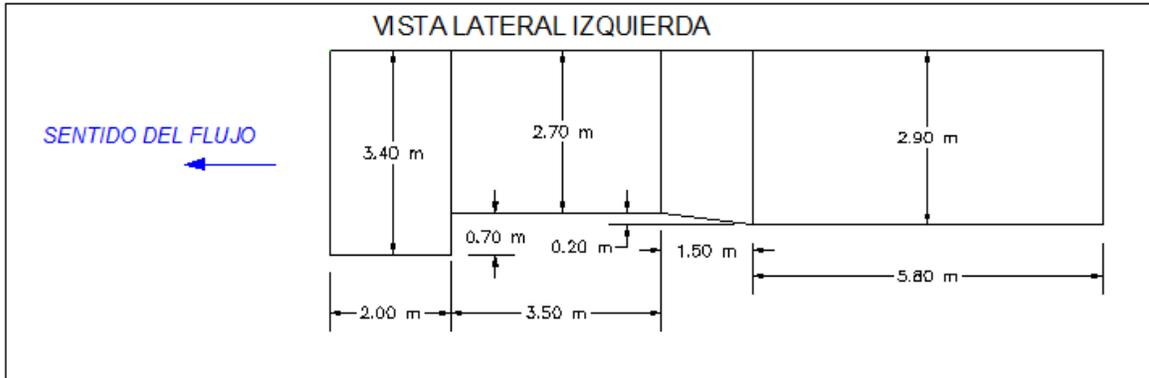


Figura 31. Vista lateral izquierda interna estructura de aforo
Fuente: Proceso de diseño software Auto-Cad

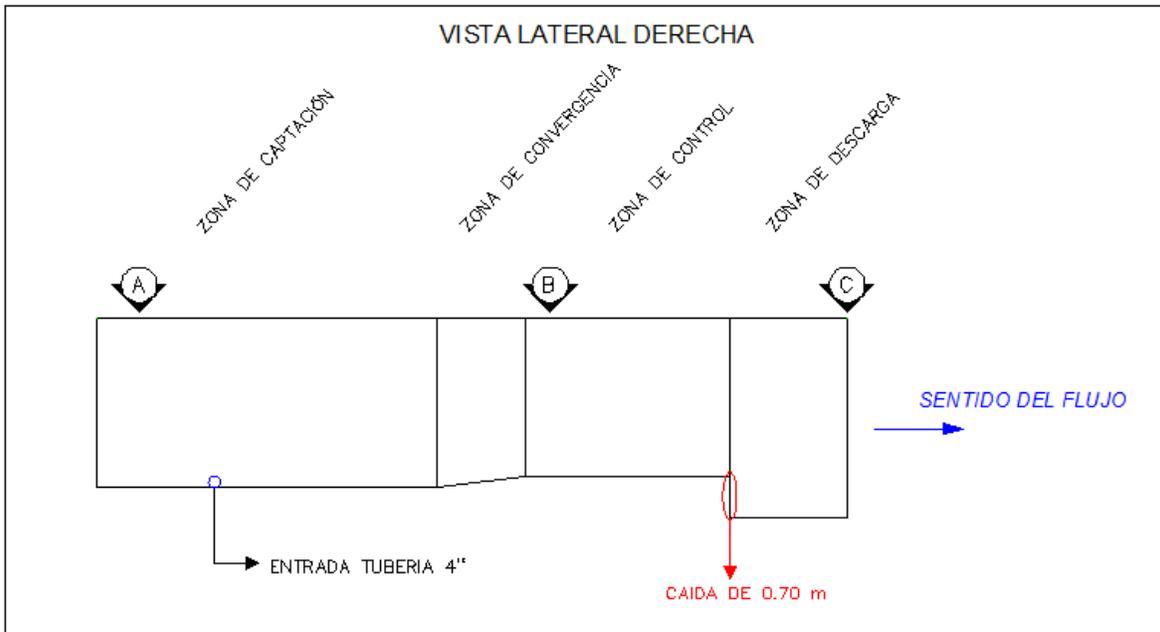


Figura 32. Vista lateral derecha interna estructura de aforo
Fuente: Proceso de diseño software Auto-Cad

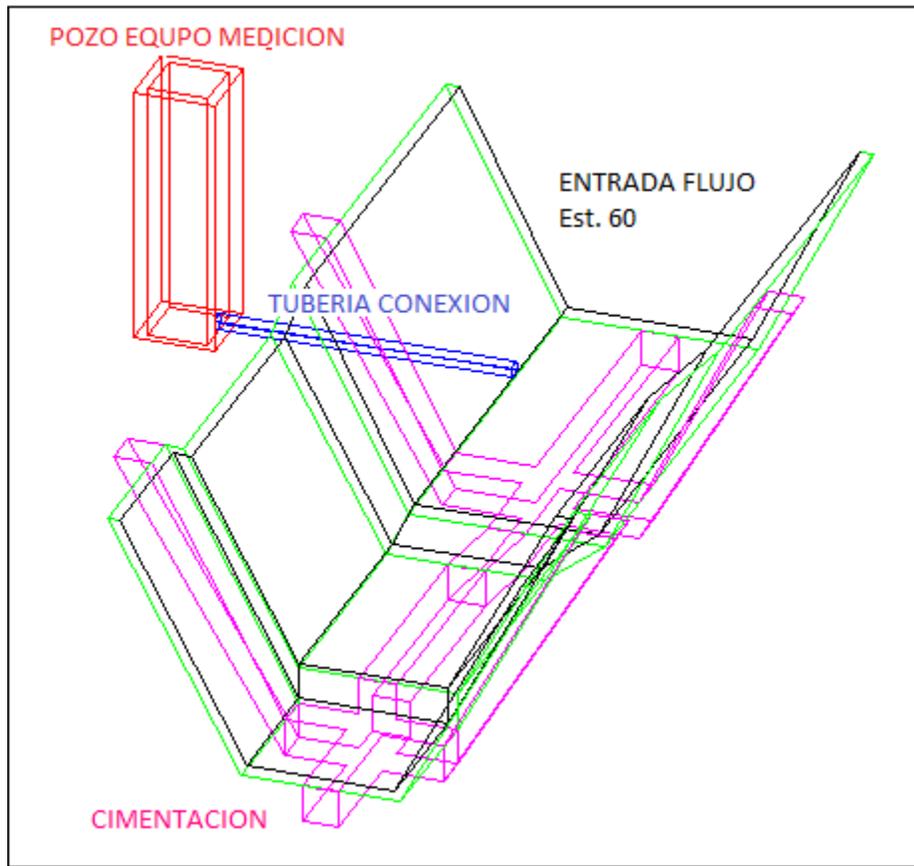


Figura 33. Vista isométrica estructura de aforo y obras complementarias
Fuente: Proceso de diseño software Auto-Cad

7. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

Debido a la intervención en el cauce de la estructura de aforo, y al análisis efectuado en base a la tabla 6, se hace evidente el aumento de la velocidad del flujo al momento de abandonar la estructura sobre la sección transversal estación 47.19, dichas velocidades se encuentran en un intervalo de 4.25 m/s a 6.04 m/s. Esto hace necesario el desarrollo de un estudio complementario, para poder analizar la necesidad de la aplicación de otras obras complementarias para la protección del lecho natural del afluente por factores de socavación.

Para la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, se hace necesaria la implementación y ejecución del estudio *“ESTUDIO HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y GEOTECNICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE PROTECCION DE LA RIVERA DE LA QUEBRADA MENZULÍ EN LOS PREDIOS DE LA UPB SECCIONAL BUCARAMANGA – MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA SANTANDER”* realizado por el Ingeniero Diego A. Guzman A. Para poder desarrollar el plan de expansión en su planta física futura, protegiendo

las riveras de la quebrada Palmichala y Mensuli, las cuales actualmente ya presentan afectaciones por los eventos hídricos de gran magnitud.

Debido a la gran profundidad de la estructura de aforo, se hace necesaria la implementación de medios de contención e información, con el fin de evitar cualquier tipo de evento donde se ponga en riesgo la integridad de cualquier miembro de la comunidad estudiantil o animal doméstico y/o silvestre. Acompañado de campañas informativas a la comunidad para evitar el tráfico en el área de estudio donde estará la estructura de aforo y que su presencia en dicho lugar sea solo con fines académicos y mientras sea estrictamente necesario.

Durante la construcción de la estructura de aforo, se recomienda la supervisión constante del proyecto, garantizando la óptima interpretación de los planos y diseños. Para así poder garantizar el funcionamiento adecuado.

Se hace necesaria la calibración de la estructura, para garantizar la confiabilidad de los datos tomados por el equipo de medición.

8. CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente investigación y la ejecución de la misma, será un pilar fundamental en el proceso de mejoramiento, emprendido por la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Brindando al estudiantado la posibilidad de laboratorio in situ, cuyos datos se compilaran y almacenaran para crear un universo de datos confiables, con los cuales se podrán realizar modelos matemáticos sobre el comportamiento de la cuenca Palmichala.

La articulación del presente proyecto con la estación de aforo radar encargada del monitorio a la quebrada Mensuly, y la estación pluviográfica, es de vital importancia para la modelación las cuencas circundantes a la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, para poder desarrollar su plan de expansión en cuanto a infraestructura, por medio de la creación de acciones correctivas en las zonas que presentan riesgos de inundación, socavación y/o cualquier efecto negativo que puedan generar los eventos hidrológicos extremos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Tools for Design, Calibration, Construction and Use of Long-Throated Flumes and Broad-Crested Weirs, Tony L. Wahl, Albert J. Clemmens, Marinus G. Bos, John A. Replogle, Prepared for poster presentation at: USCID/EWRI Conference on Energy, Climate, Environment and Water, San Luis Obispo, California — July 10-13, 2002
- Estudio hidrológico, hidráulico y geotécnico para el dimensionamiento de las obras de protección de la rivera de la quebrada mensulí en los predios de la UPB seccional Bucaramanga – municipio de Floridablanca Santander, Diego A. Guzman, invitación privada upb 002-12 Universidad Pontificia Bolivariana sede Bucaramanga 2013
- Diseño de la estructura de aforo de caudales en la microcuenca experimental de la quebrada Palmichala, José C. Méndez, Javier E. Redondo, Universidad Pontificia Bolivariana, facultad de ingeniería civil, Bucaramanga 2005
- V. Chow; Hidráulica de Canales a; Mc Graw Hill; Primera Edición (español), Bogotá 1994.
- Ballesteros A. Quiroga S. Forero J. Modelamiento hidráulico de los sectores de las quebradas Palmichala y Mensulí, aledaños a los predios de la sede de la Universidad Pontificia Bolivariana mediante la aplicación de software para garantizar las obras construidas y por construir dentro del Parque Ecológico de la UPB. Bucaramanga, Universidad Pontificia Bolivariana 2004
- Universidad Pontificia Bolivariana. Formulación del Plan Maestro No. 2 del campus de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga – Estudio Hidrológico de las Quebradas Mensulí y Palmichala. MARES; Bucaramanga noviembre de 2011.
- <http://content.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ilripublicaties/publicaties/Pub38/pub38-h1.0.pdf>
- <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8731/5/T10740CAP1.pdf>
- <http://www.xente.mundo-r.com/mapahumano/Actualidad/Pueblos%20nomadas%20de%20nuestros%20dias.htm>
- <http://www.slideshare.net/linacervantes/mec-3-la-prctica-docente-en-el-modelo-constructivista>