UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis previa a la obtención del Título de:

Ingeniero Ambiental

"Aplicación del Método PHABSIM para la determinación del caudal ecológico en el río Chulco de la Subcuenca del río Machángara"

AUTORES: Adriana Soledad Sichique Sánchez

Adrián Fernando Rocano Portoviejo

DIRECTORA:

Ing. Estefanía Avilés Sacoto MSc.

Cuenca, Diciembre del 2014

AGRADECIMIENTO.

En primer lugar, queremos agradecer a Dios quien nos permitió llegar a culminar con éxito este proyecto de tesis.

A la Universidad Politécnica Salesiana, a sus autoridades y maestros, por la formación académica que nos han brindado en todos estos años de estudio y que nos ha servido para obtener conocimientos y grandes enseñanzas.

A la Directora de Tesis, y maestra de pregrado Ing. Estefanía Avilés Sacoto MSc., quien con sus conocimientos, experiencias, paciencia, y motivación nos ha alentado a realizar este trabajo.

Al Ingeniero David Matamoros Camposano, PhD maestro de posgrado de la Escuela Politécnica de Litoral (ESPOL), por el asesoramiento incondicional en el desarrollo del presente proyecto.

Al personal del Área de Ingeniería y Medio Ambiente de la empresa ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO – ELECAUSTRO S.A por permitir desarrollar el proyecto.

Finalmente, un agradecimiento especial a nuestros compañeros y sobre todo amigos que tuvimos el honor de conocer en la universidad.

Los Autores.

DEDICATORIA.

Este trabajo de investigación está dirigido a Cristo, el que siempre me acompaña y me bendice, en todo momento.

Dedico a mi mamá Narcisa que me ha enseñado a salir siempre en adelante en las buenas y en las malas, y lo más importante por formarme y valorarme a mí como persona y a todos los que me rodean, y a tener siempre una expectativa de superación, también dedico a mi papi Mariano que está en el cielo y que me ha servido de inspiración para salir en adelante.

A mis hermanos Xavier, Verónica, y principalmente a mi hermana Doris que me ha acompañado y apoyado en las buenas y en las malas.

Adriana S.

A Dios, por haberme dado salud y vida para lograr los objetivos planteados.

A mis padres, Germán y Julia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como de la vida, y por su incondicional apoyo.

A mis hermanos, Wilson y Jessica.

A mi sobrina, Stephanie.

Adrián R.

DECLARACIÓN EXPUESTA.

Los autores declaramos que los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo con tema **"Aplicación del Método PHABSIM para la determinación del caudal ecológico en el río Chulco de la Subcuenca del río Machángara"**, son de exclusiva responsabilidad y autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana el uso de la misma con fines académicos.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cuenca, 19 de Diciembre de 2014

Adriana Soledad Sichique Sánchez

0106034861

Adrián Fernando Rocano Portoviejo

0104968920

CERTIFICADO

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Adriana Soledad Sichique Sánchez y Adrián Fernando Rocano Portoviejo, bajo mi supervisión.

(f) Estefanía Avilés S.

Ing. Estefanía Avilés Sacoto. M.S.c.

Directora de Tesis.

RESÚMEN.

Los lineamientos que comprendieron el desarrollo del presente proyecto investigativo fueron determinar el caudal ecológico en el río Chulco comprendido entre la Represa El Labrado y la zona de captación para la hidroeléctrica Saymirín, mediante el Método Physical Habitat Simulation (PHABSIM); analizando la calidad del agua a través de parámetros físico-químicos como: pH, temperatura, y oxígeno disuelto; parámetros hidrológicos como: caudal y velocidad del flujo, sustrato, alturas del nivel del agua en cada punto de monitoreo, y parámetros biológicos a través de campañas de muestreo con macroinvertebrados bentónicos usando la metodología BMWP/Col.

El análisis físico-químico del agua se realizó paralelamente a la toma de muestras biológicas usando el equipo multiparamétrico HANNA HI 9829, analizándose los parámetros como oxígeno disuelto, pH y temperatura. El valor de oxígeno disuelto (0,40 – 2,77 mg/lt) está por debajo de la Normativa, cercano al punto de saturación; lo que confirma la abundancia de la familia Chironomidae en los cuatro puntos de monitoreo, pues su presencia está asociado al incremento en las demandas de oxígeno por la biodegradación de la materia orgánica. El valor de pH (7.12 a 7.99) se encuentra bastante estable, cerca del neutro en 7, cumpliendo con la norma; mientras que la temperatura de (9.10 a 12,69 ºC) es característico de los ríos de alta montaña, pues éstos varían conforme la altitud (3170-3400 msnm).

El protocolo para la aplicación del BMWP/Col contempló los siguientes procedimientos: toma de muestras in situ usando una red de mano removiendo el fondo con las manos, cuya superficie es igual a $0.8m^2$ con ojo de malla de 1mm, almacenamiento de bentos en envases de plástico de 250 ml fijados en alcohol al 70%, la identificación taxonómica de las especies bentónicas con apoyo de listados de "macroinvertebrados acuáticos mejor conocidos en Colombia" propuestos por Roldán G., 2003., en el laboratorio de Ciencias de la Vida de la Institución llegando hasta el nivel de familia. Finalmente, se determinó la calidad del agua para los cuatro puntos de monitoreo usando el mismo índice. En el mes de septiembre el Punto 1 obtuvo la calidad Aceptable, siendo el único mes y punto en disponer de esta calidad; mientras que en los meses octubre y noviembre obtuvo la calidad Dudosa. Para los puntos 2 y 3 en los meses septiembre y octubre mantuvieron la calidad Dudosa; en el

mes de noviembre presentaron una calidad Crítica. Finalmente en el Punto 4 ubicado a 50m abajo de la represa en los tres meses la calidad se ve reducida a Crítica.

Para el modelamiento con PHABIM se utilizaron cada uno de los parámetros hidrológicos antes mencionados y un bioindicador para realizar la respectiva simulación con el modelo, este último se tomó a partir de la aplicación de la metodología biológica de BMWP/Col con macroinvertebrados bentónicos considerando a la familia más representativa en los cuatro puntos de monitoreo durante los tres meses de campaña de muestreo plateados para el estudio, que corresponde a la familia Hyalellidae.

El Índice de Hábitat (SPU) se ha simulado dentro del rango aceptado por (Bovee y Milhaous, 1978), según el esquema HABTAE con tres criterios de preferencia genéricos que combinan rangos definidos de velocidad, profundidad e índice de canal o sustrato para la familia Hyalellidae, corroborando con índices de preferencia de las familias Baetidae e Hydropsichidae desarrollados por (Cardona Duque, 2014), y un tratamiento de celda central que posibilita relacionar las predicciones hidráulicas y ecológicas.

Como resultado del modelamiento con PHABSIM se obtuvo que la cantidad de agua necesaria para el desarrollo y mantenimiento de la familia indicadora comprende entre 30 a 40 lt/s, y como caudal máximo recomendable 50 lt/s. Por consiguiente, se considera que los 15 lt/s que se descarga normalmente desde la represa no son suficientes para la conservación y mantenimiento de las especies bentónicas del río.

ÍNDICE GENERAL.

AGRADECIMIENTO. ii

DEDICATORIA. iii

DECLARACIÓN EXPUESTA. iv

RESÚMEN. vi

ÍNDICE GENERAL. viii

ABREVIATURAS. xi

ÍNDICE DE FIGURAS. xii

ÍNDICE DE TABLAS. xiii

CAPÍTULO 1 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del problema. 1

1.2 Hipótesis: 4

1.2.1 Hipótesis Nula. 4

1.2.2 Hipótesis Alternativa. 4

1.3 Objetivos: 5

1.3.1 Objetivo General. 5

1.3.2 Objetivos Específicos. 5

1.4 Alcance de la Tesis. 5

1.4.1 Alcance Geográfico. 5

1.4.2 Alcance Técnico. 6

1.5 Estructura de la Tesis. 7

CAPÍTULO 2 8

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 8

2.1 El Agua. 8

2.1.1 El Recurso Hídrico. 8

2.1.2 Ciclo hidrológico. 10

2.2 IMPORTANCIA DEL AGUA PARA EL ECOSISTEMA. 13

2.2.1 Humedad atmosférica. 15

2.2.2 Lluvia. 15

2.2.3 Humedad del suelo. 16

2.2.4 Agua en las plantas. 17
2.2.5 Escorrentía. 18
2.2.6 Agua en la superficie del suelo. 18
2.3 IMPORTANCIA DEL CAUDAL EN EL RÍO. 18
2.3.1 CAUDAL ECOLOGICO. 20
2.4 MARCO LEGAL EN ECUADOR, SOBRE CAUDAL ECOLÓGICO. 27
2.4.1 Constitución de la República del Ecuador 2008. 27
2.4.2 Ley de Recursos Hídricos del Ecuador. 29
2.3.3 Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria fue publicado a través de una emisión especial del Registro Oficial del día 31 de marzo del 2003. 34
2.4.4 Norma Ambiental Ecuatoriana: Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua en Centrales Hidroeléctricas. 35
2.5 ÁREA DE ESTUDIO. 38
2.5.1 Aspectos Físicos: 38
2.5.1.2 Sistema hidrográfico. 39
2.5.3 Aspectos Sociales y Humanos. 42
CAPÍTULO 3 43
METODOLOGÍA USADA 43
3.1Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col). 43
3.1.1 Métodos de recolección y tratamiento de las muestras. 45
3.1.2 Identificación de los macroinvertebrados acuáticos. 47
3.1.3 Calidad del agua a través del Método BMWP/Col. 49
3.2 Physical Habitat Simulation Software (PHABSIM) 50
3.2.1 Programa de modelamiento PHABSIM. 50
3.2.2 Toma de datos de campo. 51
3.2.2.1 Levantamiento Topográfico (secciones transversales). 51
3.2.2.2 Medición de velocidades. 57
3.2.2.3 Descripción de Atributos. 59
3.2.3 Simulación Hidráulica. 59
3.2.3.1 Simulación de Niveles de Superficie Libre (NSL). 59
3.2.3.2 Simulación de Velocidades. 61
3.2.4 Simulación del Hábitat. 61
3.2.4.1 Curvas de preferencia. 62
3.2.5 Relación Caudal - Hábitat. 63

CAPÍTULO 4..... 64

RESULTADOS Y DISCUSIÓN. 64

4.1 Presentación de resultados. 64

4.1.1 Calidad del agua a través del BMWP/Col. 64

4.1.2 Análisis Físico-químicos con Multiparamétrico HANNA HI 9829..... 67

4.1.3 Modelamiento con PHABSIM. 68

4.1.3.1 Relación Caudal – Hábitat. 68

4.2 Cumplimiento de Hipótesis. 69

CONCLUSIONES. 70

RECOMENDACIONES. 71

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 74

ANEXOS 79

ANEXO I. Perfiles Transversales. 80

ANEXO 1.1 Registro de datos. 81

ANEXO 1.2 Familias presentes en el río Chulco. 90

ANEXO II. Clasificación de Sustrato. 91

ANEXO III. Análisis Físico-químicos. 92

ANEXO IV. Modelamiento con PHABSIM. 96

Ingreso de curvas de preferencia. 97

Modelamiento Hidráulico- WSL. 97

Modelamiento con HABTAM. 101

AREA. 101

PROFUNDIDAD. 105

VELOCIDAD. 108

SUSTRATO. 111

WUA. 113

ANEXO V. Registro Fotográfico. 116

ABREVIATURAS.

TULAS: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.

MAE: Ministerio del Ambiente del Ecuador.

CONELEC: Corporación Nacional Eléctrica del Ecuador.

IFIM: Instream Flow Incremental Methodology.

ECE: Estimación de Caudales Ecológicos.

PHABSIM: Physical Habitat Simulation Software.

BMWP/Col: Biological Monitoring Working Party para Colombia.

RCE: Regímenes de Caudales Ecológicos.

ELECAUSTRO S.A: Electro Generadora del Austro.

WSP: Water Surface Profile.

NSL: Nivel de Superficie Libre.

NCC: Nivel de caudal cero.

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Alcance Geográfico. 6
Figura 2: Sistema lagunar de la Microcuenca del río Chulco. 9
Figura 3: Esquema del ciclo hidrológico. 11
Figura 4. Precipitación (mm), Estación M141-El Labrado. 38
Figura 5. Humedad Relativa (%), Estación M141-El Labrado. 39
Figura 6. Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático. 45
Figura 7. Red de mano o pantalla. 46
Figura 8. Procedimiento de la Red de mano o Pantalla. 47
Figura 9. Esquema Operativo del modelo PHABSIM. 51
Figura 10. División de un Tramo en Mesohábitats. 53
Figura 11. División por Celda Centrada. 53
Figura 12. Nivel de caudal cero (NCC) (Stage of Zero Flow-SZF) 54
Figura 13. Materiales e instrumentos para el levantamiento de datos. 57
Figura 14. Aforo mediante el método por Celda Centrada. 58
Figura 15. Representación gráfica del Flujo Uniforme entre dos secciones. 60
Figura 16. Curvas de preferencia de hábitat para velocidad (16a), profundidad (16b) y tipo de sustrato (16c), de la familia Hyalellidae. 62
Figura 17. Relación entre Índice de BMWP/Col vs. Caudal. 65
Figura 18. Número de Individuos presentes en cada sección vs. Caudal circundante. Mes Septiembre. 66
Figura 19. Número de Individuos presentes en cada sección vs. Caudal circundante. Mes Octubre. 66
Figura 20. Número de Individuos presentes en cada sección vs. Caudal circundante. Mes Noviembre. 67
Figura 21. Relación Caudal – Hábitat de la familia Hyalellidae. 68
Figura 22. Ubicación de las Secciones Transversales. 95

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Cantidad y distribución del agua en la Tierra. 8
Tabla 2: Principales propiedades del agua. 9
Tabla 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. 35
Tabla 4. Inventario de drenajes de aporte y caudales captados del área de estudio... 40
Tabla 5. Datos de ubicación de las fallas. 40
Tabla 6. Ubicación de los puntos de muestro de Calidad de Agua Superficial. 41
Tabla 7. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col..... 48
Tabla 8. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col., significado y colores para representaciones cartográficas. 49
Tabla 9. Parámetros analizados en el equipo HANNA HI 9829..... 50
Tabla 10. Clasificación de Mesohábitat Fluvial..... 52
Tabla 11. Puntos para determinar las secciones transversales. 55
Tabla 12. Calidad ecológica – BMWP/Col del río Chulco, mes de Septiembre. 64
Tabla 13. Calidad ecológica – BMWP/Col del río Chulco, mes de Octubre..... 64
Tabla 14. Calidad ecológica – BMWP/Col del río Chulco, mes de Noviembre..... 65

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema.

El recurso agua es indispensable para el desarrollo de la vida en el planeta, además de emplearse como líquido vital para el bienestar social y el desarrollo económico. El agua dulce de alta calidad es limitada en nuestro planeta, de ahí la necesidad de una gestión integral en la que se asegure el mejor uso de este recurso, esta gestión debe prevenir la contaminación y reducir los conflictos que usualmente genera el acceso al agua dulce (OMS, 2003).

En el mundo, una de las actividades que afectan a los recursos hídricos es la demanda de energía eléctrica[1] (ARIAS V., 2012) con el propósito de satisfacer las necesidades de la población. Según Alternativa, en el 2013 las plantas hidroeléctricas suministran 650,000 megavatios de energía en todo el mundo. De igual manera, la demanda de agua junto a la construcción de represas presenta una tendencia de crecimiento, provocando en el mayor de los casos una alteración hidrológica extensiva e intensiva.

Al caudal que debe ser reservado para mantener la ecología fluvial en condiciones admisibles, aguas abajo de las obras o aprovechamientos hidráulicos que alteren los regímenes originales o naturales de flujo de una corriente, se le denomina caudal ecológico (Austria, 2011). A través de la "Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua en Centrales Hidroeléctricas[2]", establecida en el Anexo 1B, Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS) define al caudal ecológico como […] El caudal de agua que debe mantenerse en un sector hidrográfico del río, para la conservación y mantenimiento de los ecosistemas y la biodiversidad del medio fluvial.

[1] ARIAS Verónica, Los caudales ecológicos en el Ecuador: análisis institucional y legal, 2012, p. 1

[2] Acuerdo Ministerial No.155 (R.O. Nº. 41 del 14 de marzo de 2007) como *"Norma Técnica Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los sectores de infraestructura: eléctrico, telecomunicaciones y transporte (puertos y aeropuertos)"* emitido por el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE).

Adicionalmente, la Norma Ecuatoriana emitida por el Ministerio del Ambiente (MAE) e implementado por el Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC) como autoridad ambiental de aplicación responsable cuyo objetivo fue el de proteger la calidad del recurso agua, para salvaguardar y preservar la integridad de las personas así como de mantener los caudales de los cuerpos receptores de tal forma que se asegure la preservación de los ecosistemas[3], de igual forma en el literal 4.4.2.1de la misma Normativa, establece que Las Centrales Hidroeléctricas existentes deberán adoptar como caudal ecológico al menos al 10% del caudal medio anual que circula por el río […][4]; porcentaje y metodología que a la luz de los avances y conocimientos actuales es conveniente revisar y reformular. (ARIAS, 2012)

En las últimas décadas se han venido produciendo numerosos intentos para determinar el caudal mínimo necesario en los ríos, y como fruto de ello han surgido gran cantidad de metodologías para su determinación (ALCÁZAR J., 2007). Estas metodologías se pueden agrupar en cuatro grandes grupos (UNC, Bogotá, 2008): los métodos hidrológicos, hidráulicos, las metodologías de simulación de hábitat y los métodos holísticos.

Los métodos hidrológicos, son los más usados a nivel mundial (Jowett Ig., 1997; Orth y Maughan, 1981) y los más simples por ser calculados a partir de datos llamados "de escritorio[5]" (Alonso-E. y Perla E. (ed.), 2012). Dentro de este método se encuentra el Método de Tennant (1996) conocido también como Método de Montanna, y se han utilizado básicamente en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce (Arthington A.H., 1998). Tennant en 1996 desarrolló este método basándose en los resultados de numerosos estudios llevados a cabo durante diez años en once ríos de los estados de Montana, Nebraska y Wyoming (E.E.U.U) (ALCÁZAR J., 2007), encontrando relaciones entre los parámetros físicos del cauce (ancho, profundidad y velocidad del cauce) y la disponibilidad del hábitat para la especie en particular. Se fundamenta en la hipótesis de que "las condiciones de hábitat para la vida piscícola son cualitativamente muy parecidas en una corriente de agua o en otra para un mismo

[3] Acuerdo Ministerial No.155 (R.O. Nº. 41 del 14 de marzo de 2007). Op. Cit. p. 1.
[4] Ídem., p. 6.
[5] Referidos también como metodologías de porcentaje fijo, considera diferentes porcentajes del promedio anual de colección de datos del caudal para distintas condiciones o categorías de ríos.

porcentaje del caudal medio anual*"* (MAYO M., 2000)[6]. El método divide el año en dos períodos, en cada uno de los cuales recomiendan porcentajes del caudal medio interanual mediante la siguiente categoría: Abundante, Rango óptimo, Excepcional, Excelente, Bueno, Degradación, Pobre o mínimo, y Degradación severa., para lograr una calidad de hábitat fluvial determinada. Así, en el primer período que comprenden los meses de octubre a marzo de acuerdo a la categoría expuesta anteriormente se exponen los siguientes porcentajes: 200, 60-100, 40, 30, 20, 10, 10 y menor a 10; mientras que para el segundo período de abril a septiembre establecen rangos de: 200, 60-100, 60, 50, 40, 30, 10 y menor a 10., respectivamente.

Por consiguiente, el 10 por ciento del caudal medio interanual considerado en el Método de Tennant es un mínimo a respetar imperativamente, para evitar una fuerte degradación del medio.

CASTRO et al., en el 2010 mencionan que:

> Se trata de un valor que no garantiza ni la vida acuática, ni la sostenibilidad del ecosistema, ni los servicios ambientales que presta. De igual manera, la falta de reglamentación y conocimiento en este sentido ha dejado en libertad al diseñador o extractor de conservar en el río solo el 10% del caudal medio anual y, en algunos casos, del mínimo anual, criterio que no tiene fundamento teórico ni técnico y es más bien una copia de reglamentaciones extranjeras. (CASTRO et al., 2010).[7]

Además, que, las especies dominantes en cada río tendrán condiciones de habitabilidad diferentes a las adoptadas en el Método de Tennant[8].

En este sentido, expertos en el tema de caudales ecológicos y en especial el Grupo de Ecohidrología Fluvial de la Universidad de Valladolid –España apoyado por el Profesor Doctor Juan Manuel Diez Hernández señala que la Metodología PHABSIM-IFIM […] "Es la más utilizada y contrastada científicamente en el ámbito mundial para la Estimación de Caudales Ecológicos (ECE), por lo cual es considerada como estándar internacional de mejores técnicas por bancos multilaterales y autoridades ambientales" (Diez Hernández, 2014). Otros estudios en el ámbito nacional que han tenido éxito en su aplicación es en la Provincia del

[6] MAYO Martín, *Determinación de Regímenes de Caudales Ecológicos Mínimos: Adaptación del Método IFIM-PHABSIM y Aplicación a los ríos Españoles* 2000. p. 37.
[7] CASTRO Lina, CARVAJAL Yesid., MONSALVE Elkin., *Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental*. 2010. p. 3.
[8] Ídem., p. 7.

Guayas (Moreno Vera, 2012)[9], que precisa de información sobre la relación entre la densidad de organismos acuáticos y variables hidráulicas de velocidad, profundidad y sustrato[10].

Haciendo hincapié en estos hechos, consideramos necesario aplicar un estudio en el que se determine el caudal ecológico en el río Chulco: entre la Represa El Labrado y la zona de captación para la hidroeléctrica Saymirín mediante la aplicación del Método **Physical Habitat Simulation Software (PHABSIM),** en base a las preferencias biológicas de una especie del sitio; garantizando la cantidad de agua necesaria aguas abajo de la represa para la conservación de la biodiversidad del medio fluvial.

1.2 Hipótesis:

1.2.1 Hipótesis Nula.

La cantidad de agua que descarga la Represa El Labrado como caudal ecológico es suficiente para mantener los procesos ecológicos que se dan aguas abajo de la represa mediante el análisis del método PHABSIM.

1.2.2 Hipótesis Alternativa.

La cantidad de agua que descarga la Represa El Labrado como caudal ecológico no es suficiente para mantener los procesos ecológicos que se dan aguas abajo de la represa mediante el análisis del método PHABSIM.

[9] MORENO V. Leopoldo H., "Modelamiento del caudal ecológico del río Daule: Sector planta La Toma", Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Guayas, 2012. p. 194.
[10] Santacruz, I., Lucía, M., Palacios, M., y Milena, S. ECOLOGICAL FLOW REGIMEN, MANAGEMENT TOOL TO PRESERVE ACUATIC BIOTA. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, *23*(2), 2013, 77–94.

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo General.

Determinar el caudal ecológico entre la Represa El Labrado y la zona de captación para la hidroeléctrica Saymirín, mediante el Método Physical Habitat Simulation (PHABSIM).

1.3.2 Objetivos Específicos.

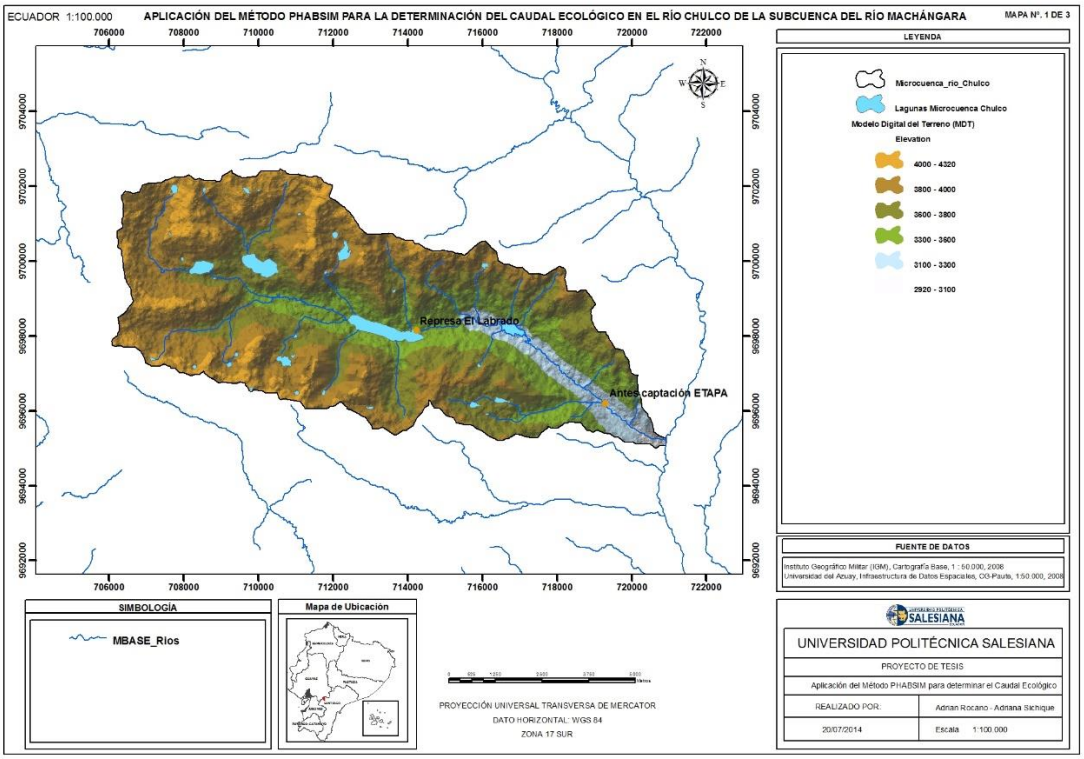
- ✓ Determinar la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos en la zona de estudio.
- ✓ Aplicar el Método Physical Habitat Simulation (PHABSIM).
- ✓ Establecer propuestas generales de conservación de la biodiversidad del medio fluvial en la zona de estudio.

1.4 Alcance de la Tesis.

1.4.1 Alcance Geográfico.

El alcance geográfico del presente proyecto de tesis esta dado en la sección longitudinal del río Chulco comprendido entre la Represa El Labrado y la zona de captación para la hidroeléctrica Saymirín, perteneciente a la Subcuenca del río Machángara.

Figura 1. Alcance Geográfico.



Fuente: Instituto Geográfico Militar, 2008, Base Cartográfica Nacional, escala 1:50000; CG-Paute, 2008.

Elaboración: Los Autores.

1.4.2 Alcance Técnico.

El análisis técnico del presente estudio es la determinación del caudal ecológico en el río Chulco entre la Represa El Labrado y la zona de captación para la hidroeléctrica Saymirín, mediante el Método Physical Habitat Simulation (PHABSIM), el mismo que se realiza en base a los requerimientos bióticos de una especie representativa del sitio.

1.5 Estructura de la Tesis.

El presente documento está estructurado de la siguiente manera:

En el **Capítulo 1 – Introducción,** se indicará de manera general la problemática acerca de la conservación de los recursos hídricos, así como las metodologías usadas para determinar y/o establecer regímenes de caudales ecológicos (RCE). Adicionalmente se plantea la hipótesis Nula y Alternativa, objetivos generales y específicos, alcance geográfico y técnico del proyecto de tesis.

En el **Capítulo 2 – Revisión Bibliográfica,** se proporcionará una breve descripción e importancia del agua como recurso indispensable para la existencia de vida, enfocado al estudio del caudal ecológico en las obras civiles. A su vez se dará a conocer el marco legal que existe a nivel local sobre caudal ecológico, adicionalmente las características más relevantes del área de estudio.

En el **Capítulo 3 – Metodología usada,** se describe toda la información relevante con respecto a las metodologías que se considera para la determinación de la calidad del agua a través del Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col) y el Método de Simulación del Hábitat con Physiscal Habitat Simulation (PHABSIM).

En el **Capítulo 4 – Resultados y Discusión,** se indican los resultados y la discusión de la aplicación del método PHABSIM para la determinación del caudal ecológico en el río Chulco de la Subcuenca del río Machángara; así como la calidad del agua a través del Método BMWP/Col y el establecimiento de propuestas generales de conservación de la biodiversidad del medio fluvial en la zona de estudio.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se proporcionará una breve descripción del agua y su importancia como recurso indispensable para la existencia de vida, enfocado al estudio del caudal ecológico en las obras civiles. A su vez se dará a conocer el marco legal que existe a nivel local sobre caudal ecológico, y las características más relevantes del área de estudio.

2.1 El Agua.

2.1.1 El Recurso Hídrico.

El agua es uno de los recursos más preciados de nuestro planeta. De toda el agua del planeta la mayor parte se encuentra en los océanos como agua salada. Y según (FAO, 2002 en PARADA-PUIG, 2012), el agua que está económicamente disponible para ser usada por el hombre (agua dulce en ríos, lagos y acuíferos) representa apenas el 0.001% del agua estimada del planeta y equivale a entre 9000 y 14000 km^3 al año.

Tabla 1: Cantidad y distribución del agua en la Tierra[11].

Agua de mares y océanos	$1{,}35.10^9$ km^3
Agua dulce de ríos, lagos y subterráneas	$7{,}5.10^5$ km^3
Agua de hielo polar y de cumbres	$2{,}5.10^7$ km^3
Agua de vapor atmosférico	$5{,}1.10^4$ km^3
Agua total de la hidrósfera	$1{,}4.10^9$ km^3

Fuente: (Rodríguez M., en MARÍN V., OCHOA R., y PRADO F., 2010)

De lo anterior se puede decir que el agua para beber sólo es un porcentaje muy reducido del total. Y que frente a los conflictos que se presentan en la actualidad, con

[11] MARÍN V., L. M., OCHOA R., J. A., y PRADO F., K. V. *Análisis comparativo in vitro de la actividad biodegradadora de bacterias del género Pseudomonas sp. y microorganismos nativos, para su uso en un proceso de biorremediación in situ de sales de cianuro* (Tesis). 2010 http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1524

los planteamientos erróneos de considerar al agua inagotable y por ende un bien de consumo disponible, han provocado el incremento de la degradación del recurso y de los ecosistemas que lo generan. De ahí la importancia en la protección y el manejo del recurso de una manera sostenible y sustentable.

Por otra parte, el agua cumple múltiples funciones entre ellas contribuye en la formación del clima además que todos los seres vivos la necesitan para vivir y están formados por ella (el peso de todo organismo animado constituye el 50 y el 90% del líquido vital).

Figura 2: Sistema lagunar de la Microcuenca del río Chulco.

Fuente: Los Autores.

Las principales propiedades del agua se resumen en la **Tabla 2**:

Tabla 2: Principales propiedades del agua.

Propiedades del agua	
Estado físico	sólida, líquida y gaseosa
Densidad a 4 ºC	1000 g/mL.
Densidad a 0 ºC	0.99987 g/mL.
Punto de congelación	0 ºC
Punto de ebullición	100 ºC
Presión crítica	217.5 atm.
Temperatura crítica	374 ºC

Fuente: (Daub y Seese, 2005)

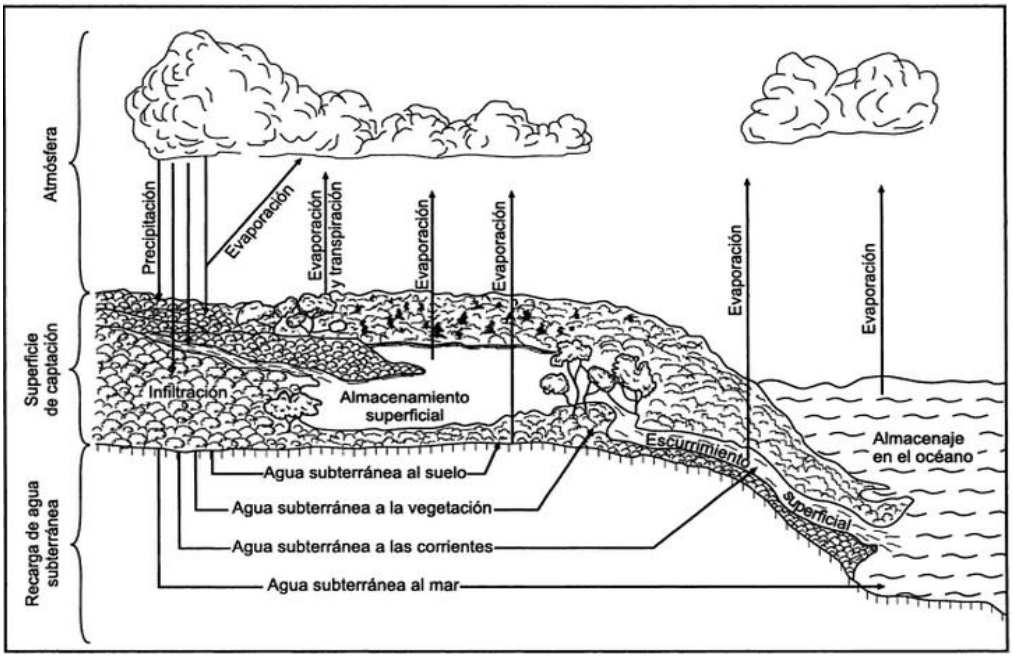
2.1.2 Ciclo hidrológico.

El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta un constante dinamismo en el cual se definen diferentes etapas o fases; éstas, por su manera de enlazarse, generan un verdadero ciclo, ya que su inicio ocurre donde posteriormente concluye[12]. El ciclo del agua proporciona a la sociedad un flujo constante de beneficios. El abastecimiento de agua para las plantas, animales y el hombre. Además la interacción equilibrada de ríos, lagos y otros ecosistemas de agua dulce que brindan bienes y servicios muy importantes para la humanidad.

El ciclo hidrológico no tiene un camino único, es por ello que existen diferentes teorías que en su mayoría no concuerdan sobre Cuál es el inicio del ciclo o Desde donde inicia el mismo. Aranda, en 1984 supone que el ciclo hidrológico se inicia con la evaporación del agua en los océanos, de la misma manera Maderey R. y Colaborador, en el 2005 explican que se parte de la nube como elemento de origen, en la cual se tienen distintas formas de precipitación, con lo que se puede considerar que inicia el ciclo[13] y que posteriormente atraviesa en constante equilibrio a través de los procesos de evaporación y transpiración, y estos a su vez con los de precipitación y escorrentía denominándose así el balance hídrico del sistema.

[12] Maderey R., L. E., y Colaborador, J. R. *Principios de Hidrogeografia. Estudio Del Ciclo Hidrológico* (Núm. 1.). México: UNAM. (2005). p. 11.
[13] Ídem, p. 11.

Figura 3: Esquema del ciclo hidrológico.



Fuente: Adaptado de (Maderey R. y Colaborador, 2005)

Breña y Jacobo en el 2006 denominan al ciclo hidrológico como un sistema global que se puede subdividir en tres subsistemas: uno atmosférico, uno de agua superficial y uno de agua subterránea[14].

2.1.2.1 Subsistema atmosférico:

Abastece de la precipitación, la evaporación y la evapotranspiración (combinación de evaporación y transpiración).

La primera, se refiere a la caída de partículas de agua de forma líquida o sólida; es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, por tal motivo la importancia del conocimiento y evaluación, tanto en el tiempo como en el espacio[15].

[14] BREÑA, P. A. F., y Jacobo, V. M. A. *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana Ciudad de México, 2006.
[15] Maderey R., L. E., y Colaborador, J. R. Op. Cit. p. 15.

La evaporación (fenómeno que se origina por la incidencia de la energía proveniente del Sol y de la atmósfera alta); es el paso del agua en estado sólido o líquido al estado gaseoso invisible[16].

No obstante la cantidad o facilidad de evaporación dependerá de un sin número de factores, entre ellos: gran superficie de contacto con el aire, temperatura (aumenta la energía cinética, lo cual provoca un aumento de velocidad de las moléculas siendo mayor el número que pasa a la atmósfera), radiación solar, presión atmosférica, viento.

Si existe una cubierta vegetal, se presenta el efecto combinado denominándose evapotranspiración; depende de la influencia de las condiciones atmosféricas sobre el sistema agua-suelo-planta.

2.1.2.2 Subsistema del agua superficial:

La precipitación se considera como elemento de entrada. Una vez eliminada el agua de las nubes a través de la precipitación, es interceptada (almacenamiento superficial); una parte del volumen se transformará en escurrimiento sobre la superficie del terreno, el cual a su vez tomarán diferentes trayectorias, una de ellas llegar al sistema de drenaje del área de captación para formar el escurrimiento superficial; parte de estos escurrimientos saldrán del sistema como infiltración al subsistema subterráneo o bien como escurrimiento por medio de los sistemas de drenaje regionales que finalmente llegaran al océano[17].

2.1.2.3 Subsistema del agua subterránea:

Como elemento de entrada para el presente subsistema corresponde la infiltración. Parte del volumen infiltrado atraviesa profundamente el suelo hasta llegar al

[16] BOLÍVAR C.J.P. *El agua. Sus formas efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación.* ECOE EDICIONES, 2004.
[17] BREÑA, P. A. F., y Jacobo, V. M. A. Op. Cit. p. 12.

almacenamiento del agua subterránea; la otra parte se almacena en la región intermedia entre la superficie del terreno y el almacenamiento del agua subterránea de mayor profundidad. En las dos zonas mencionadas del subsuelo sucede el desplazamiento del agua: en el primer caso, se trata del flujo subterráneo, y en el segundo caso se trata del flujo subsuperficial (Breña y Jacobo, 2006).

Los flujos de agua subterráneas desde el punto de vista ambiental, son muy notables ya que en el caso de los humedales son alimentados constantemente de flujos subterráneos. En este sentido, cualquier cambio que modifique el régimen de flujo del agua subterránea hacia la zona húmeda, le afecta rápidamente (Geta y Fornés, 2009).

El flujo subsuperficial se presenta inmediatamente por debajo de la superficie del terreno; es generalmente local y además es un proceso importante entre diferentes variables del subsistema. A medida que el agua percola en el suelo subsuperficial, se forma una zona no-saturada y otra saturada.

En la parte superior de la primera zona (zona del suelo), se presentan espacios creados por las raíces de las plantas permitiendo el paso de la precipitación y que el agua se infiltre dentro del suelo. Mientras que por debajo de la zona no-saturada (zona saturada), el agua ocupa por completo los espacios que se encuentran entre las partículas del suelo y las rocas[18].

2.2 IMPORTANCIA DEL AGUA PARA EL ECOSISTEMA.

Es de gran interés plasmar de manera general el concepto de ecosistema para poder explicar sobre la importancia del mismo frente al recurso hídrico; en este sentido no es fácil definir qué es el ecosistema puesto que su campo de estudio es extraordinariamente amplio y complejo. Por este motivo, a lo largo de la historia cada autor ha aportado su propia visión con respecto al tema:

[18] U.S. Geological Survey. *El ciclo del agua: The water cycle*, 2014.

EL ECOSISTEMA ES:
Unidad que incluye la totalidad de los organismos de un área determinada que actúan con un medio físico e intercambian energía. (Monge-Nájera, Figueroa, Rossi, y Editorial, 2002).
Comunidad de los seres vivos cuyos procesos vitales se relacionan entre sí y se desarrollan en función de los factores físicos de un mismo ambiente[19].
Sistema formado por elementos vivos y no vivos de la naturaleza. (Valdés y Cano-Santana, 2005).
Es un conjunto de variables de naturaleza orgánica e inorgánica que se interrelacionan entre sí. (*Territorios Inteligentes*, 2008).

La mayoría de definiciones coinciden parcialmente, y en definitiva, puede deducirse que el ecosistema incluye tanto a los organismos (bacterias, hongos, plantas y animales) como a su medio abiótico (el clima, los suelos) de cualquier lugar definido. Las comunidades que integran un medio, que juntos, establecen una serie de relaciones complejas que dan lugar a un sistema funcional.

De lo expuesto anteriormente, en el ecosistema como sistema funcional que experimenta la interacción entre los elementos bióticos y abióticos en un espacio y tiempo, transformación de la materia y energía disponibles en el ambiente, el agua juega un papel determinante[20], por tal motivo es necesario e imprescindible disponer la presencia del líquido para completar múltiples funciones (elemento integrador) entre los diferentes elementos que lo conforma.

En este sentido, el agua, a lo largo de todo el ciclo hidrológico interviene de una manera directa o indirecta en la mayoría de los procesos funcionales del ecosistema, Ávila G., en el 2003 los clasifica de la siguiente manera:

- ✓ Humedad atmosférica.
- ✓ Lluvia.
- ✓ Humedad del suelo.
- ✓ Agua en las plantas.

[19] DRAE., Diccionario de la Real Academia Española, 2001, 23ra.
[20] ÁVILA G., P. A. *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI: México desde una perspectiva global y regional*. El Colegio de Michoacán A.C., 2003.

- ✓ Escorrentía.
- ✓ Agua en la superficie del suelo.

2.2.1 Humedad atmosférica.

El agua que se encuentra en forma de nubes en la atmósfera, cumple la función de modificar la cantidad de radiación que entra y sale del ecosistema; es decir, refleja al espacio una parte importante de la radiación de longitud de onda corta que llega a la Tierra (albedo), mientras que retiene la radiación de longitud de onda larga que emite la Tierra (efecto invernadero)[21].

La concurrencia de vapor de agua de la atmósfera en las inmediaciones de la superficie terrestre, en especial la expresada como humedad relativa, controla los procesos de evaporación del suelo y transpiración por parte de la vegetación. La primera también denominada primera etapa de la evaporación, es de vital importancia en la Agronomía e Hidrología para aprovechar o predecir el comportamiento del agua; es decir, cumplir con su papel regulador térmico en la atmósfera y por la pérdida del recurso desde un depósito tan accesible para el hombre como es el suelo (Giráldez, Vanderlinden, y M. ten Berge, 1999).

De igual manera, como ya se expresó, la evaporación del agua en el suelo está determinada por los factores meteorológicos descritos en el inciso 2.1.2.1 (Subsistema atmosférico), más aquellos que influyen en el abastecimiento de humedad como son[22]: contenido de humedad del suelo, profundidad del nivel freático, presencia de vegetación; esta última, se encuentra ligada a la transpiración por parte de las plantas, en la cual el agua es absorbida del suelo por las raíces y transportada por el tallo a las hojas en donde pasa (es transpirada) bajo forma de vapor de agua a la atmósfera (FAO, 2005).

2.2.2 Lluvia.

El agua gracias al ciclo hidrológico que desciende desde las nubes en forma de lluvia o nieve, lava la atmósfera de desechos gaseosos a la vez que disuelve una gran cantidad de sustancias provenientes de la tierra (Zapata, 2002). Existen ecosistemas cuya fuente principal de entrada de nutrientes lo constituyen los elementos minerales

[21] ÁVILA G., P. A. Op. Cit. 109.
[22] ARANDA, D. F. C. *Procesos del ciclo hidrológico*. UASLP, 1984

precipitados junto con la lluvia; tal es el caso de áreas importantes en el Amazonas (Jordan, 1982; Ávila G., 2003).

Una vez que el agua lluvia enriquecida de minerales cruza por la vegetación lavando las hojas de las plantas alcanza la superficie terrestre sufre el fenómeno denominado translocación que resulta indispensable su presencia en algunos ecosistemas que carecen de elementos minerales del suelo (como mecanismo para solventar este problema las hojas han desarrollado adaptaciones para disminuir la pérdida de nutrientes por esta vía) (Jordan, 1985 en ÁVILA G., 2003).

Por otra parte la presencia de la vegetación es clave en la regulación del tipo de flujo en los ríos, arroyos, principalmente en las crecidas.

Una Cuenca o Subcuenca hidrográfica con vegetación retiene el agua de lluvia ya que las raíces favorecen la infiltración y el suelo actúa como una esponja. No obstante la ausencia de la vegetación hace que disminuya la infiltración del agua y por consiguiente la acumulación de gran parte del agua provocando de forma inmediata una crecida instantánea y de poca duración.

Finalmente las relaciones entre precipitación y temperatura media dan lugar a los grandes tipos de climas que a su vez influyen de forma trascendental en los tipos de vegetación y por ende en el flujo de los ríos y arroyos.

En este sentido, Bolívar, en el 2004 alude que el clima varía desde el Ecuador a los Polos a causa principalmente de dos factores: la temperatura y la precipitación y por consiguiente de las presiones atmosféricas y de oxígeno[23], por lo que, a medida que aumenta la altura en las montañas o se va hacia los polos la presión disminuye lo que indica mayor presencia de lluvias.

2.2.3 Humedad del suelo.

Una vez que el agua se encuentra en el suelo, diluye los elementos minerales poniéndolos en solución, lo que resulta un factor importante de acarreo de nutrientes minerales hacia horizontes más profundos.

[23] BOLÍVAR, C.J.P. Op. Cit. p. 35.

La cantidad de humedad del suelo que permanece disponible un cierto tiempo para las plantas depende de la textura y la porosidad del mismo, su volumen anterior de humedad, es volumen perdido por evaporación directa (FAO, 2005).

De igual manera, la cantidad de agua constituye un medio para el desarrollo de un sin número de microorganismos que realizan importantes procesos funcionales (Schelesinger, 1991; Ávila G., 2003), entre ellas la degradación de la materia orgánica. Asimismo el agua forma parte de los procesos físicos y químicos para la de descomposición de rocas y minerales del suelo.

La absorción de los minerales por parte de las plantas, resulta un mecanismo que depende en gran medida de la humedad atmosférica y de la humedad en el suelo. Cuando existe un suelo bien constituido y sobre todo la presencia de bosque, gran parte de agua lluvia es acumulada en el suelo y usada por las plantas. Parte del agua que no es usada regresa en forma de vapor a la atmósfera mediante el proceso de transpiración. Sin embargo, la degradación física del suelo, la disminución de la humedad del suelo, el crecimiento restringido de las raíces son factores que fundamentalmente afectan el crecimiento de las plantas.

2.2.4 Agua en las plantas.

El agua en la plantas a más de brindar los minerales y nutrientes necesarios para su crecimiento, desarrollo y productividad, cumple como regulador de la temperatura tanto en plantas como en animales (tal es el caso de la liberación de sudor para enfriarse), por tal motivo, se requiere la disponibilidad del agua en el suelo en cantidades moderadas.

La poca disponibilidad de agua en el suelo puede ocasionar que la transpiración exceda el agua absorbida por las raíces, lo que se conoce como estrés hídrico (Manns y Tester, 2008; Luna, Estrada, Jiménez, y Pinzón, 2012).

2.2.5 Escorrentía.

El agua que llega al suelo y no es retenida por éste, ni es absorbida por la vegetación, escurre por efectos de la gravedad a puntos más bajos del relieve, siguiendo la ruta que dicta la topografía, las condiciones del suelo y las capas litológicas[24]. La ruta que viaja el agua normalmente está condicionada por la velocidad y calidad del recurso que descarga en la parte baja de la Cuenca Hidrográfica, y corre hacia los ríos, los cuales descargan a los océanos.

Las lluvias intensas, las fuertes pendientes y los suelos pocos firmes por la ausencia o nula vegetación dan lugar a fuertes escorrentías de superficie y por consiguiente una disminución de las aguas subterráneas, sin embargo, con el manejo adecuado de las zonas montañosas (zonas de producción de agua), se consigue la protección de los suelos contra la erosión y la regulación de las aguas de escorrentía.

2.2.6 Agua en la superficie del suelo.

La cantidad de agua almacenada en el suelo, en función de sus características de textura y estructura, representan la reserva de donde las plantas absorben las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y nutrimentales (Fassbender, 1993). Adicionalmente, el agua juega un papel muy relevante en el control del microclima local, a través del albedo (fracción de radiación de longitud de onda que es reflejada por una superficie). El agua, dependiendo del estado en el que se encuentre, ya sea sólida, líquida o gaseosa tendrá una gran influencia en el albedo del ecosistema[25].

2.3 IMPORTANCIA DEL CAUDAL EN EL RÍO.

Las zonas montañosas son las principales fuentes de generación del recurso, que junto con el aporte de las precipitaciones acumulan el líquido en la superficie terrestre. Si las precipitaciones son inferiores a lo normal durante períodos de tiempo

[24] ÁVILA G., P. A. Op. Cit. p. 111.
[25] Ídem. P. 112.

extremadamente largos, el río puede llegar a secarse pudiendo tener consecuencias desastrosas para la vida del río, sus riberas y demás organismos vivos que dependen de éste elemento sustancial.

Normalmente, el caudal del río aumenta aguas abajo, a medida que se van recogiendo las aguas de la cuenca de drenaje y los aportes de otros ríos que se unen a él como tributarios[26]. Por tal motivo, los ríos de las montañas (cerca de su nacimiento) suelen ser pequeños, y muchos mayores conforme descienden a la parte baja de la cuenca.

Kramer en el 2003, afirma que el caudal de los ríos, su variaciones y su regularidad, son de gran importancia para los seres vivos -plantas, animales y personas- que viven a los largo de su curso. Los ríos y las llanuras que inundan periódicamente constituyen el sostén de diversos y valiosos ecosistemas en donde al discurrir el agua dulce está la base de la vida y de sus cadenas tróficas. En el cauce de los ríos, podemos encontrar comunidades de peces, macros bentos (indicadores de la calidad del agua), insectos, comunidades de vida vegetal y animal.

Los ecosistemas fluviales están entre los más importantes de la naturaleza, así lo considera Kramer, 2003. Sin embargo, su existencia depende totalmente de su régimen hidrológico, es decir de las variaciones de su caudal[27]. La nula o baja perturbación que estos sufran, hará de él un único hábitat disponible para especies endémicas que han evolucionado en condiciones de particular turbidez, menor oxidación y en dependencia mutua con otras especies locales sigan su curso (Sánchez, 2007). Por el contrario, una actuación humana poco responsable que altere ese régimen o lo degrade mediante contaminación, puede ocasionar efectos desastrosos para el ecosistema de ribera y para la vida.

[26] KRAMER, F. *Educación ambiental para el desarrollo sostenible*. Los Libros de la Catarata, 2003.
[27] Ídem. p. 149.

2.3.1 CAUDAL ECOLOGICO.

Una vez realizado la revisión exhaustiva de definiciones que se plantean a nivel mundial sobre caudal ecológico, el Centro de Derecho Ambiental propone la definición de caudal ecológico que se menciona a continuación:

> Es aquel régimen hídrico que se establece en un cuerpo de agua, como una alternativa que busca encontrar un equilibrio entre las necesidades del ambiente y las humanas, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural (flora y fauna), y todas la funciones ambientales, cuya presencia contribuye a la sostenibilidad socioeconómica de los usuarios del recurso. (Terneus, 2014).

De igual manera, a través de la Norma Ambiental Ecuatoriana en su libro sexto, Anexo 1B; para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua en centrales hidroeléctricas menciona que; el caudal ecológico es:

> Es el caudal de agua que debe mantenerse en un sector hidrográfico del río, para la conservación y mantenimiento de los ecosistemas y la biodiversidad del medio fluvial. Mismo que deberá ser representativo del régimen natural, deberá ser compatible con los requerimientos físicos de la corriente fluvial para mantener su estabilidad y cumplir todas sus demandas, además del mantenimiento de las características paisajísticas del medio. Los sectores hidrográficos donde se deberán mantener caudales ecológicos deberán ser definidos de acuerdo al tipo de central y de acuerdo con las características morfológicas e hidrográficas del sector. El caudal ecológico será proporcional y estará directamente relacionado con el caudal de salida o generación de la central, sin embargo el mismo deberá ser determinado y mantenido en los tramos fluviales que sufrirían alteraciones por la operación de la central. [28]

De lo antes expuesto, podemos decir que el caudal ecológico es un instrumento de gestión que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad[29].

La predictibilidad de los caudales posee una significación ecológica primordial, ya que el ciclo vital de muchas especies del cauce y de las márgenes está configurado para aprovechar o eludir caudales de diferentes magnitudes. Por ejemplo, la secuencia natural de los caudales extremos (altos y bajos) obstaculiza la intromisión

[28] Acuerdo Ministerial No.155. Op. Cit. p. 18.
[29] 10 th International River Symposium and Environmental Flow Conference, Brisbane, Australia, Septiembre, 2007.

de especies exóticas de peces y proporciona señales ambientales a las especies autóctonas para iniciar el desove (Montgomery et al., 1983).

El principal limitante para la definición del caudal ecológico ha sido la falta de información biológica e hidráulica que permita asociar un volumen de agua determinado con las necesidades ecológicas de las comunidades acuáticas[30]. Sin embargo, en el Ecuador se ha estado dejando de lado el interés de obtener de una manera técnica la cantidad de agua necesaria para el mantenimiento de caudales ecológicos en los ríos, sobre todo en aquellos en donde se han realizado construcciones de generación eléctrica, pues cada una de las entidades que manejan estas obras no tienen un apoyo de la comunidad científica en donde puedan investigar sus proyectos, y que pasa o que pasaría a corto y largo plazo con la construcción de estas obras, a pesar de que es de gran interés nacional la aplicación de alternativas para mejorar estas condiciones y tener un mejor conocimiento de lo importante que es la conservación de agua en el río con cantidad y calidad que no afecte los ecosistemas naturales.

En definitiva, el enfoque de caudal ecológico trata de regular equitativamente el rol social del agua, pero reconoce explícitamente que el mantenimiento de ese rol social depende del mantenimiento de la salud y la funcionalidad de los ríos como ecosistemas (Terneus, 2014). Dicho de otro modo, el enfoque de caudal ecológico lo que busca es tener una relación equilibrada de uso y permanencia de agua en el río, es decir que cada una de las actividades antropogénicas o creadas por el hombre no afecten a las condiciones de vida de los ríos, sino que tenga una relación en donde el hombre debe respetar lo que le brinda la naturaleza[31].

Un gran desafío que enfrentan los países andinos es encontrar la manera de satisfacer las crecientes demandas humanas de agua y energía sin comprometer la biodiversidad y la función ecológica de los ecosistemas ribereños. Debido al ritmo y la intensidad de las alteraciones fluviales en la actualidad, existen la urgente necesidad de desarrollar estándares de manejo de caudal ambiental para preservar los

[30] ROSERO Daniela, Restauración del Capital Natural, Restauración hidráulica y ecológica en el Rio Guayllabamba, septiembre de 2009.

[31] RAE, Asociación de individuos animales o vegetales de diferentes especies, sobre todo si los simbiontes sacan provecho de la vida en común, 2001.

ecosistemas, que puedan aplicarse con efectividad en un contexto regional (Anderson et al., 2014).

En el Ecuador, existe un número reducido de centrales hidroeléctricas que tienen algún interés en restaurar el ecosistema acuático, la orografía natural de la zona de represamiento y el cauce seco aguas abajo. Sin embargo, el Complejo Hidroeléctrico Machángara a través del Plan de Manejo Ambiental de las Centrales Hidroeléctricas de Saucay y Saymirín de propiedad de la empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A., se encuentra en constante monitoreo de la calidad del agua con la finalidad de establecer el caudal ecológico en la zona. Pero, el costo económico que representa aleja las posibilidades de un proyecto inmediato, poniendo de manifiesto intereses a largo plazo[32].

Es por esto que las sociedades actuales en cada uno de los proyectos de generación eléctrica están tomando acciones para la conservación de ecosistemas con el objetivo de identificar, mejorar y controlar posibles daños ocasionados al ambiente, sobretodo en las zonas de aprovechamiento, pues gran parte de estas zonas, el agua no solo se utiliza como fuente para generación eléctrica, sino para otros usos como: agricultura, ganadería, riego y principalmente para el consumo humano. Generalmente las obras hidráulicas se construyen en la parte alta o media de una Cuenca o Subcuenca, es por ello que resulta necesario el estudio de cada una de estas zonas y a la ves verificar si existe una afección e inmediatamente subsanar de una manera técnica en caso de existir dicha afección.

En respuesta a las nuevas políticas que están siendo desarrolladas en el mundo para asegurar prácticas sostenibles y responsables, se están aplicando técnicas de estimación del régimen de caudal ambiental para ayudar a reducir los impactos. Es así como en muchas partes del mundo se trabaja constantemente en establecer o tener una mayor proximidad sobre cuáles son los caudales que deben permanecer en un río después de un aprovechamiento, definiéndolo bajo varios parámetros y manejando diferentes componentes como la hidráulica, la hidrología, la ecología.[33]

[32] ROSERO Daniela, Op. Cit. p. 12.
[33] CASTRO et al., Op. Cit. p. 10.

Los estándares de caudal ecológico pueden ser umbrales de manejo restrictivos – diseñados para limitar las extracciones de agua o umbrales activos de manejo- diseñados para controlar la liberación de agua procedente de las repesas (Proff et al., 2010).

2.3.1.1 Equilibrio entre necesidades hídricas de los seres humanos y conservación de los ecosistemas.

Cada una de las personas que hacen uso del recurso agua en general no tiene conocimiento de donde procede ese líquido vital, pero sin duda alguna no sabe administrarla de una buena manera, sino que por ejemplo lo mal gasta o lo deja la llave abierta. Por encima de que no existe una buena administración también hay obras que se da un "despilfarro" de este recurso sin protección alguna.

En los últimos años se viene reconociendo que respetar el valor de los ecosistemas implica dejar suficiente agua en las corrientes hídricas y que la extracción necesaria para satisfacer las necesidades humanas básicas debe estar condicionada por la disponibilidad de la fuente. Los ríos no son sólo conductos de los cuales se extrae lo que se necesita y se desecha lo que no. Son más que eso, pues brindan servicios imprescindibles para el ser humano y los ecosistemas asociados. El inconveniente radica en establecer cuál es el caudal necesario en determinado cuerpo de agua para conservar las actividades propias de los ecosistemas y para que el hombre pueda beneficiarse del agua, sin afectar los ecosistemas acuáticos y procesos propios del río (CASTRO et al., 2010).

En el Ecuador, las represas de generación eléctrica se encuentran en la parte alta ya sea de una cuenca, subcuenca o microcuenca, con esto se puede mencionar cuán importante es la conservación del ecosistema en estas zonas, sobretodo porque son de almacenamiento de agua para luego tener un aprovechamiento antropogénico, como; generación eléctrica, agua potable, agua de riego, agricultura y ganadería. Cada una de estas actividades deben tener como objetivo el mantenimiento de un caudal ambiental y no hacer de este recurso un aprovechamiento total sino que garantizar una cantidad de agua necesaria para aquellos ecosistemas que también necesitan de líquido vital para seguir generando mayor líquido vital.

Con lo antes mencionado nos damos en cuenta que cada una de las personas que habitamos en este planeta necesitamos de este recurso que es indispensable para la vida, pero así mismo muy poca es la población que trabaja para seguir conservando este recurso llamado "recurso hídrico".

2.3.1.2 Caudal ecológico en la generación eléctrica.

Gran parte del potencial hidroeléctrico de la región andina sigue sin ser explotado. El Ecuador es un ejemplo: hasta 2007, Ecuador había explotado sólo el 15 % de su potencial hidroeléctrico estimado (Peláez-Samaniego, 2007). A nivel regional, se han propuesto muchas más represas y esto dará lugar a un aumento de la fragmentación y alteración del caudal en los ríos (Anderson et al., 2014).

El desarrollo hidroeléctrico en el ámbito mundial no ha considerado suficientemente los efectos medioambientales asociados a las presas y las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs), lo cual ha contribuido al deterioro actual de muchos sistemas fluviales. Prescindiendo de posibles justificaciones de las decisiones pasadas (basadas en criterios desarrollistas con sensibilidad ambiental limitada) resulta innegable que los nuevos proyectos de PCHs deberán incorporar de modo serio las implicaciones ecológicas de esta tecnología en expansión. El aprovechamiento hidráulico de un sistema fluvial puede resultar plenamente compatible con el mantenimiento de una integridad aceptable de los procesos ecológicos, lo cual precisa el análisis completo y equilibrado de los efectos (Sergio Olmeda Sanz 2014).

El desarrollo económico de las naciones ha evolucionado paralelamente con el incremento en el uso de los recursos hídricos. Esto ha ocasionado una fuerte presión sobre los mismos alterando el régimen natural de los ríos, los ecosistemas fluviales y limitando los bienes y servicios por los ecosistemas de agua dulce (CASTRO et al., 2010).

En el Ecuador el potencial eléctrico está creciendo de forma muy rápida en los últimos años, en el último año se ha llevado a cabo obras de generación

hidroeléctrica, particularmente Cocado Sinclair, la cual está diseñada para una generación aproximada de 1500 megavatios de potencia, es decir existe un crecimiento en el aprovechamiento de recurso hídrico muy grande para la generación eléctrica que realiza el estado.

Pues, tal como mencionan varios autores, un caudal ecológico no significa una norma, ley o reglamento de descarga, sino está en función de la zona en donde se encuentre la hidroeléctrica, pues cada zona es distinta de otra con ecosistemas diferentes y por lo tanto con necesidades diferentes.

2.3.1.3 El 10 % de caudal en el río.

La energía hidroeléctrica ha coadyuvado sustancialmente a la mejora progresiva de los estándares de calidad de vida en el ámbito mundial; y, previsiblemente seguirá jugando un papel decisivo en la generación eléctrica. El consumo eléctrico mundial durante la última década se ha incrementado en un promedio del 3 %, incluyendo una aportación de las fuentes hidroeléctricas en torno al 18 % del total generado (UPME, 2007a)

El aprovechamiento de los cursos de agua modifica, en mayor o menor grado, su régimen natural y, con ello, los caudales que mantienen los ecosistemas de flora y fauna establecidos a lo largo del río.

La conservación de estos ecosistemas exigen, por tanto, asegurar que circule por el río un régimen de caudales –los caudales ecológicos- que garantice la continuidad de aquellos. Evaluar con rigor el régimen de caudales requerido por los ecosistemas específicos en cada curso de agua, demanda estudios complejos y largos, por lo que se suele adoptar normas sencillas y del lado de la seguridad. Así, en el Ecuador se ha estimado que el caudal ecológico no debería ser inferior al 10% del caudal medio anual, en los ríos de la vertiente del Pacífico, ni al 40% en la vertiente amazónica (Rovere, 2006).

Siempre se ha considerado que la electricidad de origen hidráulico es una alternativa energética limpia. Aun así existen determinados efectos ambientales debido a la

construcción de centrales hidroeléctricas y su infraestructura (embalse, presa, canales)[34].

La idea de guardar un caudal mínimo en ríos intervenidos también es antigua. Más recientemente, apareció la idea que no solo bastaba guardar un caudal mínimo sino que se debería adaptar un caudal a la época (Fossati y Calvez, 2006).

De lo anterior, años atrás se podía decir que se necesita cierta cantidad de agua para aquellos ecosistemas pero en la actualidad no se puede seguir diciendo que se debe descargar la misma cantidad de agua que se descargaba hace seis u ocho años. En la actualidad la sociedad ha tenido grandes cambios, pues cada uno de las personas tiene una mayor demanda de agua y también hace uso de este recurso para otros fines.

El caudal ecológico está en función de los usos que le damos al agua, es por ello que, sin duda alguna se debe hacer un proyecto dentro de los proyectos de aprovechamiento del recurso, uno que garantice agua también para la conservación de ecosistemas, es muy necesario establecer límites para la población, más bien incentivar a que ahorren este recurso, tanto en generación eléctrica como en consumo humano pues estos son los dos principales usos que se le da al agua. Esto ayudará a permanecer una mayor cantidad de agua en las zonas de captación de agua

Luego de un análisis del uso y aprovechamiento que el ser humano da al agua para diferentes fines y cómo pueden los ecosistemas tener un cambio si no se mantiene una cantidad de agua en función de aquellos ecosistemas, llega la necesidad de establecer que cantidad de agua debe circular como caudal ecológico en un río, pues la mejor manera de establecer es realizando un estudio de aquel ecosistema y de sus necesidades que requiere para su conservación, para lo cual se han establecido diferentes metodologías a nivel mundial que poseen diferentes variables de estudio para determinación de caudal ecológico.

[34] SOLIS Silvia, *Diseño de un plan de mitigación para la recuperación de las áreas afectadas por la construcción de la central hidroeléctrica Ocaña, Cantón Cañar, Provincia del Cañar*, Tesis, Riobamba 2011.

2.4 MARCO LEGAL EN ECUADOR, SOBRE CAUDAL ECOLÓGICO.

Al abordar la política medioambiental y aplicarla al sector de la energía es necesario recoger una serie de problemas que respondan a las demandas sociales. Los objetivos de la sociedad son incuestionables: satisfacer las necesidades individuales y colectivas al menor costo, garantizar la seguridad del suministro de energía y proteger el medio ambiente[35].

El marco normativo de los recursos hídricos en Ecuador cuenta con múltiples disposiciones, que regulan la adquisición de derechos de aprovechamiento, dominio del agua, usos y prelación, tarifas, control de la contaminación, a aprovechamientos comunes, infracciones y penas. Sin embargo, se han omitido casi en su totalidad, las normas relacionadas con la conservación del recurso. Según las disposiciones antes mencionadas, el agua es un bien nacional de uso público y corresponde al Estado asumir una tutela especial sobre su gestión integral[36].

2.4.1 Constitución de la República del Ecuador 2008.

DERECHOS DEL BUEN VIVIR

Sección primera

Agua y alimentación

Art. 12.-El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Sección segunda

Ambiente sano

Art. 14.-Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.

[35] CASTILLO Yolanda, Pineda Franco, Muñoz Jorge, Diseño del Proyecto Hidroeléctrico "Chinchipe", Loja, 2005.
[36] M. C. French Balseca, "El derecho humano al agua en Ecuador avances, límites y retos," 2013.

CAPÍTULO Vll.

Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pachamama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.-La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tiene el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 74.-Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

CAPÍTULO lX

Responsabilidades

Art. 83.-Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

L**iteral 6:** Respetar los derechos de la naturaleza, preservar u n ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Art. 318.-El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

2.4.2 Ley de Recursos Hídricos del Ecuador.

CAPÍTULO VI GARANTÍAS PREVENTIVAS

Sección Primera Caudal Ecológico y Áreas de Protección Hídrica

Artículo 76.- Caudal ecológico. Para los efectos de esta Ley, caudal ecológico es la cantidad de agua, expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia del caudal específico y la calidad de agua expresada en términos de rango, frecuencia y duración de la concentración de parámetros que se requieren para mantener un nivel adecuado de salud en el ecosistema.

La Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional establecerá reglamentariamente los criterios, parámetros y metodologías para la determinación del caudal ecológico de acuerdo con las condiciones y las características de los cuerpos de agua, que serán considerados dentro de la planificación hídrica nacional.

Toda resolución de la Autoridad Única del Agua por la que se otorgue autorización para uso o aprovechamiento productivo del agua deberá establecer y considerar el caudal ecológico que fue determinado para ello, conforme con los criterios de la planificación hídrica nacional.

Artículo 77.- Limitaciones y responsabilidades. El caudal ecológico de los cursos permanentes de agua en toda cuenca hidrográfica es intangible.

Es responsabilidad de la Autoridad Única del Agua, de las instituciones y de todas las personas, sean usuarios o no del agua, el respetar la cantidad y calidad requerida que proteja la biodiversidad acuática y los ecosistemas aledaños.

Todas las actividades productivas respetarán el caudal ecológico.

El caudal ecológico definido no es susceptible de autorización para su uso o aprovechamiento productivo, a excepción de aquellos usos que no tenga como consecuencia la afectación en la calidad ni en cantidad del caudal ecológico. La autoridad administrativa que contravenga esta disposición, será responsable por los daños ambientales que genere y por el pago de la indemnización por daños y perjuicios ocasionados a terceros afectados o al patrimonio natural del Estado; además será sancionado de conformidad con la Ley, sin perjuicio de la nulidad de la autorización concedida.

Únicamente en el caso de declaración de estado de excepción, podrá autorizarse el uso del caudal ecológico para consumo humano, hasta tanto se adopten las medidas emergentes para garantizar nuevamente el abastecimiento.

Artículo 78.- Áreas de protección hídrica. Se denominan áreas de protección hídrica a los territorios donde existan fuentes de agua declaradas como de interés público para su mantenimiento, conservación y protección, que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria, las mismas formarán parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

La Autoridad Única del Agua, previo informe técnico emitido por la Autoridad Ambiental Nacional y en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de sus competencias, establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica que sean necesarias para el mantenimiento y conservación del dominio hídrico público.

El uso de las áreas de protección hídrica será regulado por el Estado para garantizar su adecuado manejo. El régimen para la protección que se establezca para las áreas

de protección hídrica, respetará los usos espirituales de pueblos y nacionalidades. En el Reglamento de esta Ley se determinará el procedimiento para establecer estas áreas de protección hídrica, siempre que no se trate de humedales, bosques y vegetación protectores.

Cuando el uso del suelo afecte la protección y conservación de los recursos hídricos, la Autoridad Única del Agua en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados y las circunscripciones territoriales, establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica, con el fin de prevenir y controlar la contaminación del agua en riberas, lechos de ríos, lagos, lagunas, embalses, estuarios y mantos freáticos.

CAPÍTULO VII.
OBLIGACIONES DEL ESTADO PARA EL DERECHO HUMANO AL AGUA

Sección Primera De las Obligaciones y la Progresividad

Artículo 84.- Obligaciones de corresponsabilidad.

El Estado en sus diferentes niveles de gobierno es corresponsable con usuarios, consumidores, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades del cumplimiento de las siguientes obligaciones:

a) Reducir la extracción no sustentable, desvío o represamiento de caudales;

b) Prevenir, reducir y revertir la contaminación del agua;

c) Vigilar y proteger las reservas declaradas de agua de óptima calidad;

d) Contribuir al análisis y estudio de la calidad y disponibilidad del agua;

e) Identificar y promover tecnologías para mejorar la eficiencia en el uso del agua;

f) Reducir el desperdicio del agua durante su captación, conducción y distribución;

g) Adoptar medidas para la restauración de ecosistemas degradados;

h) Apoyar los proyectos de captación, almacenamiento, manejo y utilización racional, eficiente y sostenible de los recursos hídricos; y,

i) Desarrollar y fomentar la formación, la investigación científica y tecnológica en el ámbito hídrico.

CAPÍTULO VII.
OBLIGACIONES DEL ESTADO PARA EL DERECHO HUMANO AL AGUA

Sección Segunda De los Usos del Agua

Artículo 86.- Agua y su prelación. De conformidad con la disposición constitucional, el orden de prelación entre los diferentes destinos o funciones del agua es:

1. Consumo humano;
2. Riego que garantice la soberanía alimentaria;
3. Caudal ecológico; y,
4. Actividades productivas.

El agua para riego que garantice la soberanía alimentaria comprende el abrevadero de animales, acuicultura y otras actividades de la producción agropecuaria alimentaria doméstica; de conformidad con el Reglamento de esta Ley.

Artículo 90.- Condiciones para el otorgamiento de autorizaciones de uso del agua.

Previo al otorgamiento de autorizaciones para el uso del agua, la Autoridad Única del Agua verificará el cumplimiento de las siguientes condiciones:

c) Que los estudios y proyectos de infraestructura hidráulica necesarios para su utilización hayan sido aprobados previamente por la Autoridad Única del Agua;

Sección Tercera Condiciones de Autorización para Aprovechamiento

Artículo 94.- Orden de prioridad para las actividades productivas. Entre las actividades productivas susceptibles de aprovechamiento del agua se aplicará el siguiente orden de prioridad:

a) Riego para producción agropecuaria, acuicultura y agro industria de exportación;

b) Actividades turísticas;

c) Generación de hidroelectricidad y energía hidrotérmica;

d) Proyectos de sectores estratégicos e industriales;

e) Balneoterapia, envasado de aguas minerales, medicinales, tratadas o enriquecidas; y,

f) Otras actividades productivas.

El orden de prioridad de las actividades productivas podrá modificarse por la Autoridad Única del Agua, en atención a las características de la cuenca, en el marco de los objetivos y lineamientos de la planificación hídrica nacional y el Plan Nacional de Desarrollo.

TÍTULO IV APROVECHAMIENTO DEL AGUA

CAPÍTULO I

DE LOS TIPOS DE APROVECHAMIENTO PRODUCTIVO

Sección Segunda Aprovechamiento Energético e Industrial del Agua

Artículo 106.- Principios y prioridades para el aprovechamiento productivo hidroeléctrico. En el marco del respeto al orden de prelación que se regula en esta Ley, la Autoridad Única del Agua otorgará autorizaciones de aprovechamiento productivo del agua para la generación de electricidad, de manera preferente para aquellos proyectos de prioridad nacional que se contemplen en el plan maestro de electrificación, incorporando los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Sección Cuarta Aprovechamiento del Agua en Minería

Artículo 111.- Protección en fuentes de agua. La Autoridad Única del Agua y la Autoridad Ambiental Nacional emitirán las regulaciones necesarias para garantizar la conservación y el equilibrio de los ecosistemas, en especial de las fuentes y zonas de recarga de agua.

La Autoridad Ambiental Nacional coordinará con la Autoridad Única del Agua, el monitoreo del sistema de manejo ambiental previsto en la respectiva licencia ambiental, emitida por aquella.

CAPÍTULO IV RÉGIMEN ECONÓMICO

Sección Tercera Tarifas por el Aprovechamiento Productivo

Artículo 146.- Infraestructura hidráulica para aprovechamiento del agua. Las inversiones que se requieran para la construcción de infraestructura hidráulica o civil para un determinado aprovechamiento productivo del agua, la realizará el interesado de manera directa.

En atención al interés nacional, el Estado podrá concurrir también como inversionista, de acuerdo con las prioridades establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo.

2.3.3 Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria fue publicado a través de una emisión especial del Registro Oficial del día 31 de marzo del 2003. En este cuerpo se compilan todas las normas específicas referentes a la Autoridad Ambiental, la Gestión Ambiental, el Régimen Forestal, la Biodiversidad, la Gestión de Recursos Costeros, la Calidad Ambiental, el Régimen Especial para Galápagos, el Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico y el Sistema de Tasas por los Servicios Ambientales.

El Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, referente a la Calidad Ambiental, contiene el **Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.** Esta norma técnica "es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional" y determina, ente otros aspectos, los límites permisibles y las disposiciones para las descargas en cuerpos receptores, así como los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.

Literal 4.1 Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuarios. Sección 4.1.2.2 Los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario, se presentan a continuación (ver Tabla 3):

Tabla 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
			Agua fría dulce
Oxígeno Disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 9
Temperatura	^{0}C		Condiciones naturales +3 Máxima 20

Fuente: TULAS, Norma de Calidad Ambiental LIBRO VI-ANEXO 1, 2003.

2.4.4 Norma Ambiental Ecuatoriana: Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua en Centrales Hidroeléctricas.

En su **sección 4.3 Normas que deben cumplir los promotores de proyectos hidroeléctricos para el mantenimiento, preservación o mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, en los sectores hidrográficos respectivos y embalses de las diferencias centrales de generación hidroeléctrica**.

Literal 4.3.1, menciona que:

El mantenimiento de la calidad físico-química y biológica de los embalses y ríos, aguas arriba y aguas debajo de proyectos hidroeléctricos, estará determinado por factores externos al proyecto y factores producto de las actividades propias del mismo. Para controlar los factores externos el promotor del proyecto deberá monitorear las condiciones de las aguas superficiales a través de muestreos periódicos en diferentes puntos/ estaciones a lo largo del río y en los reservorios. Adicionalmente deberá implementar las medidas de mitigación y manejo identificadas en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto correspondiente.

Sección 4.4 Normas para la determinación de caudal ecológico y régimen de caudales ecológicos en los sectores hidrográficos respectivos.

Literal 4.4.3 De los métodos a utilizarse para el cálculo o la determinación del caudal ecológico.

4.4.3.1 El cálculo del caudal ecológico se podrá realizar utilizando diferentes modelos, métodos, herramientas o programas existentes para el efecto y que hayan sido utilizados o probados para propósitos similares en proyectos hidroeléctricos.

4.4.3.2 Los modelos y programas a ser utilizados para el cálculo del caudal ecológico tendrá como requerimiento mínimo el "considerar variables de importancia para la integridad biológica de los ecosistemas del río". El modelo y/o método seleccionado por el promotor de una obra o central deberá ser sustentado adecuadamente tomando en consideración los aspectos enumerados en el ítem 4.4.5 de esta normativa. Las variables de importancia o variables de control, asegurarán el mantenimiento y/o control de las condiciones (línea base) encontradas en el sitio previo construcción del proyecto. Ver ítem 4.5.4 de la presente norma.

4.4.3.3 Entre los modelos sugeridos se encuentran: el IFIM (Instream flow Incremental Methodology) que es utilizado además como herramienta para toma de decisiones y realiza un análisis de la variación del hábitat con los caudales circulantes.

4.4.3.4 No es suficiente la utilización de métodos de cálculo basado en caudales medios mensuales o un porcentaje del promedio de los caudales mínimos mensuales en épocas de estiaje. Estos métodos no son suficientes mientras estén basados solamente en el análisis de los regímenes de caudales hidráulicos históricos. Para la utilización de los mismos se deberá tomar en consideración aspectos adicionales y se deberá realizar estudios complementarios en el río. los métodos basados en los caudales mínimos históricos, debe ser complementado con estudios que demuestre que esos caudales son ecológicos. (ver definición de caudal ecológico.

Literal 4.4.4 De las consideraciones para el cálculo del caudal ecológico y el régimen de caudales ecológicos.

Sección 4.4.4.1 E cálculo del caudal ecológico se deberá realizar tomando en consideración los siguientes aspectos:

a) Régimen del caudal (caudal, velocidad, variaciones estacionales, sequías).
b) Calidad del agua; físico-químicas (caudal, pluviosidad, sequías, calidad del agua, biológicas (ictiofauna, hábitat acuático) y microbiológicas.
c) Interacciones bióticas (especies endémicas, especies exóticas, estructura poblacional biótica, estructura trófica).
d) Además se considerarán los diferentes usos del agua (agricultura, extracción, consumo humano, recreativas) en el área de influencia del proyecto.

En su literal 4.4.4.2 El cálculo del régimen de caudales ecológicos tomará en consideración principalmente:

a) El régimen natural estacional del río, ya que el caudal debe fluctuar como sucede de manera natural.
b) Oscilación estacional natural, además de una fluctuación interanual de acuerdo al clima (años húmedos, años secos, años extremadamente secos, hidrógrafas). Esto porque posibles especies autóctonas del río estarán acostumbradas a esta variación lo que las hace más competitivas contra especies introducidas.
c) El régimen de caudales ecológicos debe fluctuar a lo largo del año siguiendo la pauta similar a la del régimen natural del río.

2.5 ÁREA DE ESTUDIO.

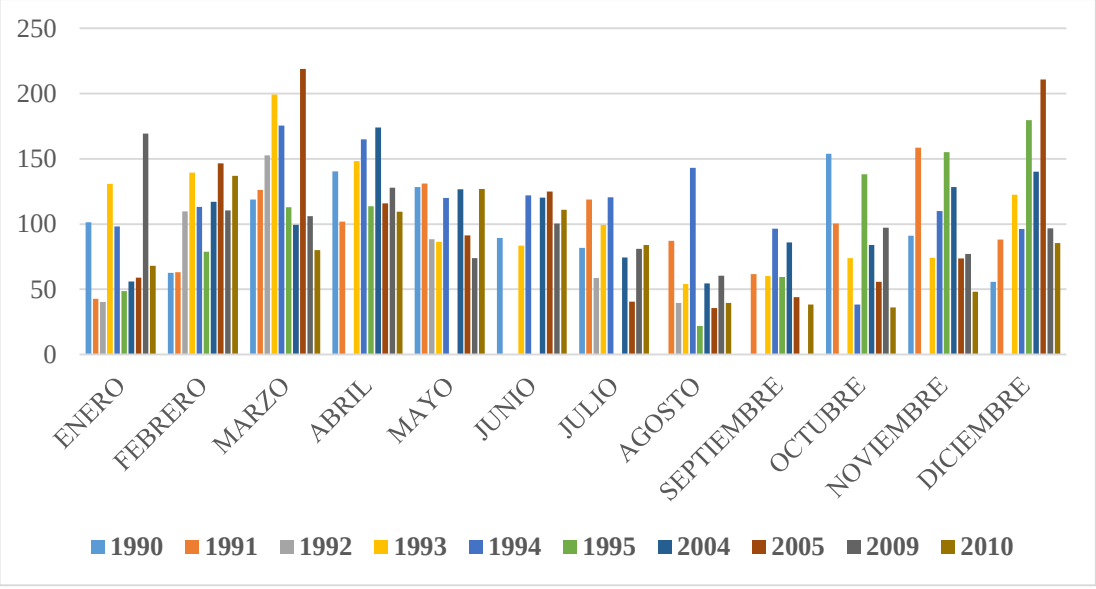
El río Chulco es afluente al río Machángara perteneciente a la Subcuenca media alta del Río Machángara, consiste en tierras altas localizadas al oeste y noreste de la Ciudad de Cuenca que influyen en zonas comprendidas en las provincias del Azuay y Cañar. Las elevaciones varían entre aproximadamente 4200 y 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm).

2.5.1 Aspectos Físicos:

2.5.1.1 Clima.

De acuerdo al anuario meteorológico del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en la estación El Labrado (M141) se tiene que los períodos húmedos corresponden a los meses de febrero a mayo, con sus picos máximos en el mes de marzo, abril y diciembre, de junio a septiembre se presenta el período seco. Registra una temperatura media anual de 8.6 ºC, con una precipitación promedio anual de 964.3 milímetros.

Figura 4. Precipitación (mm), Estación M141-El Labrado.

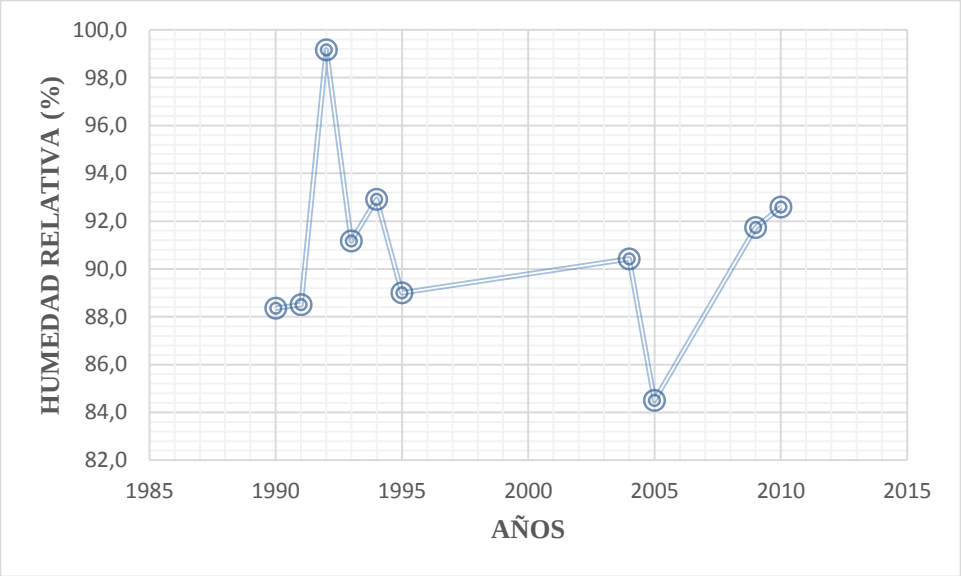


Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos. 1990-2010.

Elaboración: Los Autores.

La humedad media está por el orden del 87%, los vientos predominantes están en dirección NE (Noreste) con velocidades promedio de 4.7 m/s[37].

Figura 5. Humedad Relativa (%), Estación M141-El Labrado.



Fuente: INAMHI, Anuarios Meteorológicos. 1990-2010.

Elaboración: Los Autores.

2.5.2 Sistema hidrográfico.

La represa El Labrado almacena las aguas de los páramos de alta montaña de la cuenca alta media del Río Machángara para generación eléctrica en las centrales Saucay y Saymirín.

En el "Estudio de Impacto Ambiental Definitivo Expost de las instalaciones para generación hidroeléctrica propiedad de la Empresa Electro Generadora del Austro Elecaustro S.A.", indican los resultados del inventario de drenajes de aporte y caudales captados en el área de estudio:

[37] ELECAUSTRO S.A. Estudio de Impacto Ambiental Definitivo y Plan de Manejo Ambiental de las Instalaciones para Generación Hidroeléctrica Propiedad de la Empresa Electro Generadora del Austro Elecaustro S.A., 2003.

Tabla 4. Inventario de drenajes de aporte y caudales captados del área de estudio.

Caudal que ingresa a la presa El Labrado	264	l/s
Caudal de descarga presa el Labrado	1431	l/s
Caudal total de captaciones laterales canal El Labrado – Tuñi	59	l/s
Caudal canal El Labrado Tuñi, antes del reservorio Tuñi	1480	l/s
Caudal en el río Chulco, luego de la presa El Labrado	15	l/s
Caudal río Chulco A.J Machángara	214	l/s
Caudal río Machángara D.J Chulco (Captación canal Saymirín)	2140	l/s

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental Definitivo y Plan de Manejo Ambiental de las Instalaciones para Generación Hidroeléctrica Propiedad de la Empresa Electro Generadora del Austro Elecaustro S.A (2003).

2.5.1.3 Geología.

A través de "Estudios y Diseños Definitivos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable desde la Quebrada el Soroche", Anexo 2: Estudio geológico en el área del proyecto y análisis geotécnicos de laboratorio, de los "Riesgos y Amenazas Naturales" dan a conocer los lineamientos y fallas inferidas en varios sitios de la Microcuenca, la descripción de ellos se hace en la Tabla 5.

Tabla 5. Datos de ubicación de las fallas.

UTM		**Sector**	**Rumbo de la falla o lineamiento**
Este	**Norte**		
715338	9698969	1 km al norte de la presa El Labrado	Norte 30º Este
714523	9698434	Presa El Labrado	Este Oeste
714020	9698508	Laguna El Labrado	Norte 5º Oeste

Fuente: ETAPA-EP, Estudios y Diseños Definitivos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable desde la Quebrada el Soroche. (2010).

2.5.1.4 Caudales.

El cambio repentino de caudal (aumento o reducción) en un ecosistema acuático, ocasiona el arrastre de los organismos bentónicos, retrasa su capacidad de colonización y disminuye la diversidad en sus comunidades, reduciendo de esta

manera la calidad biológica de los ríos[38]. En este sentido, el inventario de caudales en el río Chulco por parte de la Consultora ACOTECNIC Cía. Ltda., se detallan a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Ubicación de los puntos de muestro de Calidad de Agua Superficial.

ID	OBSERVACIONES	X	Y	Z	Caudal (m^3/s.)
43	R. Chulco AJ R. Machángara	720763	9695240	2979	1.855
44	R. Chulco Después de captación ETAPA	719884	9695673		2.083
45	R. Chulco DJ Q. Yanacocha	719251	9696207		2.017
46	Q. Yanacocha AJ R. Chulco	719057	9696221	3200	0.31
47	R. Chulco AJ Q. Yanacocha	719020	9696394		0.48
48	Q. s/n después del carretero	719053	9696932	3386	0.017
49	Q s/n antes del canal El Labrado – Tuñi	719079	9696967	3400	0.025
50	R. Chulco luego de la laguna	717592	9697581	3275	0.356
51	R. Chulco después de presa El Labrado	715191	9698258	3353	1.528

Fuente: ACOTECNIC Cía. Ltda., Evaluación de Contaminantes y Calidad de Agua Superficial. Parte II, Río Machángara. (2012)

2.5.2 Aspectos Bióticos.

En lo que refiere a los estudios bióticos a nivel de Flora y Fauna, el enfoque es hacia especies acuáticas, ya que los macroinvertebrados han demostrado ser una herramienta ideal para la categorización biológica e integral de la calidad de agua (Giacometti y Bersosa, 2006). Estudios realizados por MsC´s Chimbo M. y Alomia M. de la Escuela Politécnica Nacional en 2009 para la Empresa Elecaustro S.A., demuestran que la calidad del agua en el río se ve influenciada por la represa; basándose en los resultados de abundancia de macroinvertebrados presentes a través de la diversidad de Shannon, dominancia de Simpson. Ésta última presenta valores inferiores a 0.10 (los valores cerca de cero corresponde a los ecosistemas muy diversos o heterogéneos y valores uno correspondiendo a los ecosistemas más homogéneos). Mientras que en los valores de diversidad de Shannon varían de 1.99 a 2.29 (en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son altos).

[38] ACOTECNIC Cía. Ltda. Evaluación de Contaminantes y Calidad de Agua Superficial. Parte II, Río Machángara, Marzo 2012.

Otro estudio realizado por la consultora Acotecnic Cía. Ltda., en el 2012, determina la calidad del agua a través de macroinvertebrados acuáticos; obteniendo como resultado la calidad del agua en un rango de Muy crítica-Dudosa a Aceptable.

2.5.3 Aspectos Sociales y Humanos.

En el área de estudio se encuentran contempladas las parroquias: Checa y Chiquintad. La primera, cuenta con 2.741 habitantes de acuerdo al último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2010), mientras que la Parroquia Chiquintad cuenta con 4.826 habitantes.

La represa El Labrado se encuentra rodeada de vegetación de páramo, perteneciendo al Área de Bosque y Vegetación Protectora de la Cuenca del río Machángara.

A lo largo de los caminos de acceso se han ido ubicando la mayor parte de las viviendas que se encuentran en el área, además de pequeñas fincas con limitaciones de aprovechamiento productivo establecidas sobre áreas de fuertes pendientes e inestables para la implantación de cultivos y pastos.

Además, en el área inmediata al embalse del sistema de generación eléctrica, se efectúan actividades pecuarias, siendo evidente el sobre pastoreo al que está sometido la vegetación arbustiva como los pajonales.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA USADA

En este Capítulo se describe toda la información relevante con respecto a las metodologías que se consideraron para la determinación de la calidad del agua a través del Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col) y el Método de Simulación del Hábitat con Physiscal Habitat Simulation (PHABSIM).

3.1Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col).

Los aspectos biológicos han adquirido una creciente importancia en el estudio de los sistemas acuáticos, debido a que las variables físico-químicas no determinan con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea puntual sobre ella (Arango, Álvarez, Arango, Torres, y de Jesús Monsalve, 2013).

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) se estableció en Inglaterra en 1970 como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando grupos de macroinvertebrados como bioindicadores[39]. El método requiere llegar solo hasta el nivel taxonómico de familia cuyos datos son: cualitativos (presencia o ausencia), y cuantitativos (número de individuos por familia presentes). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles (por ejemplo: Perdiae, Oligoneuridae) reciben una puntuación de 10; en cambio las más tolerantes como Tubificidae reciben puntajes bajos, es decir 1 (Armitage et al., 1983 en ROLDÁN G., 2003).

El valor del índice BMWP se obtiene de la suma de la puntuación correspondiente a cada familia que habita en el punto de monitoreo. La ventaja de este índice se basa en la fiabilidad de los resultados, la rapidez y sencillez de su utilización, con ahorro de costes y de tiempo.

Por lo expuesto anteriormente, al paso del tiempo, se han desarrollado varias adaptaciones de la metodología, las cuales reflejan las condiciones tanto geográficas como naturales y por consiguiente las diferentes familias de macroinvertebrados presentes en una determinada localidad. No obstante, podemos encontrar métodos

[39] ROLDÁN G., P. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col* (Primera Edición.). Colombia: Universidad de Antioquia, 2003.

específicos adaptados para cada región y/o país basando el mismo fundamento científico (bioindicación), BMWP/Cub para Cuba por (Naranjo L., *et al.*, 2005), BMWP/CR para Costa Rica, ChBMWP para Chile, IBMWP (RP-NdS) para Venezuela, y BMWP/Col para Colombia propuesto por (Roldán G., 2003); ésta última por ajustarse a las características climáticas del Ecuador se tomó como referencia para la bioindicación de la calidad del agua.

Modo de vida de los macroinvertebrados.

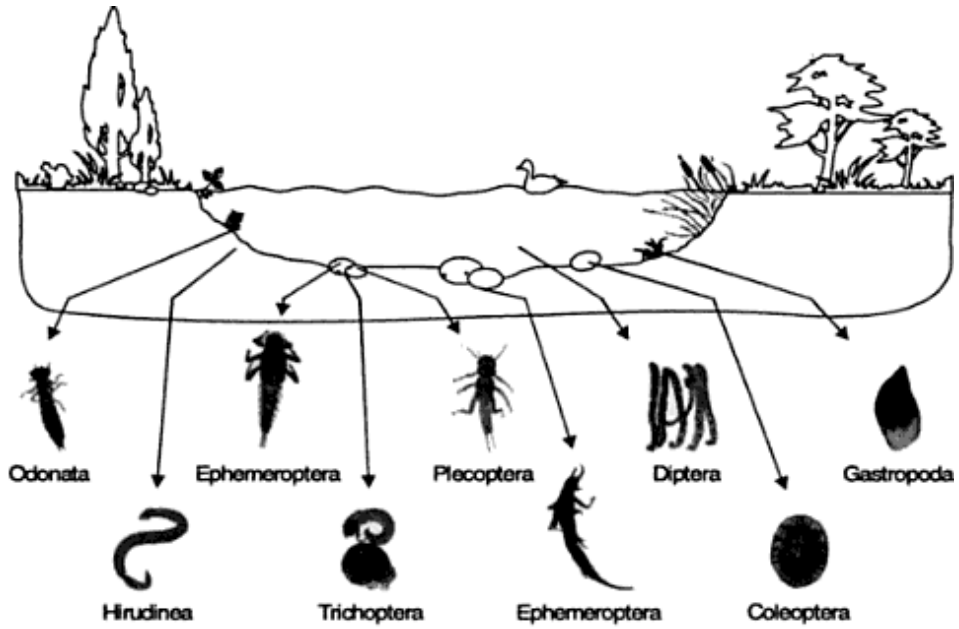
Los macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en la superficie, en el fondo o nadar libremente; de ahí que reciban diferentes nombres de acuerdo con este tipo de adaptación (ROLDÁN G., 2003).

En el presente proyecto se realizó el muestreo sobre macroinvertebrados acuáticos que viven en el fondo del agua; pues los más adaptables de acuerdo a su modo y forma de vida son los bentos:

Bentos.

> Se refiere a todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y sustratos similares. Los principales órdenes representantes son: Ephermeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera y Díptera. También pueden encontrarse algunos enterrados en el fondo a varios centímetros de profundidad, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera). Otros, como la familia Blephariceridae (Diptera), se adhieren fuertemente a rocas mediante un sistema de ventosas en el abdomen. Ciertas especies pertenecientes al orden Odonatada se encuentran adheridas a vegetación acuática sumergida o emergente (ROLDÁN G., 2003).

Figura 6. Macroinvertebrados representantes del bentos en un ecosistema acuático.



Fuente: ROLDÁN G., P. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col.* (2003).

Los macroinvertebrados son organismos integradores de la calidad del agua. Sirven para diseñar sistemas de vigilancia y controles de las aguas, necesarios y complementarios de los métodos físico-químicos, constituyendo un soporte científico para la valoración ecológica de los recursos hídricos de una zona determinada, necesaria para la gestión (Castellanos y Moreno, 2002).

3.1.1 Métodos de recolección y tratamiento de las muestras.

El principal objetivo del muestreo es recolectar la mayor diversidad de macroinvertebrados. En este sentido, la recolección de las especies se realizó con base al protocolo de campo propuesto por ROLDÁN G., 2003.

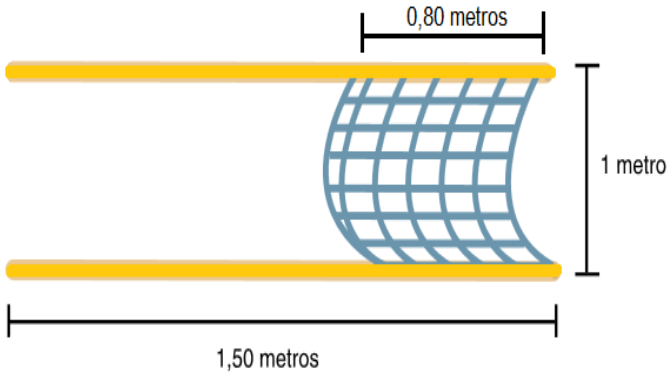
Existen tres tipos de muestreos de acuerdo a las características hidráulicas del río: para aguas poco profundas la red de pantalla; en aguas profundas en la mayoría de los casos el muestreo debe hacerse en las orillas hasta 1m de profundidad (red de mano D-net), y finalmente, en aguas de poca corriente o estancadas. Y es conveniente usar la red de mano de la misma manera que para aguas profundas.

La Red de mano o pantalla es utilizada con mayor frecuencia en ríos y zonas no muy profundas, constituyendo en sí el método y técnica utilizada para la captura de los macroinvertebrados presentes en el río Chulco.

Las dimensiones de la red son de 1m*0.80m con un ojo de malla de 1 mm, aproximadamente; la red está sujeta a dos mangos de madera como se observa en la Figura 7.

Para la realización del muestreo se utilizó el siguiente procedimiento: una vez que la red esté sujeta a los mangos de madera, una persona se coloca en contra de la corriente y sostiene la red con ambas manos, mientras que la otra persona se coloca en dirección de la corriente, removiendo el fondo con los pies o con las manos; para la presente tesis se removió el fondo con las manos (Figura 8) para evitar cambios en la morfología de los bentos, lo cual permite obtener una mayor diversidad de los mismos.

Figura 7. Red de mano o pantalla.



Fuente: Los Autores.

Figura 8. Procedimiento de la Red de mano o Pantalla.

Fuente: Carrera Reyes, C., y Fierro Peralbo, K. *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito, Ecuador: EcoCiencia. (2001).

La muestra de macroinvertebrados bentónicos, estuvo constituido por dos réplicas por punto de muestreo, cubriendo una longitud de 1 m. y 4 minutos de esfuerzo, aproximadamente, asegurándose además un muestreo representativo de todos los microhábitats, con y sin vegetación, zonas de piedras, arenas, en corriente y sin ella. Se muestreó de aguas abajo a aguas arriba, utilizando una malla de 1 mm de diámetro; mediante una red de mano o pantalla, con la cual se realizaron "barridos" en cada sección establecida del río Chulco. El contenido de cada redada, se vació, en una fuente de color blanco (bandejas), posteriormente las muestras colectadas fueron almacenadas en envases plásticos de 250 ml., rotulados y fijados en alcohol al 70% para preservar la muestras durante períodos largos y así evitar la descomposición o cambios morfológicos de los bentos.

3.1.2 Identificación de los macroinvertebrados acuáticos.

Con el objeto de facilitar la identificación de los bentos en el laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana Matriz Cuenca se separaron y determinaron con ayuda de un Estereoscopio, a nivel de Orden y Familia utilizando como referencia el libro "Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos

del Departamento de Antioquia"[40], además del apoyo de tablas taxonómicas con listados de "macroinvertebrados acuáticos mejor conocidos en Colombia" propuestos por Roldán G., 2003.

A continuación, en la Tabla 7, se describen las principales familias que se consideraron para la bioindicación de la calidad del agua de acuerdo al Índice BMWP/Col.

Tabla 7. Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col.

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Baetodes, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limoniidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2
Tubificidae	1

Fuente: ROLDÁN G., P. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* (2003).

[40] ROLDÁN G., P. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia* (1000 ejemplares.). Bogotá, Colombia: FEN COLOMBIA., 1996.

3.1.3 Calidad del agua a través del Método BMWP/Col.

Para determinar la calidad del agua se aplicó el índice BMWP/Col propuesto por ROLDÁN G., 2003. Se calcula sumando las puntuaciones correspondientes a cada una de las familias según su grado de tolerancia a la contaminación, correspondiendo las puntuaciones más altas a las familias menos tolerantes, y las puntuaciones más bajas a las familias más tolerantes.

Una vez obtenido el valor del BMWP/Col en cada una de las secciones transversales seleccionadas y descritas en la Tabla 8. (Ítem **3.2.2.1**, Levantamiento Topográfico) del río Chulco se hace corresponder con una de las 5 categorías de calidad del agua, descritas en la Tabla 8:

Tabla 8. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col., significado y colores para representaciones cartográficas.

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: ROLDÁN G., P. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* (2003).

Adicionalmente, para realizar el análisis físico – químico del agua se usó el equipo multiparamétrico HI 9829 de la empresa HANNA INSTRUMENTS que comprende el análisis de 13 parámetros en condiciones normales[41] los cuales se describen en la Tabla 9:

41 Condiciones Normales a 25 ^{0}C y a 1 atm de presión.

Tabla 9. Parámetros analizados en el equipo HANNA HI 9829.

Parámetros equipo HI 9829	
Parámetro 1	Temp.[°C]
Parámetro 2	pH
Parámetro 3	mV[pH]
Parámetro 4	ORP[mV]
Parámetro 5	EC[µS/cm]
Parámetro 6	EC Abs.[µS/cm]
Parámetro 7	RES[Ohm-cm]
Parámetro 8	TDS [ppm]
Parámetro 9	Sal.[psu]
Parámetro 10	Sigma T
Parámetro 11	Press.[atm]
Parámetro 12	D.O.[%]
Parámetro 13	D.O.[mg/L]

Fuente: HANNA INSTRUMENTS, multiparamétrico HI 9829. (2012)

3.2 Physical Habitat Simulation Software (PHABSIM)

3.2.1 Programa de modelamiento PHABSIM.

El modelo Physical Habitat Simulation Software (siglas en inglés, PHABSIM) que incorpora la Metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) permite obtener relaciones funcionales entre el caudal circundante de un cuerpo de agua y un índice de hábitat físico disponible para varios estadios vitales de una o varias especies piscícolas objetivo; misma que se expresa como Superficie Ponderada Útil (SPU o WUA).

El PHABSIM presume que las especies reaccionan directamente ante cambios en las variables que determinan el micro-hábitat físico (velocidad, profundidad, sustrato, temperatura), además de otros factores como disponibilidad de alimento, calidad de agua, competencia y predación que influyen en las condiciones de supervivencia y población de los organismos[42].

El Software Physical Habitat Simulation (PHABSIM) fue informatizado por los autores Milhous, R.T. y T.J. Waddle para DOS-2 en el año 1981, posteriormente salieron varias actualizaciones en 1989, 1990, y su versión 1.2 en el año 2002[43]. Para el presente proyecto se usó el programa con versión 1.5.1 del año 2012 para

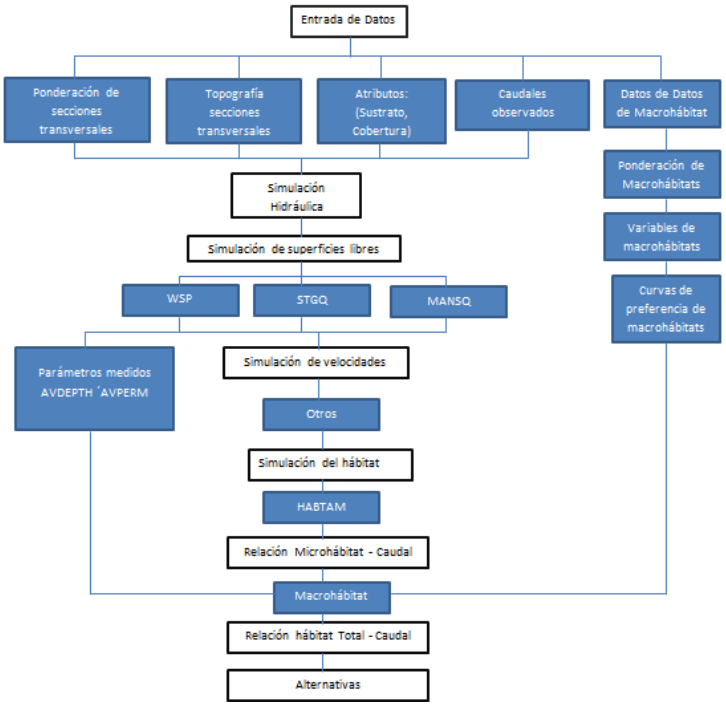
[42] MORENO V. Leopoldo H., Op. Cit. p. 119.
[43] Ídem., p. 119.

Windows, distribuido gratuitamente por US Geological Survey Fort Collins Science Center[44].

Los principales componentes para desarrollar el modelo PHABSIM son los siguientes:

1. Toma de datos de campo.
2. Simulación Hidráulica.
3. Simulación del Hábitat, y
4. Relación Hábitat Total – Caudal.

Figura 9. Esquema Operativo del modelo PHABSIM.



Fuente: Modificado de GASTÓN AGUILERA, Modelo PHABSIM, 2011

3.2.2 Toma de datos de campo.

3.2.2.1 Levantamiento Topográfico (secciones transversales).

Se establecieron hábitats del área de estudio dividiendo al río Chulco en secciones transversales representativas, donde se determinó el macrohábitat, mesohábitats (secciones) y microhábitats (celdas).

[44] https://www.fort.usgs.gov/publication/22800

MACROHÁBITAT: Son secciones grandes homogéneas del río. En donde, se define al cauce principal y su tipo (meándricos, recto, sinuoso, anastomosado). De hecho, el río Chulco se caracteriza por ser de tipo meándrico por sus múltiples curvas sobre el canal, lo que genera dos velocidades para el agua que son distintas en ambas orillas.

MESOHÁBITAT: Son secciones definidas por las características hidráulicas del río (velocidad, profundidad); se pueden diferenciar cada uno de los mismos de acuerdo a la metodología expuesta por Sanz Ronda y Martínez de Azagra (1999) en MORENO VERA, 2012.

Tabla 10. Clasificación de Mesohábitat Fluvial.

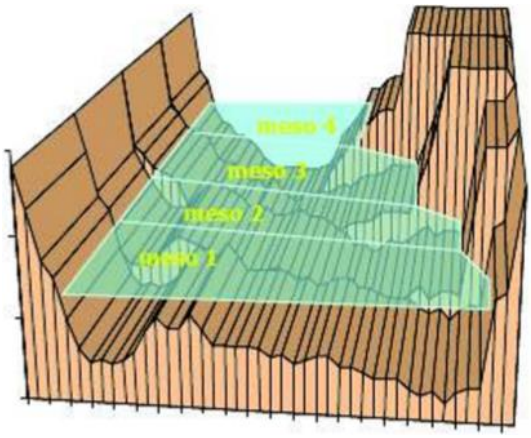
	RÁPIDOS	TABLAS RÁPIDAS	TABLAS LENTAS	REMANSOS VADEABLES	REMANSOS
Velocidad	>60cm/s	46-60cm/s	30-45cm/s	20-30cm/s	<20cm/s
Pendiente	Elevada	Elevada			
Profundidad	<40cm	25-50cm	25-50cm	<100cm	>100cm

Fuente: Sanz Ronda y Martínez de Azagra, 1999 en MORENO VERA, 2012.

Para la fijación de las secciones transversales representativas que delimiten cada mesohábitat, Payne (2003) indica que estas deberán ser proporcionales a la complejidad eco-hidráulica del tramo, por lo que en los estudios realizados con la metodología IFIM[45] se recomienda que ninguna sección debe representar más del 5-10% del hábitat total (Moreno Vera, 2012). Por otra parte, Buchanan y Somers, 1968 en Moreno Vera, 2012 recomiendan que el tamaño máximo de cada celda sea igual al 1/20 del ancho de la sección.

[45] Stalnaker (1979) y Bovee (1982), desarrollaron un método basado en las relaciones cuantitativas existentes entre los caudales circulantes y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el habitat biológico (principalmente velocidad y profundidad).

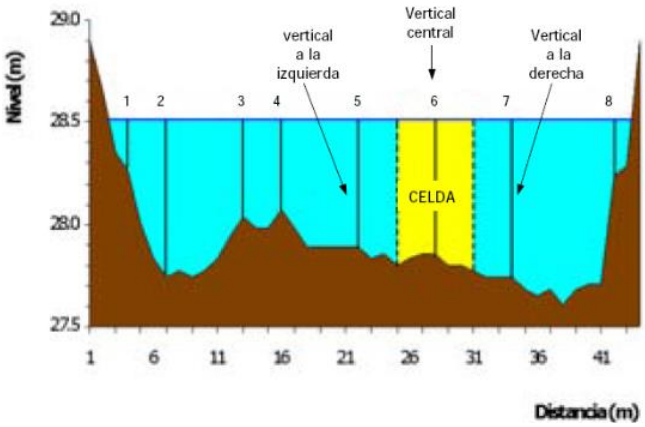
Figura 10. División de un Tramo en Mesohábitats.



Fuente: CATHALAC, Caudales Ecológicos, 2010 en Moreno Vera, 2012.

Cada sección transversal se divide en celdas homogéneas (Microhábitats). En las cuales se realizan mediciones de profundidad, velocidad y sustrato. En este sentido, se realizaron las mediciones de las variables antes mencionadas usando el criterio por Celda Centrada.

Figura 11. División por Celda Centrada.



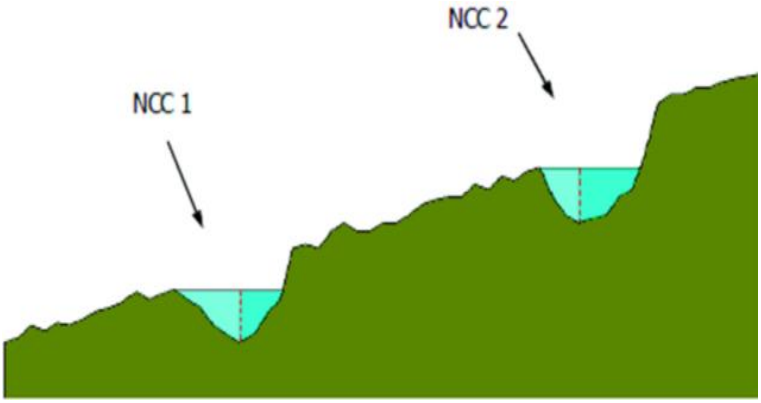
Fuente: GASTÓN AGUILERA, Modelo PHABSIM, 2011

Los principales datos que se tomaron en cuenta para el levantamiento topográfico son los siguientes:

Nivel de caudal cero (NCC) (Stage of Zero Flow-SZF).

Es el punto más bajo de una sección transversal, y se define por el nivel que ocuparía la superficie libre cuando no existiese caudal circundante. Dicho de otro modo, es la elevación de la superficie del agua cuando el mismo deja de fluir por una determinada sección transversal. Esto representa las condiciones más extremas de los caudales desde el punto vista biótico, y el área ineficiente desde el punto de vista hidráulico.

Figura 12. Nivel de caudal cero (NCC) (Stage of Zero Flow-SZF)



Fuente: CATHALAC, Caudales Ecológicos, 2010 en Moreno Vera, 2012.

Nivel de Superficie Libre (NSL).

Corresponde al caudal circundante, que en ocasiones no es completamente horizontal y varía en cada extremo cuando hay zonas turbulentas. Es recomendable medir por lo menos 3 Niveles de Superficie Libre (NSL) en cada sección transversal, para obtener una aceptable precisión y calibración del modelo.

Sin embargo, en el presente proyecto no se obtuvieron los 3 NSL del agua, debido a que no se dispuso de equipos electrónicos como molinete o correntómetro que permitan obtener dichos valores. Por tal motivo, se determinó una sola velocidad (superficial) en cada celda distribuidas a su vez en cada sección correspondiente.

3.2.2.1.1 Perfil Batimétrico (Secciones Transversales).

Para el presente proyecto se establecieron cuatro (4) secciones transversales, considerando los lineamientos y fallas inferidas en varios sitios de la Microcuenca como la represa y laguna El Labrado, de origen antrópico; además considerando estudios realizados por la empresa Elecaustro S.A., y la Consultora Acotecnic Cía. Ltda., dando continuidad a los mismos y de esta manera permitiendo disponer de información acertada de la zona de estudio.

Para la medición de los perfiles batimétricos en cada sección se utilizó el siguiente procedimiento: primeramente se colocó una cuerda señalizada con separación equidistante de 0.60 m a través del ancho del río, considerando que cada tramo debe representar entre 5 al 10% del hábitat total de la sección transversal; posteriormente mediante un flexómetro en milímetros se procedió a realizar las mediciones de profundidad en cada celda (Celda Centrada). Además se tomaron las coordenadas UTM WGS84 de cada punto mediante un GPS Garmin. Luego con la información recopilada se procedió a elaborar el perfil batimétrico de cada sección en Autocad.

Los sitios seleccionados para determinar y analizar las secciones transversales, se describen a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Puntos para determinar las secciones transversales.

ID	OBSERVACIONES	X (mE)	Y (mN)	Z (msnm)
1	Río Chulco antes de la captación de ETAPA.	719294	9696193	3169
2	Río Chulco antes de la laguna El Labrado.	718186	9697009	3220
3	Río Chulco después de la laguna El Labrado.	716131	9698257	3281
4	Río Chulco 50 m abajo de la Represa El Labrado.	714306	9698138	3393

Fuente y Elaboración: Los Autores.

Es importante destacar que las mediciones de los perfiles transversales se realizaron durante los tres meses de muestreo (septiembre a noviembre del 2014), tiempo establecido para la fase de campo en el desarrollo del proyecto. Sin embargo, se observaron que en el mes de noviembre del 2014, los niveles de agua resultaron ser inferiores a los dos meses anteriores (septiembre y octubre). Por lo tanto, se

analizaron los perfiles del mes de noviembre; pues estos representan las condiciones más extremas de los caudales desde el punto vista biótico y el área ineficiente desde el punto de vista hidráulico; obteniendo una medición acertada y valedera para el estudio.

En la sección **ANEXO I-Perfiles transversales,** Ilustra los perfiles batimétricos correspondientes a los tres meses antes mencionados en cada sección.

Figura 13. Materiales e instrumentos para el levantamiento de datos.

Elaboración: Los Autores.

3.2.2.2 Medición de velocidades.

La velocidad media superficial en cada celda se determinó por el método del flotador; Primero se define la distancia que recorrerá el flotador en el extremo aguas arriba se suelta, y se mide el tiempo transcurrido en alcanzar el extremo aguas abajo. Al ser una estimación de la velocidad de la superficie, se podrá afectar el valor de

velocidad medido por un factor de 0.85 (Dingman, 1994 en Breña y Jacobo, 2006) para aproximarlo a la velocidad media, es decir: $V_{media} = 0.85 * V_{medida}$.

Una vez que se tienen las velocidades, se procede a calcular el caudal circundante en cada sección; para lo cual se usó el método de velocidad-área[46]. Sin embargo, es necesario tener al menos una medición de velocidad en cada celda y medir un mínimo de 3 caudales para una calibración aceptable del modelo hidráulico. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$Q_i = \left[\frac{1}{4}(b_i - b_{i-1})(h_i + h_{i-1}) + \frac{1}{4}(b_{i+1} - b_i)(h_{i+1} + h_i)\right] U_{vi} \qquad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

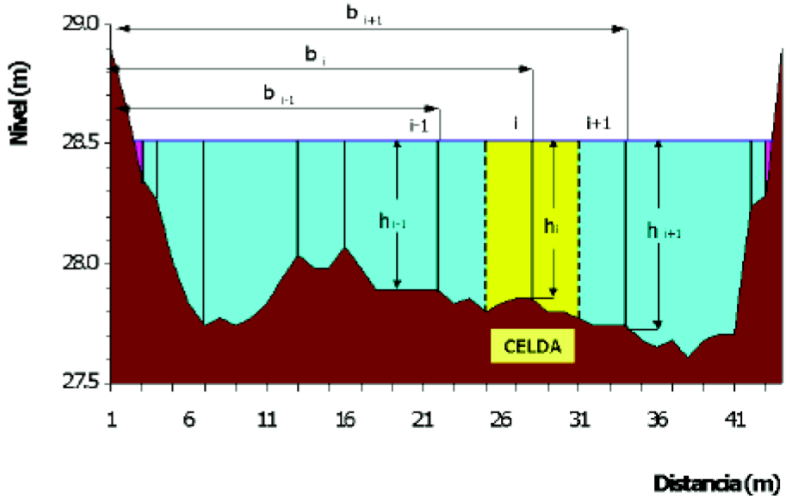
Q_i = Caudal circundante en la celda (i) (m^3/s)

b_i = Distancia vertical (i) al origen (m)

h_i = Profundidad de la vertical (i) (m)

U_{vi} = Velocidad media en la vertical (i) (m/s)

Figura 14. Aforo mediante el método por Celda Centrada.



Fuente: CATHALAC, Caudales Ecológicos, 2010 en MORENO VERA, 2012.

El caudal observado ($Q_{obs.}$) será la sumatoria de todos los caudales en las "n" celdas distribuidas en la sección, así: $\sum_{i=1}^{n} Q_i$.

[46] Science Center. (2001, November). PHABSIM for Windows: User´s Manual and Exercises Midcontinent Ecological.

3.2.2.3 Descripción de Atributos.

Sustrato.- para la clasificación del sustrato o índice del canal y los correspondientes códigos numéricos para introducir en el proceso de simulación del hábitat se apoyó en la clasificación utilizada por (BOVEE, K.D, 1986). **(Ver. ANEXO II- Clasificación de Sustrato).**

3.2.3 Simulación Hidráulica.

Se realiza con el objeto de caracterizar las variables hidráulicas de la corriente (velocidad, profundidad y sustrato) para un rango definido de caudales.

El ajuste del modelo permite predecir el comportamiento del cauce con otros caudales sin necesidad de esperar a que se produzcan realmente.

La simulación hidráulica consta de dos partes:

3.2.3.1 Simulación de Niveles de Superficie Libre (NSL).

Para realizar la simulación hidráulica se utilizaron los datos de caudal y profundidad, en donde se aplicaron tres modelos:

3.2.3.1.1 WSP.

El Modelo *WSP* (*Water Surface Profile*), integrado en el PHABSIM, asume que el flujo es gradualmente variado (WADDLE, T.J. (ed), 2012) y utiliza el método del paso estándar para calcular los perfiles de flujo que se presentarían en el cauce para los diferentes caudales de interés; por lo tanto, no se utilizó el modelo ya que las condiciones del tramo del estudio carecían de remanso.

3.2.3.1.2 STGQ.

El Modelo *STGQ* del *PHABSIM*, asume que el flujo es uniforme (WADDLE, T.J. (ed), 2012) para aplicar este modelo se utiliza la curva caudal-altura de la superficie libre del agua (Q-ASLA) obtenida para cada una de las secciones transversales y elaborada basándose en un mínimo de tres puntos (García, Martínez, Jalón, y Martínez, 2008).

De lo anterior, solo se ingresaron los datos para un caudal-altura del agua superficial obtenidas en cada una de las cuatro secciones del río.

3.2.3.1.3 MANSQ.

Utiliza la combinación de las fórmulas de continuidad de Manning o de Chézy en cada sección, con un régimen permanente y uniforme. Donde el coeficiente de rugosidad de Manning de una corriente natural generalmente no es constante, sino que varía con el caudal aproximadamente de forma potencia, determinándose cambios drásticos en caudales bajos, y variaciones mínimas en caudales elevados.

$$Q = \frac{1}{n_s} * Rh^{2/3} * Sm\sqrt{S_o} \qquad \text{EC. (2)}$$

Donde:

Q = Caudal (m3/s)

n_s = Coeficiente de rugosidad de Manning, cuyas dimensiones son $m^{1/6}$ (Chen, 1998)

Rh = Radio hidráulico (m)

So = Pendiente del lecho

Sm = Superficie mojada (m^2)

El modelo hidráulico MANSQ utiliza al término (1.49/n)*S1/2, denominado Parámetro de Transporte del agua (WTP, siglas en inglés), que también varía de forma potencial con el caudal circundante.

Figura 15. Representación gráfica del Flujo Uniforme entre dos secciones.

Fuente: CATHALAC, Caudales Ecológicos, 2010 en Moreno Vera, 2012.

3.2.3.2 Simulación de Velocidades.

Se determinaron en campo las velocidades superficiales en cada una de las secciones, para un caudal base.

Modelo VELSIM (*Velocity Simulation*) modela las velocidades para cada sección de cruce individual y por esto trata a cada sección de cruce independiente. Luego estos valores de velocidad son usados en el modelamiento de hábitat de PHABSIM.

3.2.4 Simulación del Hábitat.

ANALISIS BIOLÓGICO.

> Los macroinvertebrados bénticos son un importante componente de los ecosistemas acuáticos debido a que transforman material alóctono poniéndolo a disposición de los niveles tróficos más altos (Orth y Maughan 1983). No sólo suministran valiosa información acerca de la calidad del agua de un área, sino que también son importantes componentes de las redes tróficas acuáticas, especialmente para peces (Gore et al. 2001). Además, aquellos microhábitats que son apropiados para la supervivencia y la diversidad de los peces, pueden no beneficiar a los macroinvertebrados o a otros organismos acuáticos. Los macroinvertebrados son menos móviles que los peces y más sensibles a cambios del caudal o a caudales bajos y tienen rangos de tolerancia más estrechos (Gore y Judy 1981)[47].

De lo expuesto anteriormente, para la estimación de caudales ecológicos de acuerdo con la metodología PHABSIM-IFIM es necesario discernir detalladamente la cantidad e idoneidad de hábitat físico disponible para grupos de especies o especie objetivo. Lo que conlleva a necesitar información de tal forma que integre datos hidrológicos, hidráulicos y biológicos. Para ello cualquier cambio en el hábitat físico, relacionado con el caudal, el modelo asemeja la relación con datos de una o varias variables hidráulicas entre ellas: profundidad, velocidad y sustrato o índice de canal, colectados en cada una de las secciones transversales establecidas de río en estudio.

[47] CARDONA DUQUE, W. *Curvas de idoneidad de hábitat para macroinvertebrados bentónicos: una herramienta para la estimación de caudales ambientales*. 2014. Disponible en: http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/7651.

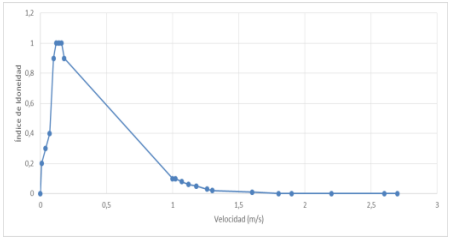
Finalmente, de las mediciones realizadas en base a la metodología BMWP/Col se seleccionó a la familia Hyalellidae como especie indicadora por dos razones principales: la primera, por la presencia en las cuatro secciones y en los tres meses de campaña de muestreo, y la segunda por ubicarse dentro del grupo de familias con puntajes 7, lo que significa ser moderadamente intolerantes a la contaminación por lo que se convierten en bioindicadores de una calidad de agua media.

3.2.4.1 Curvas de preferencia.

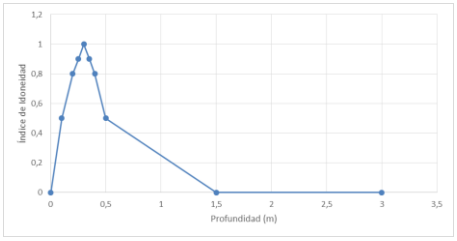
Las condiciones de hábitat disponible simuladas, se asocian con información sobre el rango de condiciones de microhábitat preferidas por las especies objetivo, para lo cual se usan curvas o índices de idoneidad de hábitat.

En la simulación del hábitat se tomaron como referencia las curvas de preferencia de hábitat de la familia Betidae e Hydropsichidae, desarrolladas por (Cardona Duque, 2014), obtenidos mediante observación directa con red surber en el río Barbo de Santiago de Cali; Se elaboraron curvas de preferencia para la familia indicadora (Hyalellidae) de acuerdo a las curvas antes mencionadas, debido a que las condiciones se asemejan a las del área de estudio, y por formar parte del grupo con puntaje 7 del índice BMWP/Col. Las curvas de preferencia utilizadas son de categoría II (Bovee et al., 1998), son curvas derivadas mediante análisis de frecuencias, combinado con técnicas de ajuste a través de análisis de regresión múltiple lineal y polinomial, basadas en datos observados para diferentes familias y géneros más abundantes de la comunidad de maroinvertebrados acuáticos.

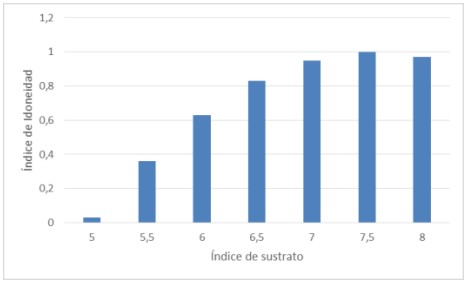
Figura 16. Curvas de preferencia de hábitat para velocidad (16a), profundidad (16b) y tipo de sustrato (16c), de la familia Hyalellidae.



16 a)



16 b)



16 c)

Los valores detallados se encuentran en el **ANEXO III-Curvas de Preferencia**; tanto de las familias Baetidae, Hydropsichidae y Hyalellidae. Los datos correspondientes a la familia indicadora fueron ingresados en *Suitability Curves* integrado en el PHABSIM para su representación y posterior análisis, es decir predice el hábitat disponible para la especie indicadora bajo diferentes valores de descarga.

3.2.5 Relación Caudal - Hábitat.

Se realiza el cálculo del hábitat potencialmente utilizable (HPU) o *Weighted Usable Area* (término en inglés, WUA). Como resultado de la simulación del hábitat, se estima el hábitat potencialmente utilizable (HPU) para la especie indicadora.

Los valores de HPU/WUA serán relacionadas a través de curvas Caudal-Hábitat para los diferentes caudales medidos en campo como los simulados, expresando el caudal necesario para mantener vida acuática aguas abajo de la Represa El Labrado.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Presentación de resultados.

4.1.1 Calidad del agua a través del BMWP/Col.

La calidad del agua que se determinó a través del BMWP/Col durante los tres meses de campaña en las cuatro secciones correspondientes al río Chulco se describen en las Tablas (12, 13 y 14):

Tabla 12. Calidad ecológica – BMWP/Col del río Chulco, mes de Septiembre.

FECHA:		SEPTIEMBRE DE 2014			
ID	**Punto de muestreo Río Chulco**	**BMWP/Col**	**Clase**	**Calidad**	**Color**
1	Río Chulco antes de la captación de ETAPA.	65	II	Aceptable	Verde
2	Río Chulco antes de la laguna El Labrado.	45	III	Dudosa	Amarillo
3	Río Chulco después de la laguna El Labrado.	40	III	Dudosa	Amarillo
4	Río Chulco 50 m abajo de la Represa El Labrado.	26	IV	Crítica	Naranja

Fuente: Los Autores.

En la Tabla 12, se observa que la calidad del agua a través del índice BMWP/Col en el mes de Septiembre en el Punto 1 es Aceptable con puntaje de 65, siendo el único en disponer de esta calidad, ya que al existir aportes como quebradas éstas proporcionan una dinámica y riqueza en las comunidades bentónicas. Mientras que en los Puntos 2 y 3, la calidad del agua es Dudosa varían de 40 a 45, respectivamente. Finalmente, en el Punto 4 la calidad del agua es Crítica con una puntuación de 26.

Tabla 13. Calidad ecológica – BMWP/Col del río Chulco, mes de Octubre.

FECHA:		OCTUBRE DE 2014			
ID	**Punto de muestreo Río Chulco**	**BMWP/Col**	**Clase**	**Calidad**	**Color**
1	Río Chulco antes de la captación de ETAPA.	48	III	Dudosa	Amarillo
2	Río Chulco antes de la laguna El Labrado.	43	III	Dudosa	Amarillo
3	Río Chulco después de la laguna El Labrado.	39	III	Dudosa	Amarillo
4	Río Chulco 50 m abajo de la Represa El Labrado.	18	IV	Crítica	Naranja

Fuente: Los Autores.

En la Tabla 13, se observa que la calidad del agua el mes de Octubre para los Puntos 1, 2, y 3 es de Dudosa con valores de 48, 43 y 39, respectivamente. Tanto que en el Punto 4 la calidad es Crítica con una puntuación de 18.

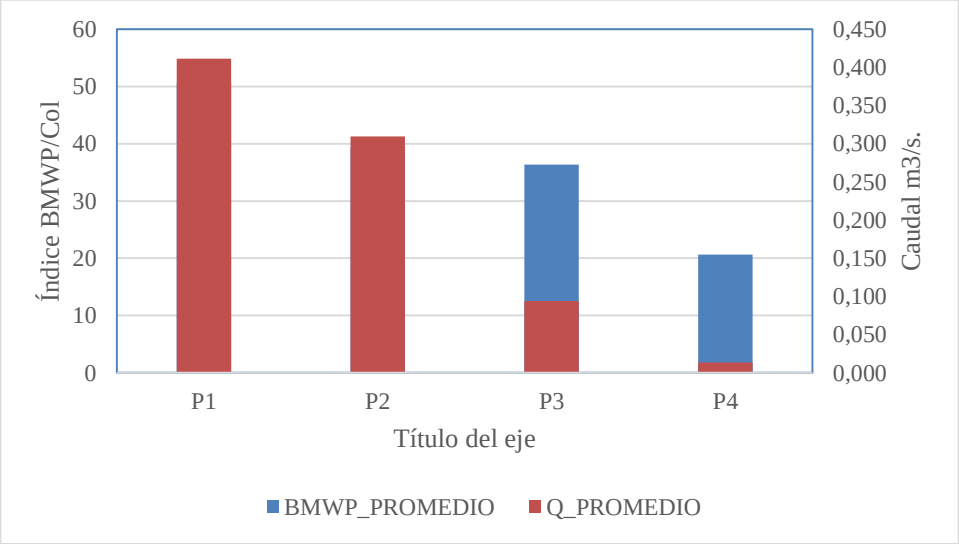
Tabla 14. Calidad ecológica – BMWP/Col del río Chulco, mes de Noviembre.

FECHA:		NOVIEMBRE DE 2014			
ID	**Punto de muestreo Río Chulco**	**BMWP/Col**	**Clase**	**Calidad**	**Color**
1	Río Chulco antes de la captación de ETAPA.	39	III	Dudosa	Amarillo
2	Río Chulco antes de la laguna El Labrado.	30	IV	Crítica	Naranja
3	Río Chulco después de la laguna El Labrado.	30	IV	Crítica	Naranja
4	Río Chulco 50 m abajo de la Represa El Labrado.	18	IV	Crítica	Naranja

Fuente: Los Autores.

De las Tablas 12, 13 y 14, se concluye que la calidad del agua depende de elementos que afectan la calidad y cantidad del líquido tales como la presencia de ganadería en las riberas del río así como el control de descarga del recurso desde la represa hacia el río.

Figura 17. Relación entre Índice de BMWP/Col vs. Caudal.



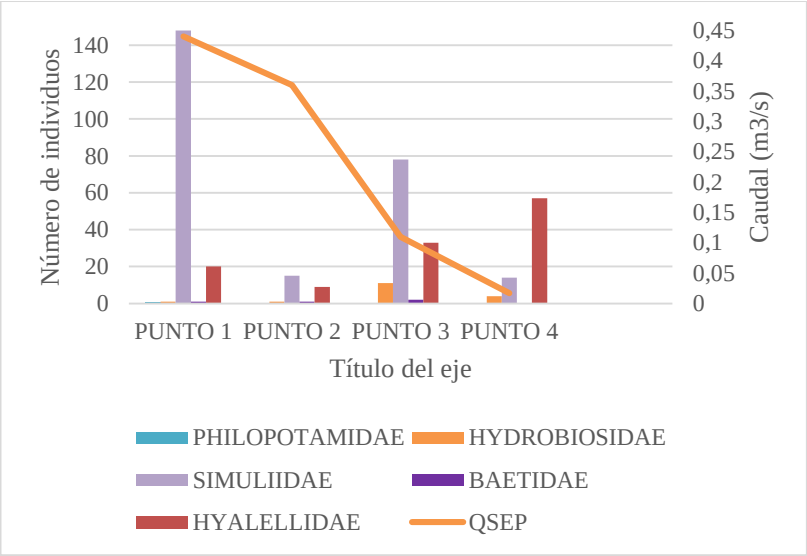
Fuente y elaboración: Los Autores.

En la Figura 17, se observa que entre el Índice de calidad BMWP/Col y el caudal circundante en cada punto de monitoreo existe una correlación muy grande; al existir mayor caudal incrementa el valor del índice (mejor calidad del agua) y por consiguiente existe una mayor diversidad de macroinvertebrados bentónicos. Por lo

contrario, conforme disminuye la cantidad del recurso también reduce la calidad del agua con una menor cantidad de fauna acuática.

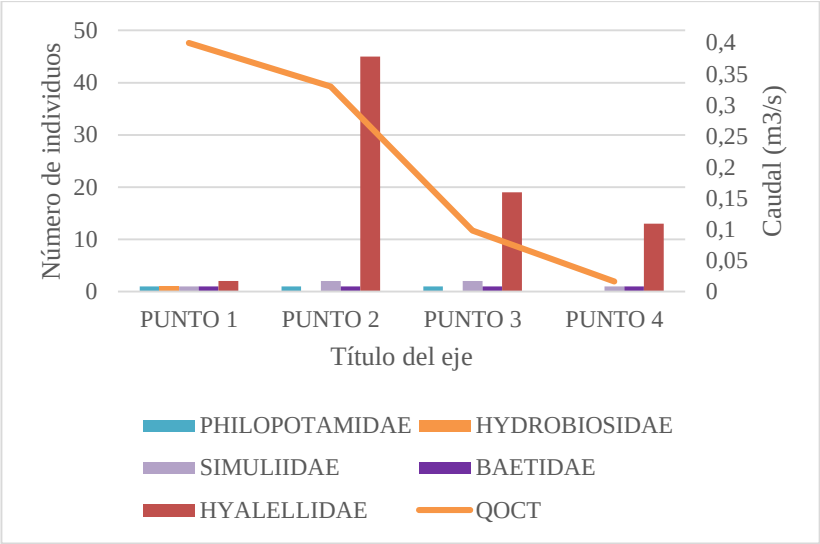
En las Figuras: 18, 19 y 20, se encuentran agrupados las familias con puntajes superiores a 7 de acuerdo al Índice BMWP/Col indicando una calidad de agua media; en la sección Anexo 1.2 Familias presentes en el río Chulco, se encuentran detalladas todas las familias que se colectaron expresados en términos de cantidad de los mismos.

Figura 18. Número de Individuos presentes en cada sección vs. Caudal circundante. Mes Septiembre.



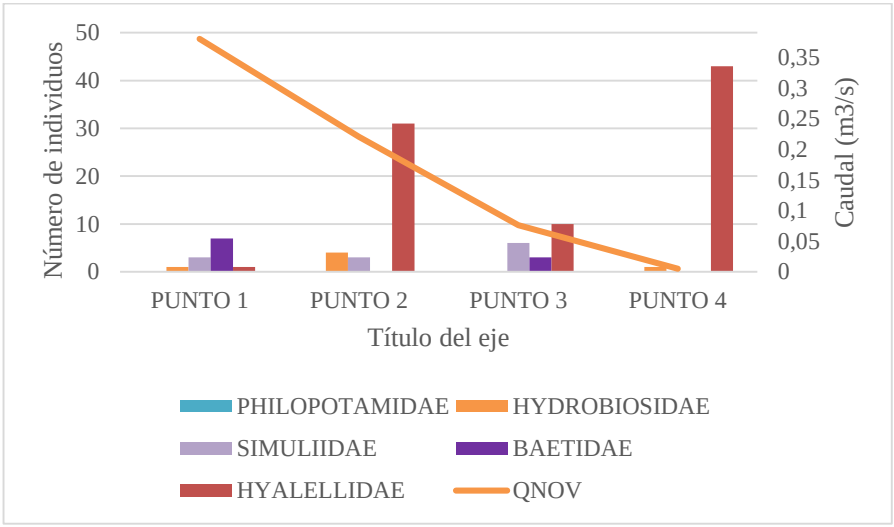
Fuente y elaboración: Los Autores.

Figura 19. Número de Individuos presentes en cada sección vs. Caudal circundante. Mes Octubre.



Fuente y elaboración: Los Autores.

Figura 20. Número de Individuos presentes en cada sección vs. Caudal circundante. Mes Noviembre.



Fuente y elaboración: Los Autores.

4.1.2 Análisis Físico-químicos con Multiparamétrico HANNA HI 9829.

De los análisis físico-químicos determinados in-situ a través del equipo Multiparamétrico conjuntamente con los índices de calidad del agua con BMWP/Col, se concluye que el límite permisible estipulado por el TULAS Libro VI Anexo 1 sobre criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario; el pH cumple con el límite, el oxígeno

disuelto no cumple con la norma, presenta valores inferiores a los 6 mg/lt. Mientras que la temperatura disminuye debido a las condiciones meteorológicas del área de estudio, cada uno de estos parámetros físico-químicos que se han determinado en el río, son parte de un análisis que ha sido utilizado como guía relacionada para la determinación de la calidad del agua en base a macroinvertebrados.

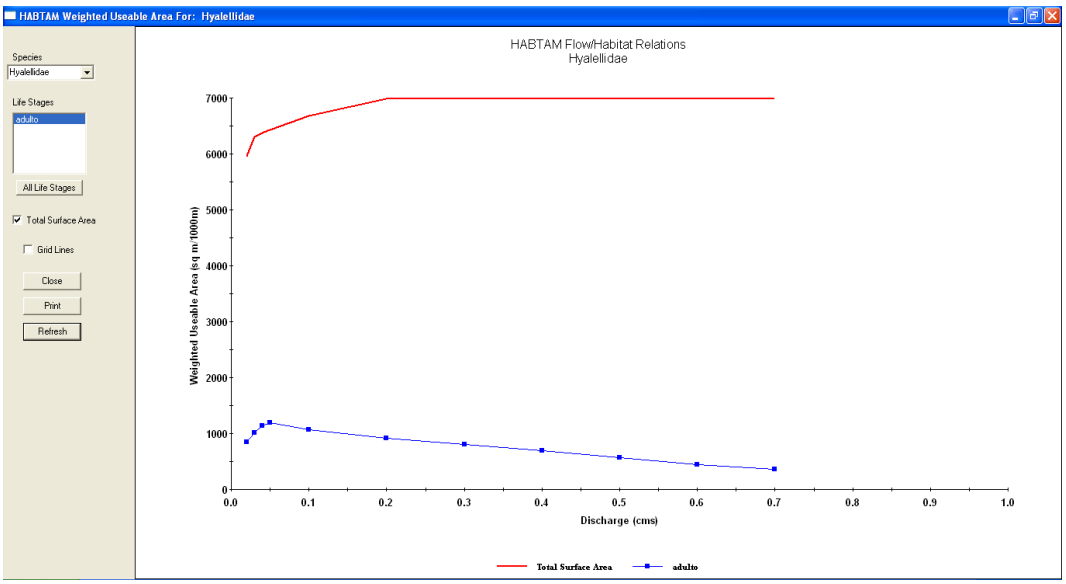
4.1.3 Modelamiento con PHABSIM.

El protocolo de modelamiento con PHABSIM para la familia Hyalellidae sobre todos los procedimientos aplicados tanto como el ingreso de las variables hidráulicas, físicas e bentónicas, se observa detalladamente en el **ANEXO IV. Modelamiento con PHABSIM.**

4.1.3.1 Relación Caudal – Hábitat.

Como resultado del modelamiento se determinó que el caudal óptimo esta entre 30 a 40 litros por segundo para conservación de la familia más abundante en los cuatro puntos de monitoreo, y como caudal máximo recomendable es de (50 lt/s). Valores superiores alteran el desarrollo de vida de la familia indicadora que se consideró para el modelamiento.

Figura 21. Relación Caudal – Hábitat de la familia Hyalellidae.



4.2 Cumplimiento de Hipótesis.

En el presente proyecto se cumple la siguiente hipótesis:

Hipótesis Alternativa.

La cantidad de agua que descarga la Represa El Labrado como caudal ecológico no es suficiente para mantener los procesos ecológicos que se dan aguas abajo de la represa mediante el análisis del método PHABSIM.

CONCLUSIONES.

- A partir de las campañas de monitoreo con macroinvertebrados bentónicos y la aplicación del índice BMWP/Col junto con el análisis de los parámetros físicos-químicos (oxígeno disuelto, pH, temperatura) se pudo determinar la calidad del agua en el lapso de tres meses (octubre – noviembre) para los cuatro puntos. Para el mes de septiembre en el Punto 1 la calidad del agua es Aceptable, siendo el único mes y punto en disponer de esta calidad. Para los puntos 2 y 3 durante los tres meses mantuvieron una calidad Dudosa, y finalmente en el Punto 4 ubicado a 50m abajo de la represa la calidad se ve reducida a Crítica.

- El análisis físico-químico del agua demuestra que el valor de oxígeno disuelto (0,40 – 2,77 mg/lt) según el TULAS Libro VI Anexo 1, no cumple con los límites permisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario; esto confirma la abundancia de la familia Chironomidae en los cuatro puntos de monitoreo; pues su presencia está asociado a altas concentraciones de materia orgánica y bajos valores de oxígeno (Raudez, 2003 en ORTÍZ, 2005). El valor de pH (7.12 a 7.99) es bastante estable, cerca del neutro señala en 7, cumple con la norma; mientras que la temperatura (de 9.10 a 12,69 ºC) característico de los ríos de alta montaña que varían su temperatura conforme la altitud (3170-3400 msnm).

- Los resultados del modelamiento con PHABSIM obtenidos para la familia indicadora (Hyalellidae), establecen que la cantidad de agua que se descarga normalmente desde la represa hacia el río (15 l/s) no es la adecuada, lo cual provoca cambios en la comunidad bentónica, reduciendo el número de individuos indicadores de buena calidad.

- En el modelamiento con PHABSIM sobre la familia indicadora se determinó que el caudal necesario que se debe destinar desde la represa hacia el río está comprendido entre 30 a 50 l/s. Cabe mencionar que el caudal que se obtuvo es para la familia con puntaje 7 de acuerdo al BMWP/Col lo cual indica una calidad de agua media, y este va a variar en función de los requerimientos de cada familia que se pretenda realizar la simulación y la cantidad de agua que se desea obtener.

RECOMENDACIONES.

- Para la toma de muestras de macroinvertebrados usando la metodología BMWP/Col se recomienda hacer la remoción del fondo con las manos y en menor proporción con los pies, pues esto evita provocar cambios en su morfología lo cual constituye una reducción de indicadores bentónicos.

- Para aplicaciones posteriores con la utilización de modelo PHABSIM se recomienda realizar las mediciones de tres niveles de superficie libre usando equipos electrónicos como: molinete, correntómetro, y otros que permitan realizar dicha tarea.

- Se pone a consideración de la empresa ELECAUSTRO S.A, disponer de una cantidad de 30 a 40 l/s como caudal mínimo necesario para la conservación de la biodiversidad del medio fluvial en el río Chulco.

- Se debería trabajar con planes de manejo ambiental, planes de protección y conservación de fuentes hídricas para que de esta manera disminuya la intervención antropogénica que prioriza en la zona con actividades, agricultura y ganadería incontrolada. Y así disminuir el uso excesivo de abono químico y gallinaza en las zonas de aprovechamiento, pues según la ubicación geográfica y pendiente del cauce, esta propenso a ser un área de desarrollo de macroinvertebrados de mala calidad del agua (Chironomidae,

Anellidae), pues estos se desarrollan en agua lenticas y con la presencia de materia orgánica en descomposición.

- Verificar el cumplimiento permanente de las actividades descritas en el Plan de Manejo Ambiental planteadas en el Estudio de Impacto Ambiental para las centrales hidroeléctricas Saucay y Saymirín de propiedad de la empresa Electro Generadora del Austro (ELECAUSTRO S.A).

- Incrementar el monitoreo de fauna acuática béntica en el río Chulco, de tal manera que permita subsanar las actividades que comprenden la operación y mantenimiento de la represa.

PROPUESTAS GENERALES.

Considerando que en el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca las parroquias que contienen el área de estudio están clasificadas como "Área de Recuperación Especial" se propone:

- Desarrollar convenios interinsticionales entre las parroquias locales de la zona de estudio (Checa y Chiquintad) que permitan el manejo, protección y conservación de las fuentes hídricas y zonas de aprovechamiento de manera sostenible y sustentable; asegurando la calidad y continuidad del recurso.

- Actualizar los Planes de Ordenamiento Territorial que tomen como base para crear una propia; al igual que a la generación de políticas, leyes, ordenanzas, reglamentos para controlar el uso y ocupación del suelo para el desarrollo de las actividades en el área.

- Desarrollar actividades de reforestación con especies nativas del área para disminuir la frontera agrícola y por tanto fortaleciendo la retención de agua en la cuenca alta del río Machángara.

- Suscripción de convenios de Cooperación científico-tecnológica entre las instituciones educativas de ámbitos local, nacional e internacional para desarrollar proyectos de investigación científica y tecnológica; colaborar y participar en el desarrollo y realización de programas académicos de grado; desarrollar y promover investigaciones con carácter multidisciplinario, que cubran todos los campos de conocimiento.

- Tomando en cuenta que los caudales superiores a los 50 litros/seg., que se descargue desde la represa; el ancho y profundidad del río no abastecen para los mismos; por lo tanto se deben crear planes de prevención, emergencia y contingencia para evitar un desastre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ALCÁZAR J. El Método del Caudal Básico para la determinación de Caudales de Mantenimiento Aplicación a la Cuenca del Ebro. Abril, 2007. Retrieved from http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8236/Tjam1d1.pdf?sequence=1

ALONSO-E., y PERLA E. (ed.). *Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2012.

ALTERNATIVA: hidroeléctrica | Artículos científicos | PlanetSEED. (2013). Retrieved February 24, 2014, Disponible en línea: http://www.planetseed.com/es/relatedarticle/fuentes-de-energia-alternativa-energia-hidroelectrica

ANDERSON, E. P., Encalada, A. C., Maldonado-Ocampo, J. A., McClain, M. E., Ortega, H., y Wilcox, B. P. (n.d.). Caudales Ambientales: un Concepto para el Manejo de los Efectos de las Alteraciones Fluviales y el Cambio Climático en los Andes.

ARANDA, D. F. C. *Procesos del ciclo hidrológico*. UASLP, 1984.

Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E., y de Jesús Monsalve, A. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquía. *Revista EIA, 5*(9), 121–141., 2013.

ARIAS, V. Los caudales ecológicos en el Ecuador: análisis institucional y legal. Marzo del 2012.

Arthington A.H. Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Holistic Methodologies. *LWRRDC Occasional Paper 26/98*, 46. 1998.

AUSTRIA, P. F. M. MÉTODOS DE CÁLCULO DEL CAUDAL DE RESERVA ECOLÓGICO PARA CORRIENTES SUPERFICIALES: EL CASO DE LOS RÍOS TONTO Y SANTO DOMINGO, EN EL ESTADO DE OAXACA, MÉXICO., 13. 2011.

ÁVILA G., P. A. (Ed.). *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI: México desde una perspectiva global y regional*. El Colegio de Michoacán A.C. 2003.

BOLÍVAR, C. J. P. *El agua. Sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. ECOE EDICIONES. 2004.

BOVEE, K.D. Development and evaluation of gabitat suitability criteria for use in the flow incremental methodology. *USDI Fish and Wildlife Service*, 235. 1986.

BREÑA, P. A. F., y Jacobo, V. M. A. *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana Ciudad de México. 2006.

BUCHANAN, T. J., y Somers, W. P. Discharge measurements of water-Resources Investigations, Book 3, Chapter A8. Retrieved from http://pubs.usgs.gov/twri/twri3a8/html/pdf.html. 1968.

CARDONA DUQUE, W. *Curvas de idoneidad de hábitat para macroinvertebrados bentónicos: una herramienta para la estimación de caudales ambientales*. Retrieved from http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/7651. 2014.

CASTELLANOS, P. R., y Moreno, M. del C. y V. *Avances en calidad ambiental*. Universidad de Salamanca. 2002.

CASTRO HEREDIA, L. M., Carvajal Escobar, Y., y Monsalve Durango, E. A. Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería Y Universidad*, *10*(2). 2010.

CASTRO, L. M., CARVAJAL, Y., y MONSALVE, E. A. Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería Y Universidad*, *10*(2), 17. 2010.

DAUB, W. G., y Seese, W. S. *Quimica*. Pearson Educación. 2005.

DIEZ HERNÁNDEZ, J. M. *Determinación de caudales ecológicos en ríos: Mitología Holística IFIM-PHABSIM.* (evento). Auditorio del edificio Madre de la Sabiduría de la Universidad Católica de Oriente: Universidad Católica de Oriente. 2014.

FAO. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo. 2005. En línea disponible http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s00.htm

FASSBENDER, H. W. *Modelos edafologicos de sistemas agroforestales*. Bib. Orton IICA / CATIE. 1993.

FOSSATI, O., y Calvez, R. Requerimientos científicos para caudales ecológicos en ríos del sistema Papallacta, Ecuador. *Quito, Julio* de 2006. Retrieved from http://www.mpl.ird.fr/divha/aguandes/ecuador/papallacta/doc/D02-Requerimientos-06.pdf

GARCÍA, E., Martínez, P. F., Jalón, D. M. G. de J., y Martínez, F. M. Simulación del hábitat físico en un tramo del río Lozoya, utilizando el sistema PHABSIM. *Ingeniería hidráulica en México*, *vol. XXIII*(4), 12. 2008.

GASTÓN AGUILERA. Modelo PHABSIM (Physical Habitat Simulation Method). 2011.

GETA, J. A. L., y Fornés, J. M. *La Geologia e Hidrogeologia en la Investigacion de Humedales*. IGME. 2009.

GIACOMETTI, J., y Bersosa, F. Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico*, *6*, 17–32. 2006.

GIRÁLDEZ, J. V., Vanderlinden, K., y M. ten Berge, H. F. *La evaporación del agua del suelo bajo control atmosférico.* (R. Muñoz-Carpena.). La Laguna-Tenerife: ICIA. 1999.

JOWETT Ig. Instream flow methods: a comparison of approches. Regulated Rivers: Reserch y Management, *13*(2), 127. doi:10.1002. 1997.

KRAMER, F. *Educación ambiental para el desarrollo sostenible*. Los Libros de la Catarata. 2003.

LUNA, F. W., Estrada, M. H., Jiménez, O. J., y Pinzón, L. L. EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE TRES ESPECIES ARBÓREAS CADUCIFOLIAS. *Terra Latinoamericana*, *30*(4), 343–353. 2012.

Maderey R., L. E., y Colaborador, J. R. *Principios de Hidrogeografia. Estudio Del Ciclo Hidrologico* (Núm. 1.). México: UNAM. 2005.

MARÍN V., L. M., OCHOA R., J. A., y PRADO F., K. V. *Análisis comparativo in vitro de la actividad biodegradadora de bacterias del género Pseudomonas sp. y microorganismos nativos, para su uso en un proceso de biorremediación in situ de sales de cianuro* (Thesis). Diciembre de 2010. Disponible en línea: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1524

MAYO M. Determinación de Regímenes de Caudales Ecológicos Mínimos: Adaptación del Método IFIM-PHABSIM y Aplicación a los ríos Españoles. 2000. Disponible en línea: http://oa.upm.es/667/1/07200013.pdf

MONGE-NÁJERA, J., Figueroa, P. G., Rossi, M. R., y Editorial, U. E. a D. (Costa R. (2002). *Biología General*. EUNED.

MORENO VERA, L. H. *Modelamiento del caudal ecológico del río Daule: Sector planta La Toma*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Guayas-Ecuador. 2012.

NARANJO LÓPEZ, C., González Lazo, D. D., Blandimarte, A. L., Munoz Riveaux, S., y Musle Cordero, Y. Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cub para ríos cubanos. *Revista Tecnura*, *9*(17), 65–76. 2005.

OMS. OMS | Control de la contaminación del agua: guía para la aplicación de principios relacionados con la calidad del agua. Mayo 27 de 2003. http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watpolcontrol/es/

ORTH, D. J., y Maughan, O. E. Evaluation of the Montana Method for recommending instream flows in Oklahoma streams. In *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science* (Vol. 61, pp. 62–66). 1981. Disponible en línea: http://digital.library.okstate.edu/oas/oas_pdf/v61/p62_66.pdf

ORTÍZ, L. L. La bioindicación de la calidad del agua: Importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del Río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, (7), 5–11. 2005.

PARADA-PUIG, G. El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*, *16*(1), 69–76. 2012.

ROLDÁN G. P. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col*. Universidad de Antioquia. 2003 a).

ROLDÁN G., P. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col* (Primera Edición). Colombia: Universidad de Antioquia. 2003 b).

ROVERE, M. B. *Gobernanza del agua en América del Sur: dimensión ambiental*. IUCN. 2006.

SÁNCHEZ, O. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología. 2007.

TERNEUS, E. (n.d.). Autores: Dra. Verónica Arias. Retrieved from http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/ARIAS%20V%20et%20al%202012%20Analisis%20M%20Legal%20e%20Institucional%20C%20E%20Ecuador-SPANISH.pdf

Territorios Inteligentes: Dimensiones y Experiencias Internacionales. Netbiblo. 2008.

UNC, Bogotá. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS LICENCIADOS, 135. 2008.

VALDÉS, T. V., y Cano-Santana, Z. *Ecología y medio ambiente*. Pearson Educación. 2005.

WADDLE, T.J. (ed). (2012). PHABSIM for Windows user's manual and exercises. USGS. Fort Collins. Retrieved from https://www.fort.usgs.gov/publication/15000

ZAPATA, A. L. El planeta, la vida, el agua y la ciudad. 19 de septiembre de 2002. Disponible en línea: http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=19850606

ANEXOS

ANEXO I. Perfiles Transversales.

ANEXO 1.1 Registro de datos.

SECCIÓN:		**PUNTO 1. DESPUÉS DE LA CAPTACIÓN DE ETAPA-EP**				
FECHA:		Septiembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
383	0	3169,23	3169,161	0,069		
384	0,6	3169,16	3169,09	0,07		
385	1,2	3169,15	3169,07	0,08		
386	1,8	3169,17	3169,11	0,06	0,3	2,12
387	2,4	3169,15	3169,07	0,08	0,5	1,41
388	3	3169,11	3168,99	0,12	0,5	1,14
389	3,6	3169,015	3168,8	0,215	0,6	1,28
390	4,2	3169,005	3168,78	0,225	0,6	2,31
391	4,8	3168,965	3168,7	0,265	1	2,89
392	5,4	3168,973	3168,716	0,257	1	2,37
393	6	3169,01	3168,79	0,22	1	2,24
394	6,6	3169,07	3168,91	0,16	1	2,25
396	7,2	3169,165	3169,1	0,065	1	2,81
397	7,8	3169,18	3169,13	0,05	1	2,97
398	8,4	3169,14	3169,05	0,09	1	3,57
399	9	3169,13	3169,03	0,1	1	4,44
400	9,6	3169,04	3168,84	0,2	1	4,6
401	9,7	3170,46	3169,66	0,8	1	8,49

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		**PUNTO 2. ANTES DE LA LAGUNA**				
FECHA:		Septiembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P3I	0	3220,034	3220,034			
P3II	0,6	3220,043	3220,043			
P33	1,2	3220,045	3220,045			
P34	1,8	3220,043	3220,043			
P35	2,4	3320	3220			
P36	3	3320	3219,92	0,08	0,3	10,02
P37	3,6	3320,6	3219,75	0,19	1	8,82
P38	4,2	3320	3219,8	0,20	1	7,19
P39	4,8	3320	3219,84	0,16	1	4,13
P40	5,4	3320	3219,76	0,24	1	4,02
P41	6	3320	3219,700	0,36	1	3,7
P42	6,6	3320	3219,690	0,39	1	3,82
P43	7,2	3320	3219,81	0,37	0,6	1,37
P44	7,8	3320	3220,060	0,22	0,6	1,19
P3D	8,4	3320,09	3220,100	0,13	0,6	8,1
P3D1	9	3226	3220			
P3D2	9,6	3227,3	3220			
P3D3	10,2	3227,6	3220			

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		PUNTO 2. DESPUÉS DE LA LAGUNA				
FECHA:		Septiembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P33D	0	3281,076	3281,076			
P70	0,6	3281,030	3281,076			
870	1,2	3282,003	3280,756	0,32		
871	1,8	3282,524	3280,816	0,26	0,1	0,18
872	2,4	3281,853	3280,906	0,17	0,6	0,63
873	3	3282,268	3280,946	0,13	0,6	0,91
874	3,6	3282,836	3280,986	0,09	0,6	0,3
875	4,2	3282,268	3280,996	0,08	0,6	0,39
876	4,8	3281,531	3281,080	0,03		

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		PUNTO 4. 50m abajo de la represa El Labrado				
FECHA:		Septiembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P373	0	3393,63	3393,18	0,45		
P374	0,6	3393,51	3393,16	0,35		
P375	1,2	3393,39	3393,19	0,2		
Porilla_Izq	1,8	3393,1	3393,04	0,06		
P377	2,1	3392,94	3392,34	0,13	0,6	4,52
P378	2,4	3392,8	3392,2	0,15	0,6	2,45
P379	2,7	3392,94	3392,64	0,09	0,3	3,63
P380	3	3393,29	3393,24	0,05		
P381	3,6	3393,68	3393,32	0,36		
P382	4,2	3393,71	3393,26	0,45		

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		**PUNTO 1. DESPUÉS DE LA CAPTACIÓN DE ETAPA-EP**				
FECHA:		Octubre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
383	0	3169,23	3169,14	0,09		
384	0,6	3169,16	3169,1	0,06		
385	1,2	3169,15	3169,07	0,08		
386	1,8	3169,17	3169,08	0,09	0,3	2,12
387	2,4	3169,15	3169,07	0,08	0,5	2,51
388	3	3169,11	3169,01	0,1	0,5	2,49
389	3,6	3169,015	3168,825	0,19	0,6	1,88
390	4,2	3169,005	3168,805	0,2	0,6	2,1
391	4,8	3168,965	3168,725	0,24	1	2,09
392	5,4	3168,973	3168,723	0,25	1	2,24
393	6	3169,01	3168,86	0,15	1	2,24
394	6,6	3169,07	3168,91	0,16	1	2,25
396	7,2	3169,165	3169,055	0,11	1	2,81
397	7,8	3169,18	3169,08	0,1	1	3,27
398	8,4	3169,14	3169,05	0,09	1	3,91
399	9	3169,13	3169,03	0,1	1	4,44
400	9,6	3169,04	3168,78	0,26	1	4,6
401	9,7	3170,46	3169,66	0,8	1	7,89

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		**PUNTO 2. ANTES DE LA LAGUNA**				
FECHA:		Octubre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P3I	0	3220,034	3220,034			
P3II	0,6	3220,043	3220,043			
P33	1,2	3220,045	3220,045			
P34	1,8	3220,043	3220,043			
P35	2,4	3320	3220			
P36	3	3320	3219,98	0,02	0,6	9,03
P37	3,6	3320,6	3219,90	0,04	1	8,63
P38	4,2	3320	3219,82	0,18	1	7,19
P39	4,8	3320	3219,74	0,26	1	4,69
P40	5,4	3320	3219,71	0,29	1	3,34
P41	6	3320	3219,810	0,25	1	3,7
P42	6,6	3320	3219,680	0,40	1	4,18
P43	7,2	3320	3219,70	0,48	0,6	4,26
P44	7,8	3320	3219,870	0,41	0,6	1,38
P3D	8,4	3320,09	3220,030	0,20	0,6	2
P3D1	9	3226	3220			
P3D2	9,6	3227,3	3220			
P3D3	10,2	3227,6	3220			

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		**PUNTO 3. DESPUÉS DE LA LAGUNA**				
FECHA:		Octubre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P33D	0	3281,076	3281,076			
P70	0,6	3281,030	3281,076			
870	1,2	3282,003	3280,746	0,33		
871	1,8	3282,524	3280,826	0,25	0,1	0,8
872	2,4	3281,853	3280,906	0,17	0,6	0,682
873	3	3282,268	3280,976	0,1	0,6	0,6
874	3,6	3282,836	3280,986	0,09	0,6	0,49
875	4,2	3282,268	3281,006	0,07	0,6	0,083
876	4,8	3281,531	3281,060	0,05		

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		**PUNTO 4. 50m abajo de la represa El Labrado**				
FECHA:		Octubre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P373	0	3393,63	3393,18	0,45		
P374	0,6	3393,51	3393,16	0,35		
P375	1,2	3393,39	3393,19	0,2		
Porilla_Izq	1,8	3393,1	3393,04	0,06		
P377	2,1	3392,94	3392,34	0,18	0,6	3,93
P378	2,4	3392,8	3392,7	0,16	0,1	0,59
P379	2,7	3392,94	3392,74	0,12	0,2	3,63
P380	3	3393,29	3393,24	0,05		
P381	3,6	3393,68	3393,32	0,36		
P382	4,2	3393,71	3393,26	0,45		

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		**PUNTO 1. DESPUÉS DE LA CAPTACIÓN DE ETAPA-EP**				
FECHA:		Noviembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
383	0	3169,23	3169,161	0,069		
384	0,6	3169,16	3169,09	0,07		
385	1,2	3169,15	3169,07	0,08		
386	1,8	3169,17	3169,08	0,09		
387	2,4	3169,15	3169,08	0,07	0,15	5,2
388	3	3169,11	3169,05	0,06	0,4	9,4
389	3,6	3169,015	3168,895	0,12	0,45	11,38
390	4,2	3169,005	3168,725	0,28	0,6	7,8
391	4,8	3168,965	3168,645	0,32	0,6	4,5
392	5,4	3168,973	3168,633	0,34	1	3,23
393	6	3169,01	3168,82	0,19	1	1,2
394	6,6	3169,07	3168,82	0,25	1	1,9
396	7,2	3169,165	3168,925	0,24	1	2,5
397	7,8	3169,18	3169	0,18	1	6,85
398	8,4	3169,14	3168,99	0,15	1	8,7
399	9	3169,13	3169,03	0,1	1	8,55
400	9,6	3169,04	3168,98	0,06	1	8,4
401	9,7	3170,46	3169,66	0,8		

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		**PUNTO 2. ANTES DE LA LAGUNA**				
FECHA:		Noviembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P3I	0	3220,034	3220,034			
P3II	0,6	3220,043	3220,043			
P33	1,2	3220,045	3220,045			
P34	1,8	3220,043	3220,043			
P35	2,4	3220	3220			
P36	3	3320	3219,98	0,02	0,6	9,1
P37	3,6	3320,6	3219,91	0,03	1	10,83
P38	4,2	3320	3219,83	0,17	1	8,31
P39	4,8	3320	3219,77	0,23	1	5,86
P40	5,4	3320	3219,74	0,26	1	3,14
P41	6	3320	3219,810	0,25	1	3,26
P42	6,6	3320	3219,760	0,32	1	4,39
P43	7,2	3320	3219,79	0,39	0,6	5,64
P44	7,8	3320	3219,870	0,41	0,6	6,98
P3D	8,4	3220,09	3219,990	0,24	0,6	8,22
P3D1	9	3226	3220			
P3D2	9,6	3227,3	3220			
P3D3	10,2	3227,6	3220			

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		PUNTO 3. DESPUÉS DE LA LAGUNA				
FECHA:		Noviembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P33D	0	3281,076	3281,076			
P70	0,6	3281,030	3281,076			
870	1,2	3282,003	3280,806	0,27		
871	1,8	3282,524	3280,826	0,25	0,4	0,8
872	2,4	3281,853	3280,896	0,18	0,3	0,56
873	3	3282,268	3280,956	0,12	0,22	0,52
874	3,6	3282,836	3280,976	0,1	0,2	0,31
875	4,2	3282,268	3281,016	0,06	0,6	0,083
876	4,8	3281,531	3281,060	0,05		

Fuente y Elaboración: Los Autores.

SECCIÓN:		PUNTO 4. 50m abajo de la represa El Labrado				
FECHA:		Noviembre 2014				
RESPONSABLES:		Adriana Sichique - Adrián Rocano				
CELDA Nº	X (m)	NSL (msnm)	NCC (msnm)	PROFUNDIDAD (m)	ESPACIO (m)	TIEMPO (s.)
P373	0	3393,63	3393,18	0,45		
P374	0,6	3393,51	3393,16	0,35		
P375	1,2	3393,39	3393,19	0,2		
Porilla_Izq	1,8	3393,1	3392,97	0,13		
P377	2,1	3392,94	3392,34	0,14	0,6	4,98
P378	2,4	3392,8	3392,7	0,07	0,1	2,16
P379	2,7	3392,94	3392,94	0,05		
P380	3	3393,29	3393,28	0,01		
P381	3,6	3393,68	3393,32	0,36		
P382	4,2	3393,71	3393,26	0,45		

Fuente y Elaboración: Los Autores.

ANEXO 1.2 Familias presentes en el río Chulco.

FAMILIAS	Puntajes	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3			PUNTO 4		
		Sep.	Oct.	Nov.	Sep.	Oct.	Nov.	Sep.	Oct.	Nov.	Sep.	Oct.	Nov.
Hydrobiosidae	9	1	1	1	1	-	4	11	-	-	4	-	1
Philopotamidae	9	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-
Simuliidae	8	148	1	3	15	2	3	78	2	6	14	1	-
Baetidae	7	1	1	7	1	1	-	1	1	3	-	-	-
Baetodes	7	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	13	-
Hyalellidae	7	20	2	1	9	45	31	33	19	10	57	-	43
Hydroptilidae	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elmidae	6	1	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-
Limoniidae	6	1	1	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-
Empididae	4	2	-	-	-	2	9	-	-	-	-	-	-
Chironomidae	2	61	4	8	5	2	2	48	4	-	11	17	2
Anellida	-	18	20	5	1		3		2	2	1	1	1
Grypopterygydae	-	5	-	1		-	-	-	-	-	-	-	-
Dugesiidae	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	1
Naididae	-	1	-	-	1	-	-	3	-	-	6	-	-
TOTAL INDIVIDUOS		262	32	27	36	54	52	175	30	22	93	34	48

ANEXO II. Clasificación de Sustrato.

Sección Nº		**Coordenadas UTM**	X	
Fecha del muestreo:			Y	
Código	**Sustrato o Índice de Canal (CI)**			
1	Restos orgánicos	-		
2	Plantas vasculares	-		
3	Perifiton	-		
4	Arcilla	(0.00024-0.004mm)		
5	Limo	(0.004-0.062mm)		
6	Arena	(0.062-2mm))		
7	Grava muy fina	(2-4mm)		
8	Grava fina	(4-8mm)		
9	Grava media	(8-16mm)		
10	Grava gruesa	(32-64mm)		
11	Grava muy gruesa	(64-128mm)		
12	Guijarros pequeños	(128-256mm)		
13	Guijarros grandes	(256-512mm)		
14	Bloques pequeños	(512-1024mm)		
15	Bloques medianos	(1024-2048mm)		
16	Bloques muy grandes	(>2048mm)		
17	Roca llama fragmentada			
18	Roca llama no fragmentada			
19	Roca inclinada no fragmentada			
20	Roca inclinada fragmentada			

ANEXO III. Análisis Físico-químicos.

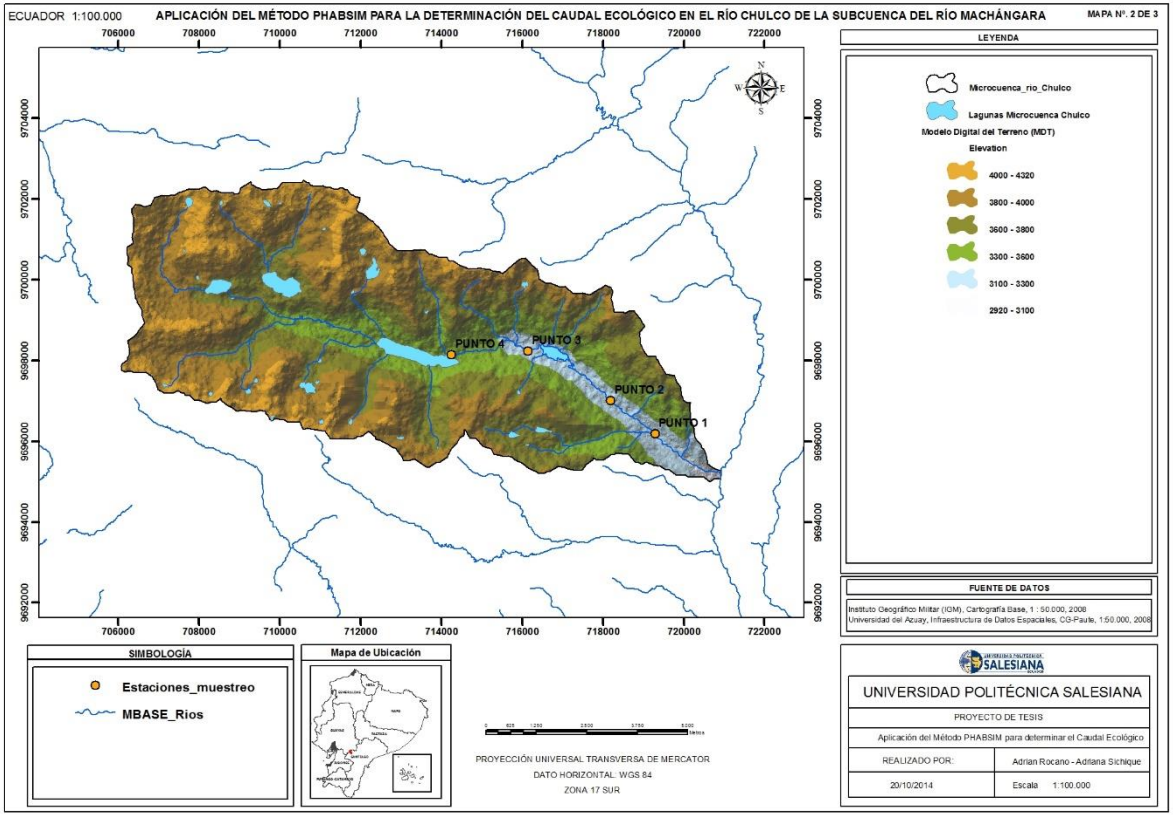
PUNTO: Antes de la captación de ETAPA.														
RESPONSABLES: Adrián Rocano - Adriana Sichique														
Date	Time	Temp. [°C]	pH	mV [pH]	ORP [mV]	EC [µS/cm]	EC Abs. [µS/cm]	RES [Ohm-cm]	TDS [ppm]	Sal. [psu]	Sigma T	Press. [atm]	D.O. [%]	D.O. [mg/L]
2014/09/28	16:22:48	12,24	7,52	-25,7	213,6	157	122	6369	78	7,44E-02	0,0	0,6867	25,8	1,84
2014/10/11	14:42:13	12,17	7,52	-25,9	212,9	157	122	6369	78	7,44E-02	0,0	0,6870	19,7	1,46
2014/11/18	17:49:47	13,14	7,51	-25,3	212,8	156	122	6410	78	7,40E-02	0,0	0,6869	22,1	1,58

PUNTO: Antes de la laguna El Labrado.														
RESPONSABLES: Adrián Rocano - Adriana Sichique														
Date	Time	Temp. [°C]	pH	mV [pH]	ORP [mV]	EC [µS/cm]	EC Abs. [µS/cm]	RES [Ohm-cm]	TDS [ppm]	Sal. [psu]	Sigma T	Press. [atm]	D.O. [%]	D.O. [mg/L]
2014/09/28	15:38:02	12,69	7,80	-38,7	154,2	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6930	37,9	2,77
2014/10/11	12:16:06	11,71	7,79	-48,8	154,0	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6891	19,5	1,43
2014/10/11	12:17:36	12,59	7,70	-44,0	152,3	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6898	20,0	1,43
2014/11/18	16:58:56	12,56	7,61	-43,0	150,7	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6892	19,1	1,41

PUNTO: Después de la laguna El Labrado.														
RESPONSABLES: Adrián Rocano - Adriana Sichique														
Date	Time	Temp. [°C]	pH	mV [pH]	ORP [mV]	EC [µS/cm]	EC Abs. [µS/cm]	RES [Ohm-cm]	TDS [ppm]	Sal. [psu]	Sigma T	Press. [atm]	D.O. [%]	D.O. [mg/L]
2014/09/28	13:52:40	9,85	7,40	-16,1	191,7	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6736	15,8	1,20
2014/10/11	11:10:24	9,76	7,42	-18,9	193,3	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6743	16,0	1,23
2014/11/18	15:49:04	9,78	7,38	-17,7	191,5	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6712	15,9	1,21

PUNTO: 50 m abajo de la Represa El Labrado.														
RESPONSABLES: Adrián Rocano - Adriana Sichique														
Date	Time	Temp. [°C]	pH	mV [pH]	ORP [mV]	EC [µS/cm]	EC Abs. [µS/cm]	RES [Ohm-cm]	TDS [ppm]	Sal. [psu]	Sigma T	Press. [atm]	D.O. [%]	D.O. [mg/L]
2014/09/28	12:14:06	11,71	7,99	-48,8	233,2	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6791	19,5	1,43
2014/09/28	12:16:36	12,59	7,90	-44,0	231,8	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6794	20,0	1,43
2014/10/11	09:32:07	9,28	7,13	-1,4	198,0	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6780	10,8	0,75
2014/10/11	09:33:37	9,22	7,13	-1,3	197,0	0	0	999999	0	0,00	0,0	0,6778	9,7	0,68
2014/10/11	09:34:07	9,13	7,12	-0,5	192,7	1	0	999999	0	0,00	0,0	0,6782	9,8	0,70
2014/11/18	14:42:50	9,10	7,61	-8,9	198,2	1	0	999999	0	0,03	0,0	0,6786	4,8	0,40

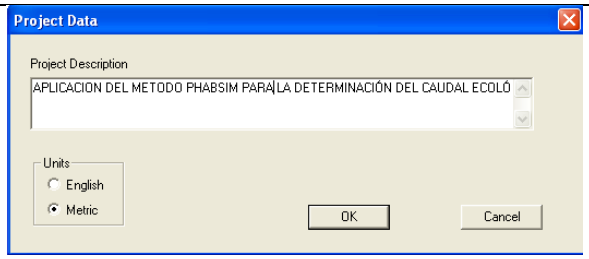
Figura 22. Ubicación de las Secciones Transversales.

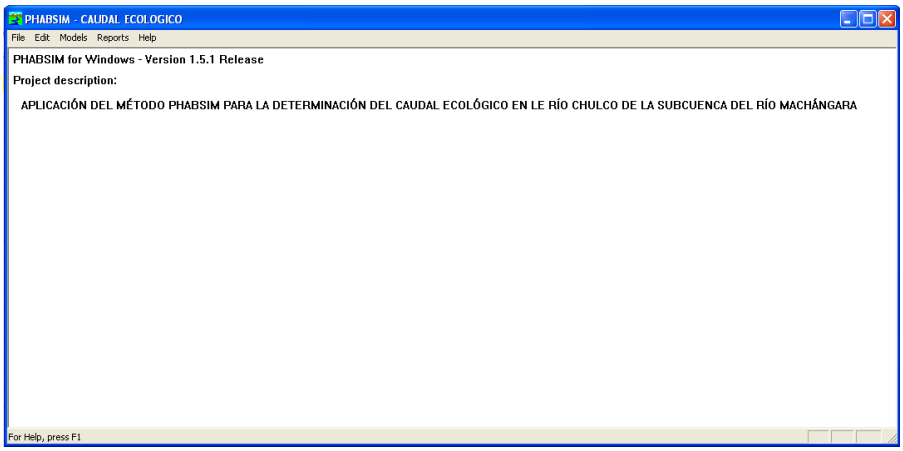


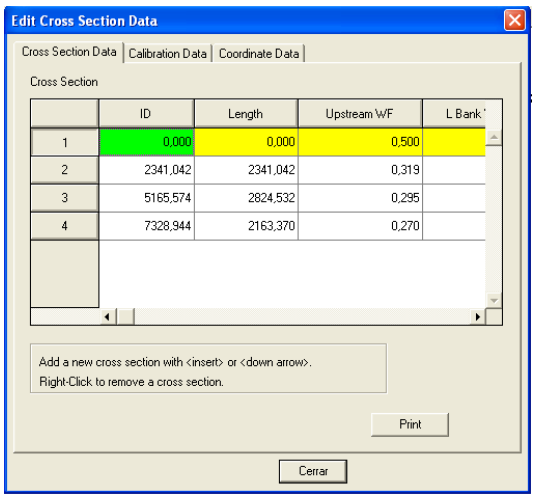
Fuente: Instituto Geográfico Militar, 2008, Base Cartográfica Nacional, escala 1:50000; CG-Paute, 2008.

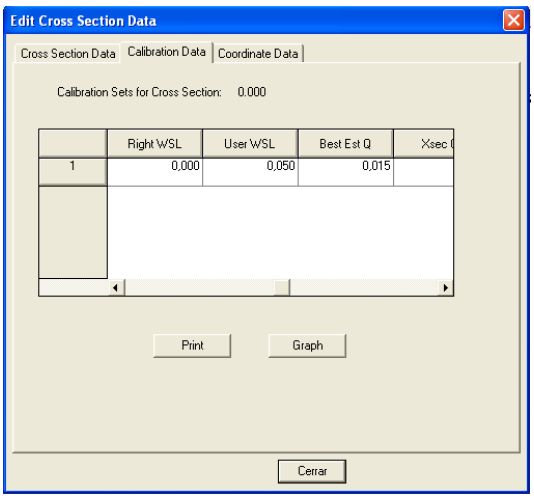
Elaboración: Los Autores.

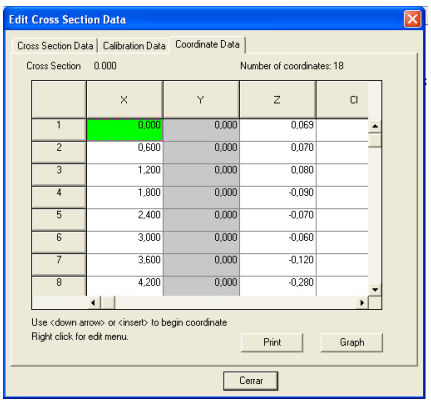
ANEXO IV. Modelamiento con PHABSIM.





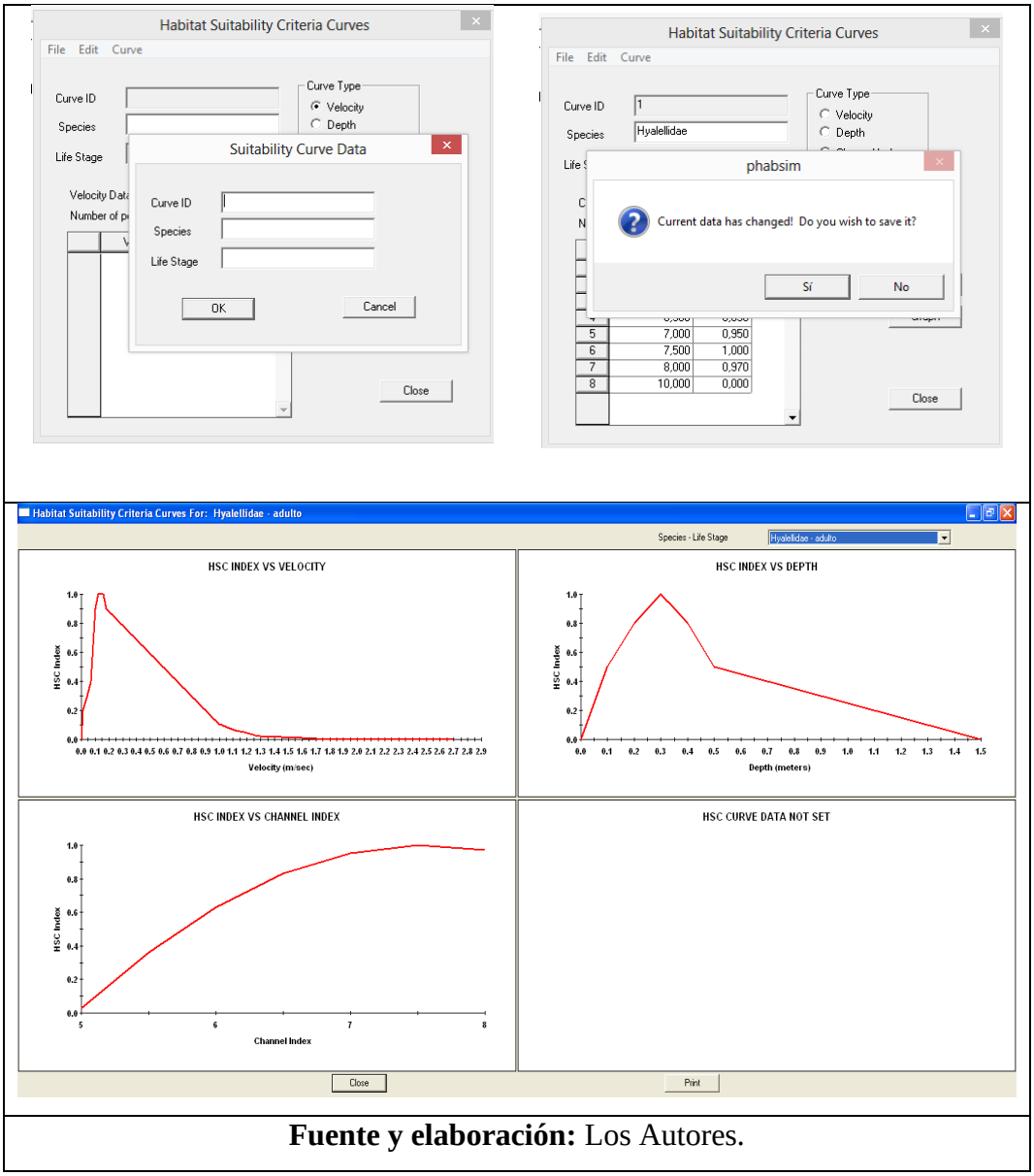






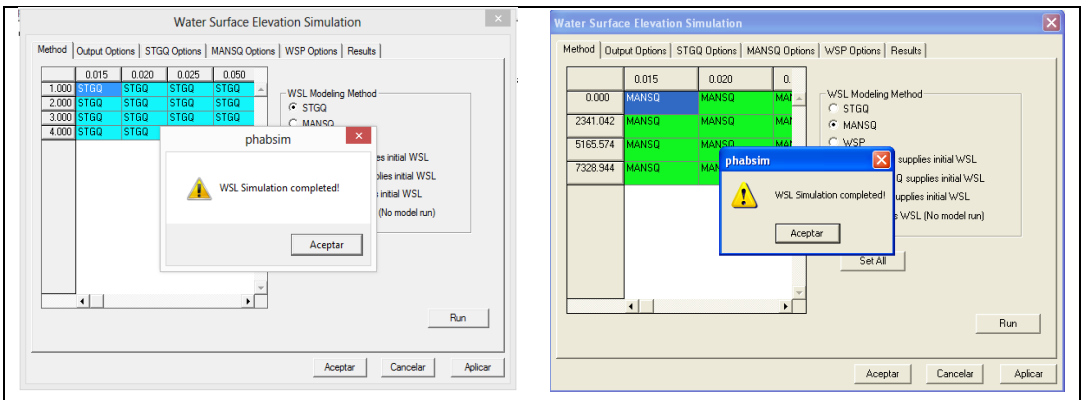
Fuente y elaboración: Los Autores.

Ingreso de curvas de preferencia.

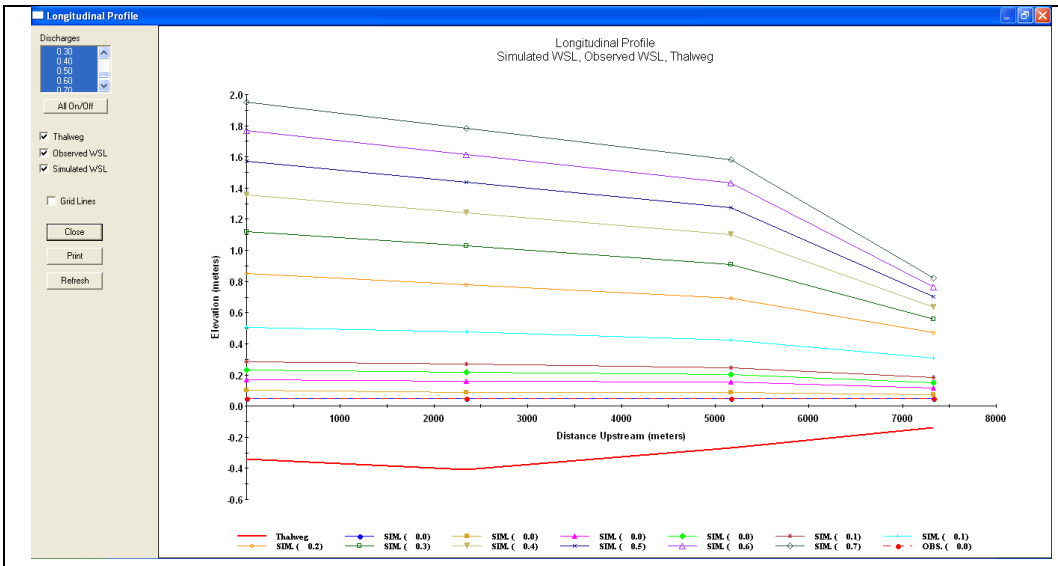


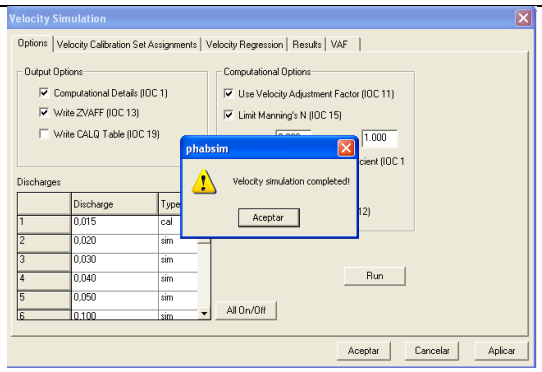
Fuente y elaboración: Los Autores.

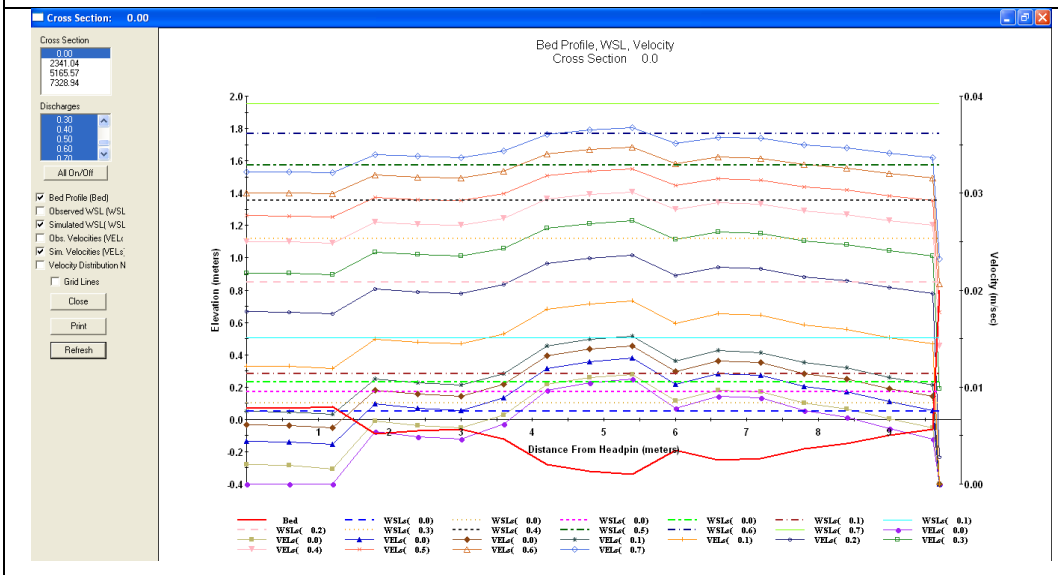
Modelamiento Hidráulico- WSL.



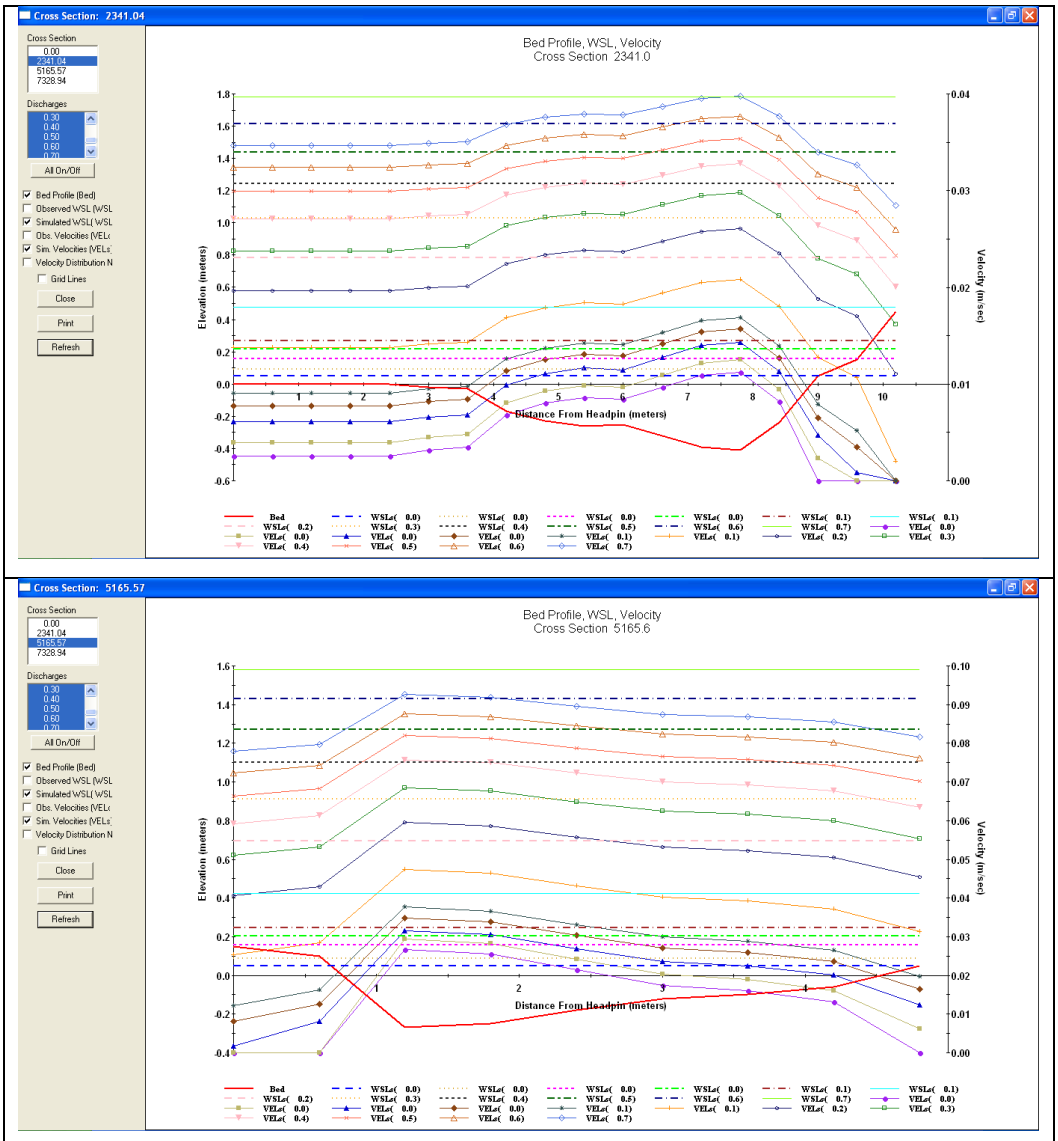
Fuente y elaboración: Los Autores.



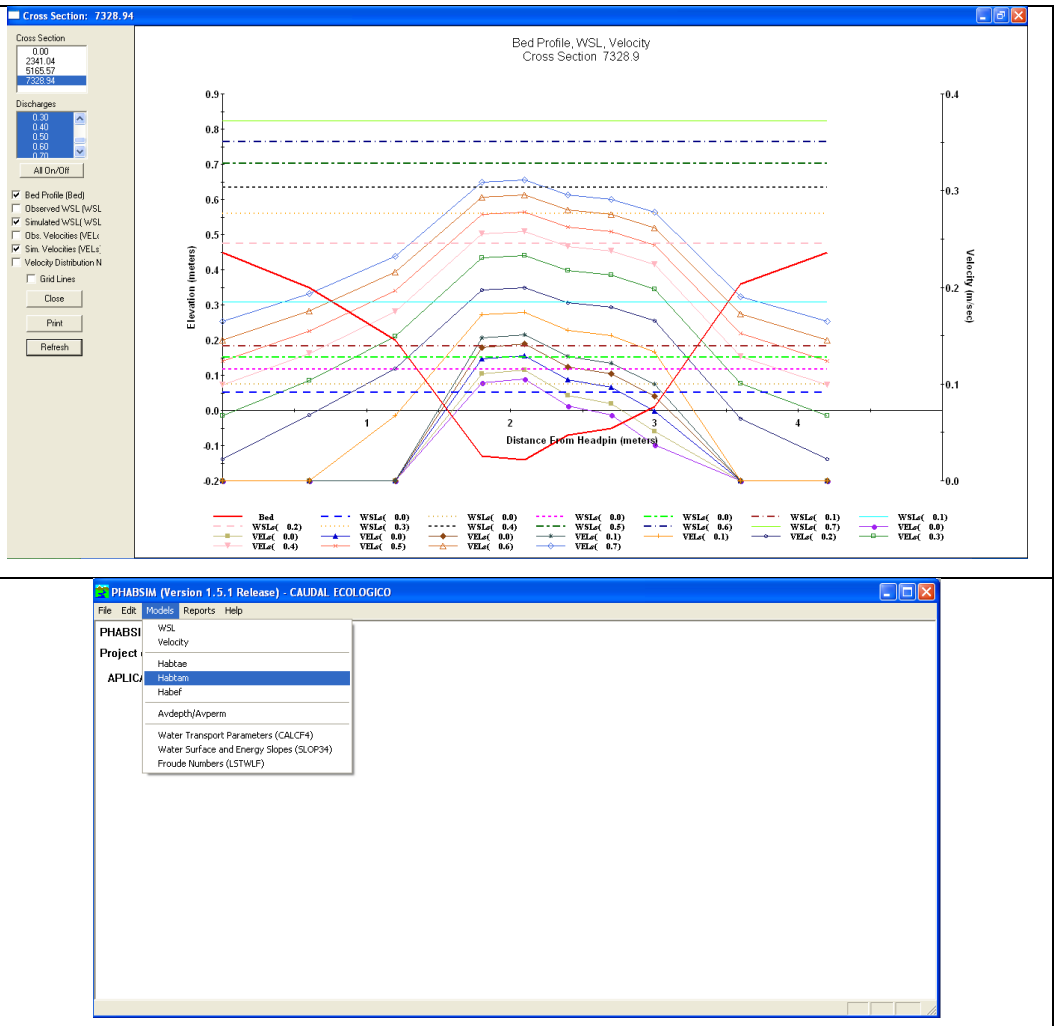


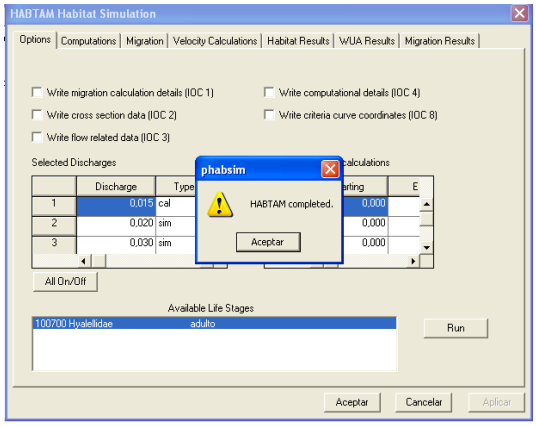


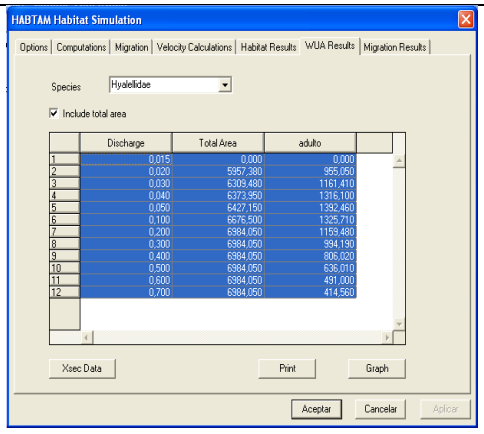
Fuente y elaboración: Los Autores.



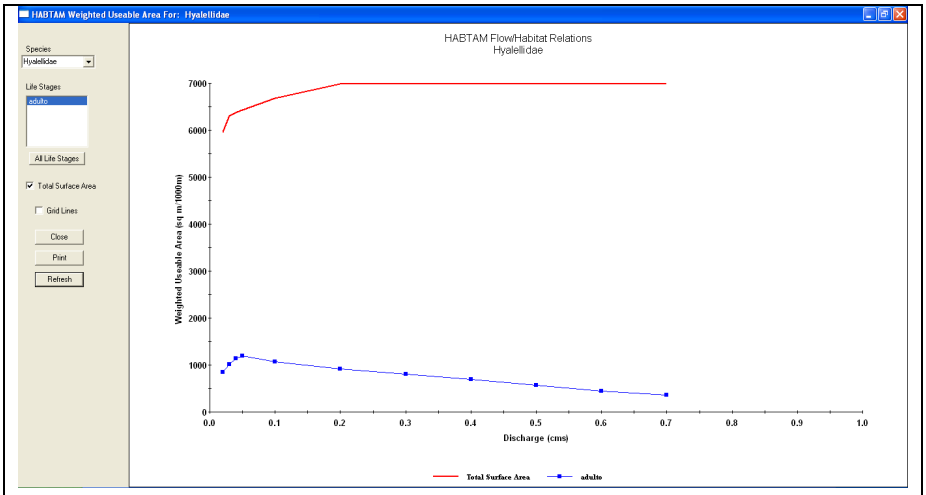
Fuente y elaboración: Los Autores.

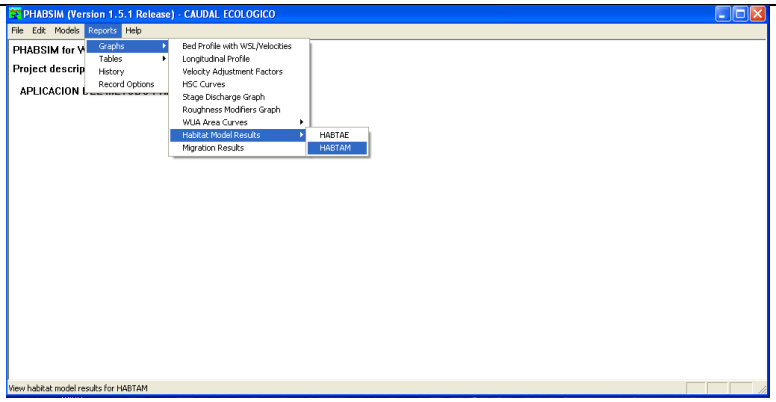






Fuente y elaboración: Los Autores.



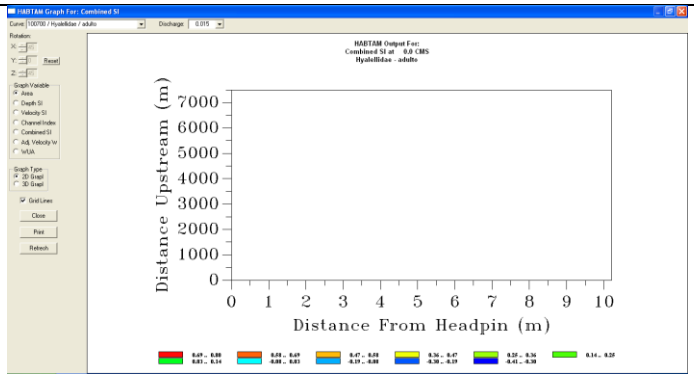


Fuente y elaboración: Los Autores.

Modelamiento con HABTAM.

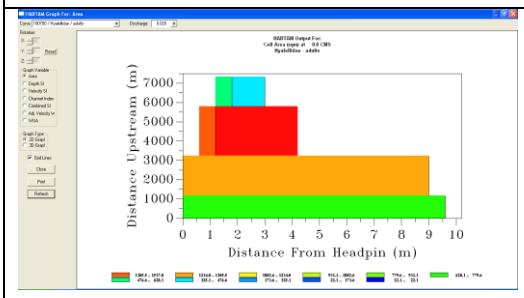
AREA.

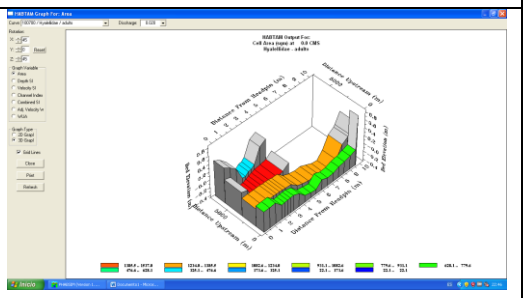
Área para Q = 0.015 m^3/s



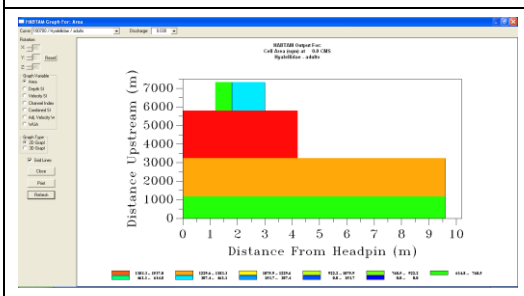
Fuente y elaboración: Los Autores.

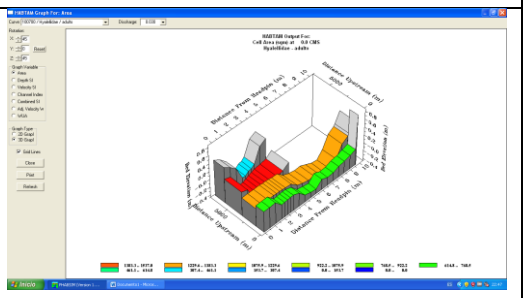
Área para Q = 0.020 m³/s



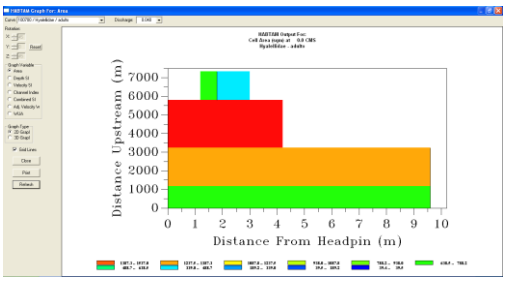


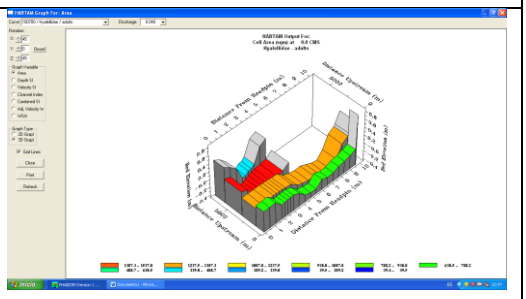
Área para Q = 0.030 m³/s



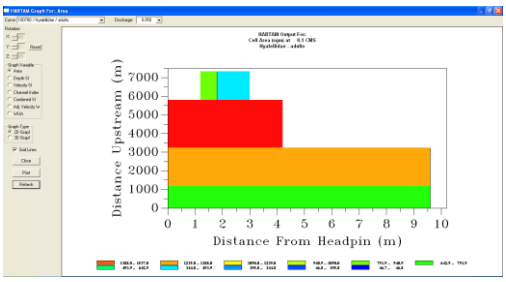


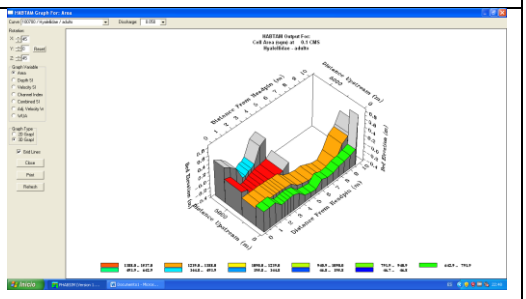
Área para Q = 0.040 m³/s





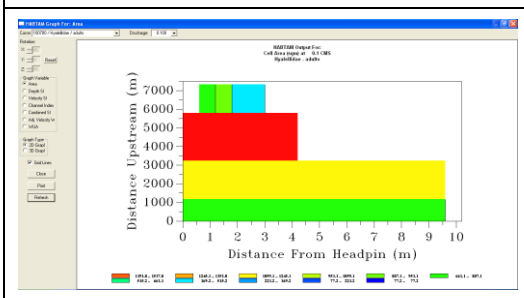
Área para Q = 0.050 m³/s

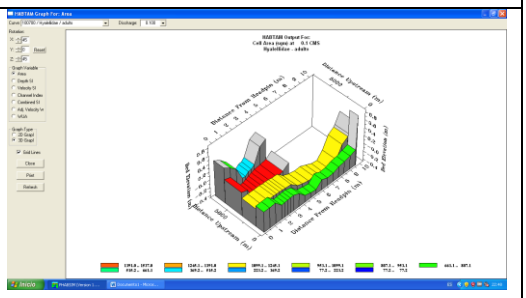




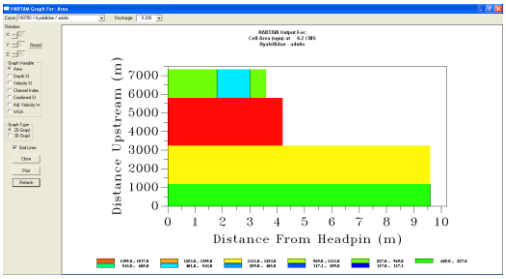
Fuente y elaboración: Los Autores.

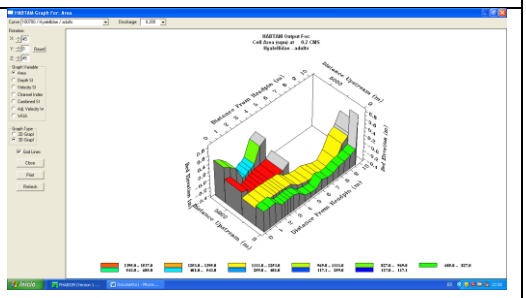
Área para Q = 0.100 m³/s



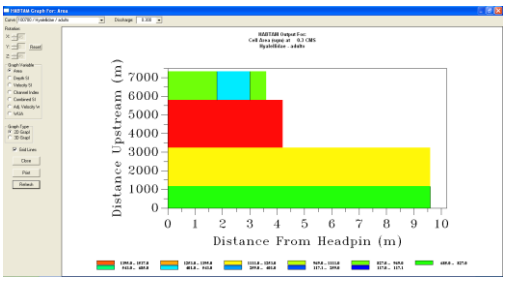


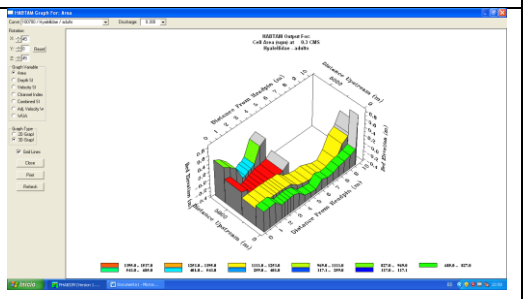
Área para Q = 0.200 m³/s



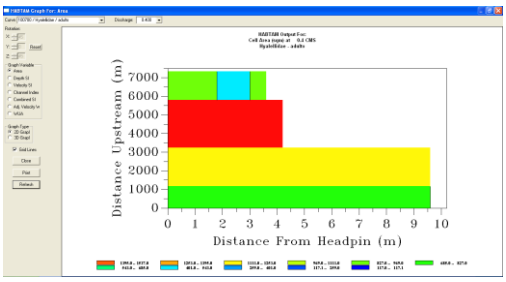


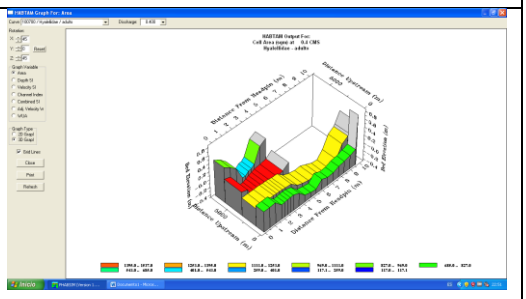
Área para Q = 0.300 m³/s





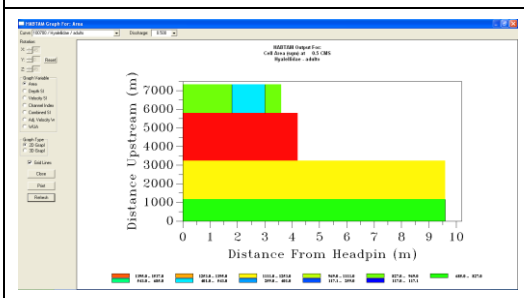
Área para Q = 0.400 m³/s

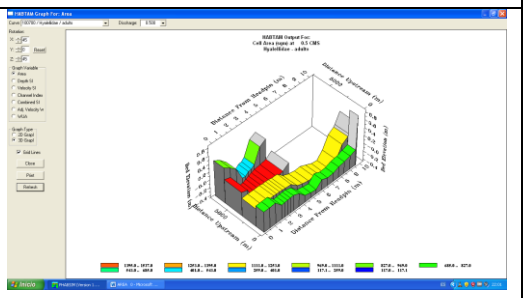




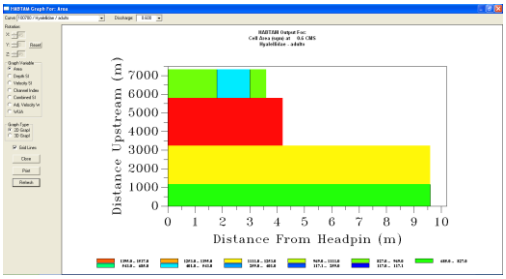
Fuente y elaboración: Los Autores.

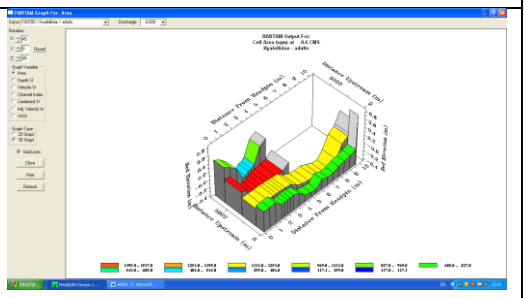
Área para Q = 0.500 m^3/s



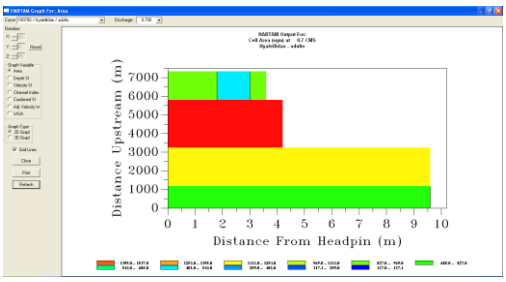


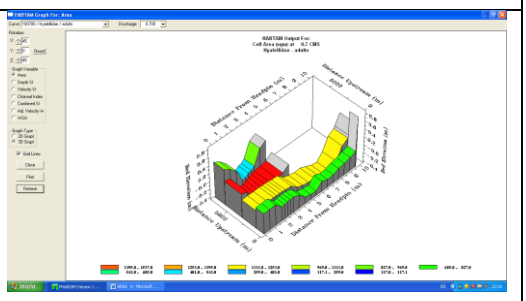
Área para Q = 0.600 m^3/s





Área para Q = 0.700 m^3/s

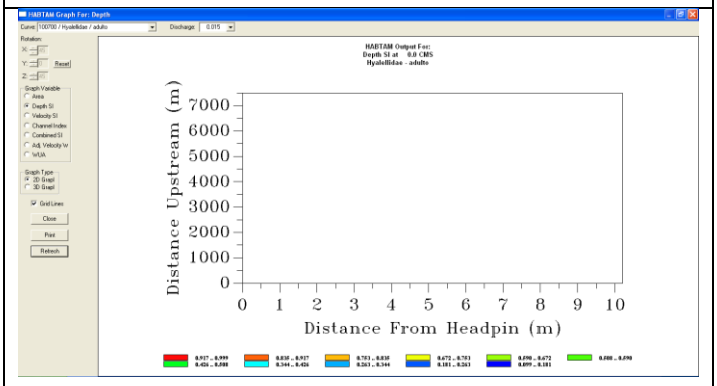




Fuente y elaboración: Los Autores.

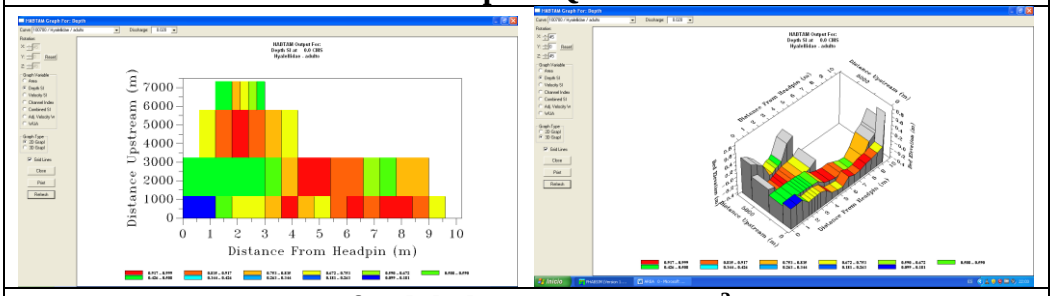
PROFUNDIDAD.

Profundidad para Q = 0.015 m^3/s

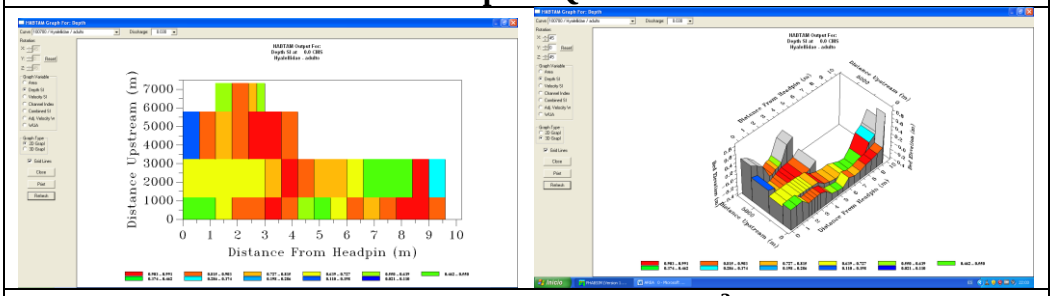


Fuente y elaboración: Los Autores.

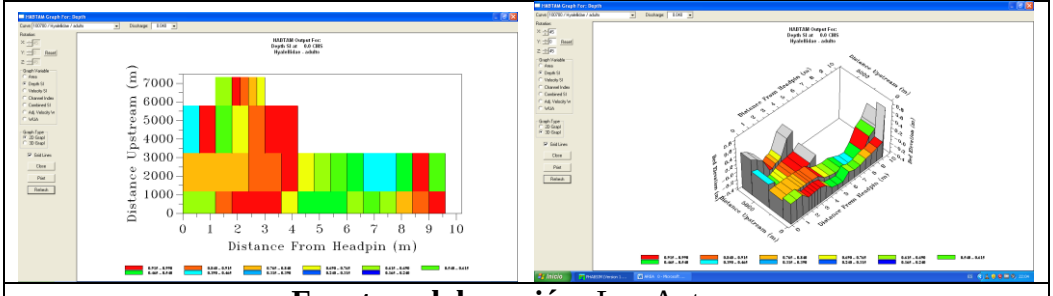
Profundidad para Q = 0.020 m^3/s



Profundidad para Q = 0.030 m^3/s

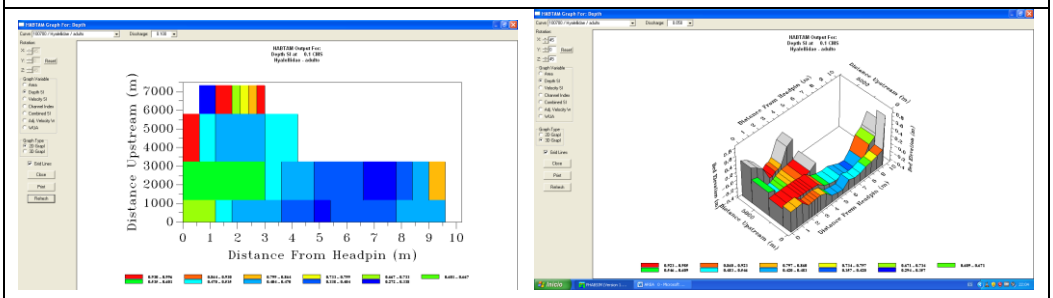


Profundidad para Q = 0.040 m^3/s

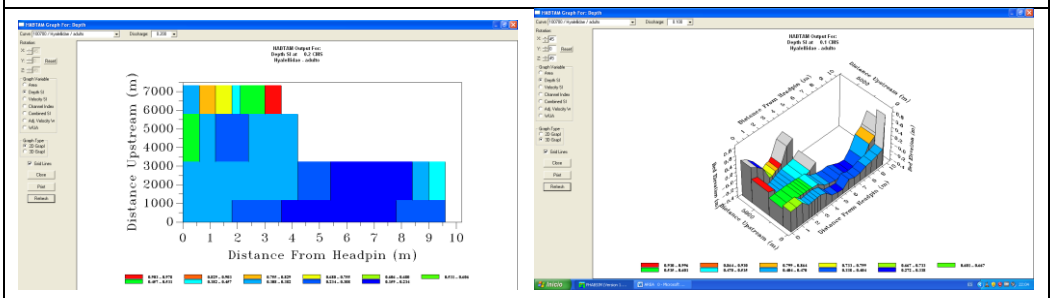


Fuente y elaboración: Los Autores.

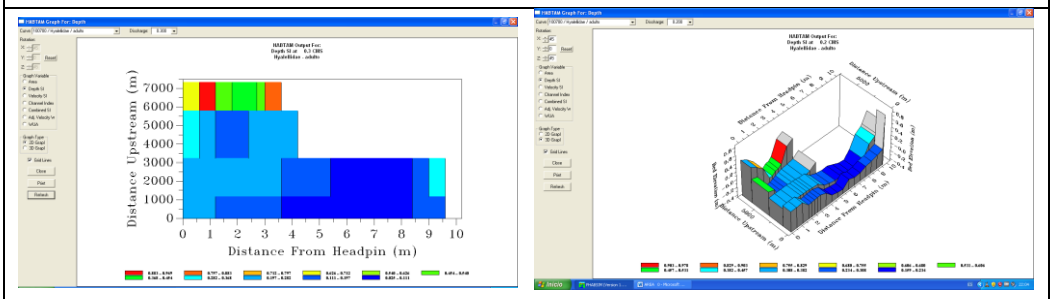
Profundidad para Q = 0.050 m^3/s



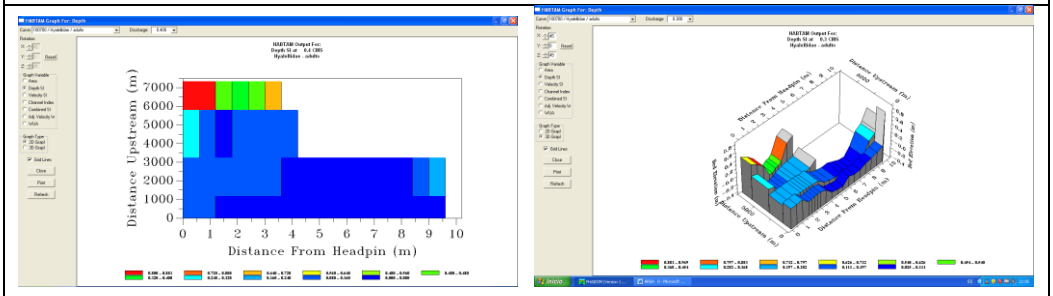
Profundidad para Q = 0.100 m^3/s



Profundidad para Q = 0.200 m^3/s

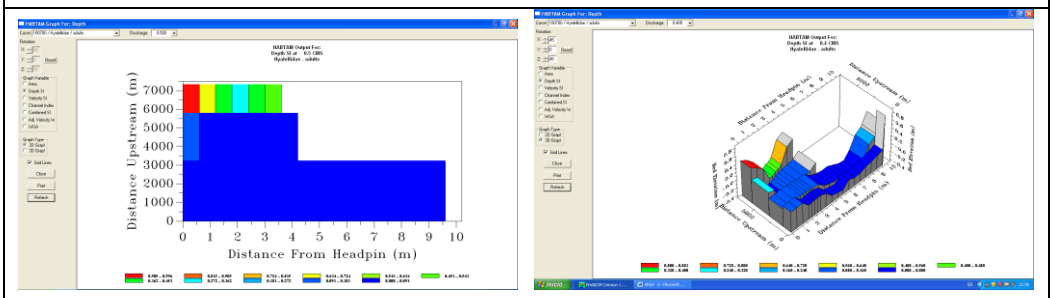


Profundidad para Q = 0.300 m^3/s

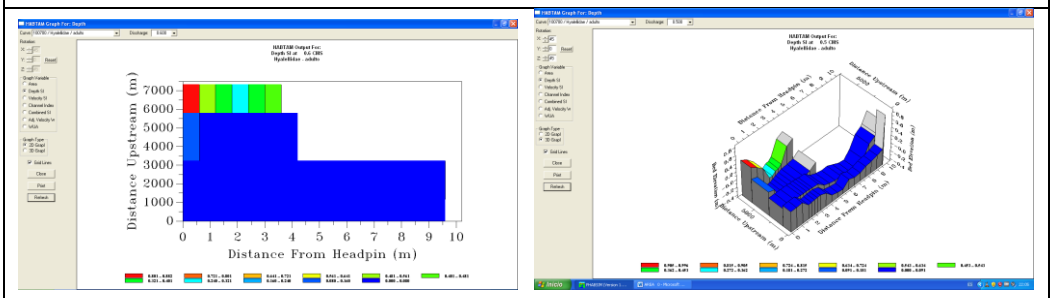


Fuente y elaboración: Los Autores.

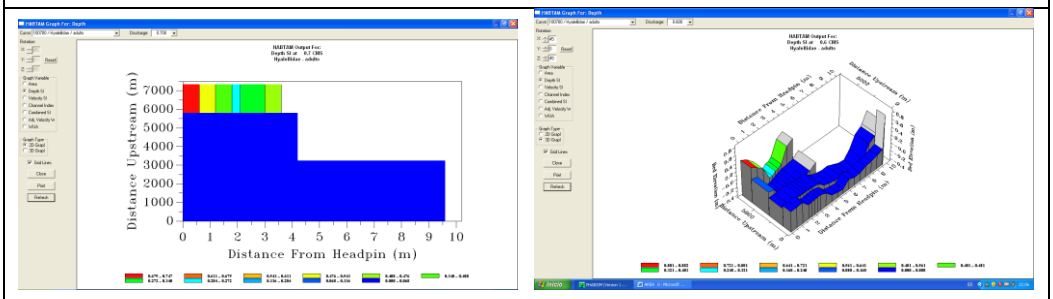
Profundidad para Q = 0.400 m^3/s



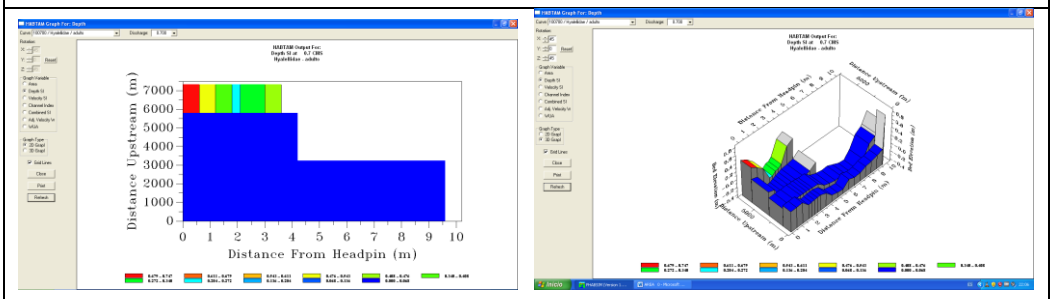
Profundidad para Q = 0.500 m^3/s



Profundidad para Q = 0.600 m^3/s



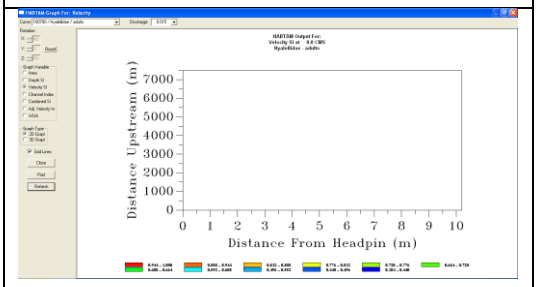
Profundidad para Q = 0.700 m^3/s



Fuente y elaboración: Los Autores.

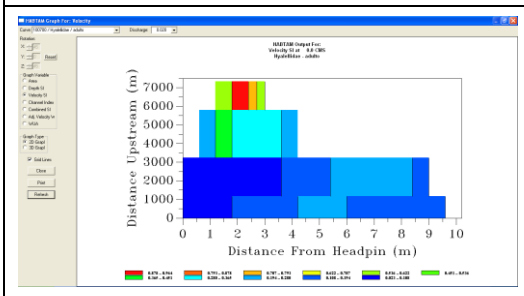
VELOCIDAD.

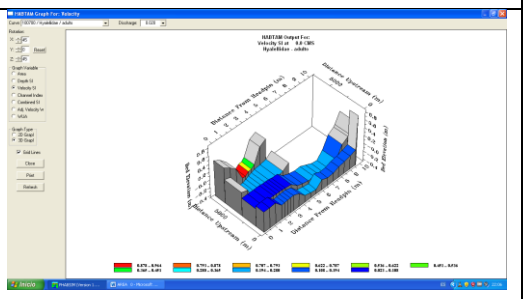
Velocidad para Q = 0.015 m^3/s



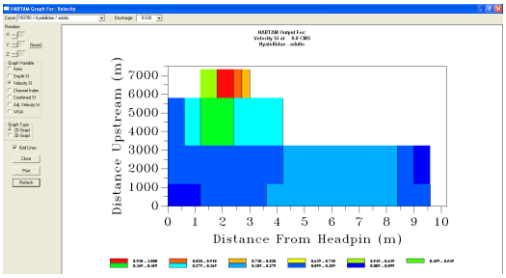
Fuente y elaboración: Los Autores.

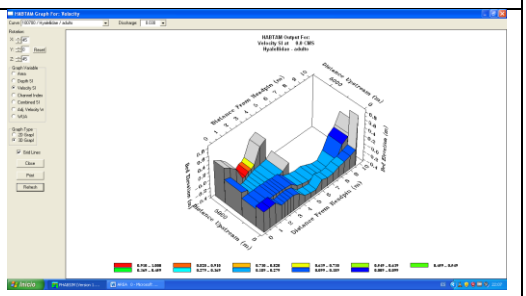
Velocidad para Q = 0.020 m^3/s



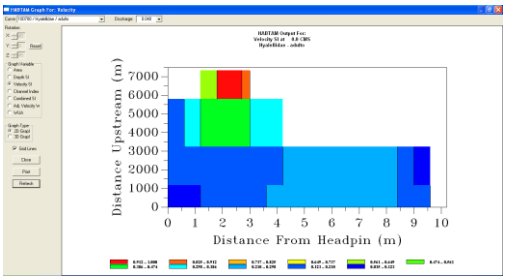


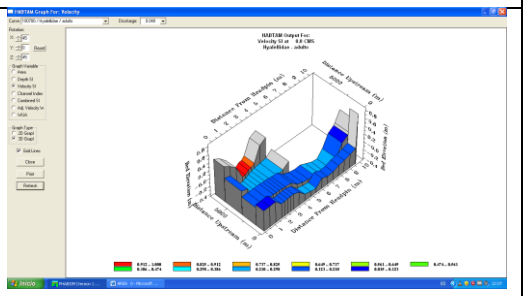
Velocidad para Q = 0.030 m^3/s





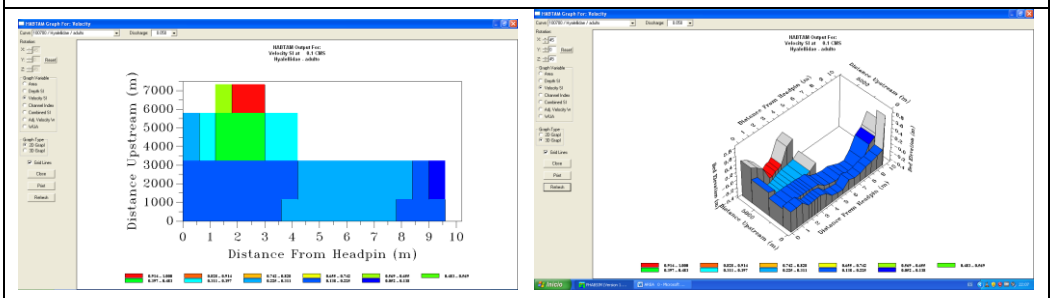
Velocidad para Q = 0.040 m^3/s



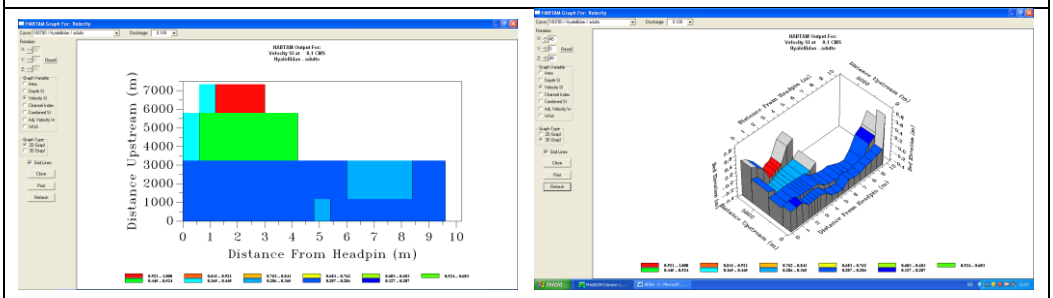


Fuente y elaboración: Los Autores.

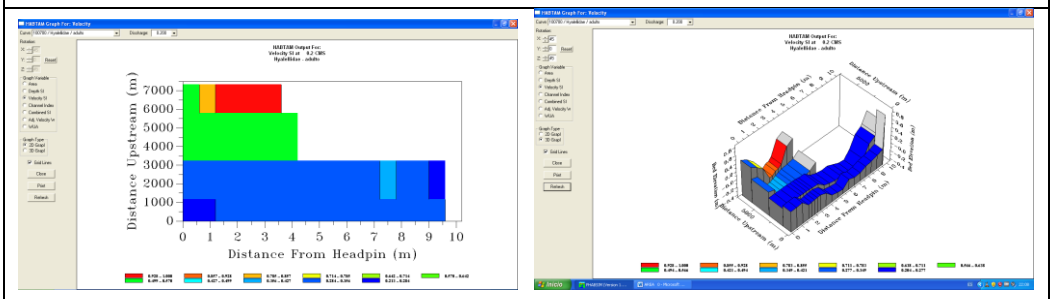
Velocidad para Q = 0.050 m^3/s



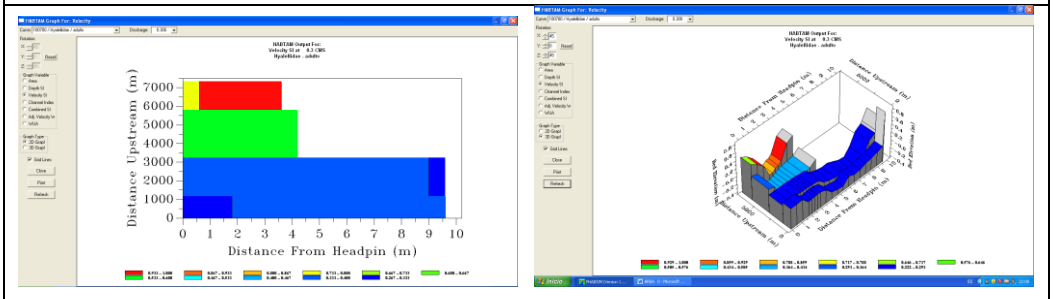
Velocidad para Q = 0.100 m^3/s



Velocidad para Q = 0.200 m^3/s

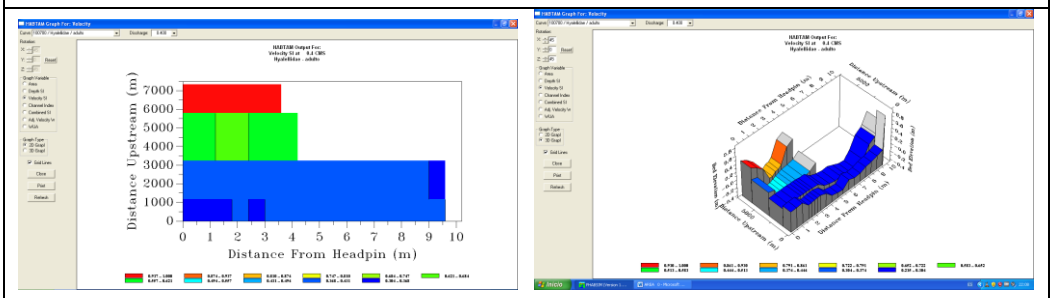


Velocidad para Q = 0.300 m^3/s

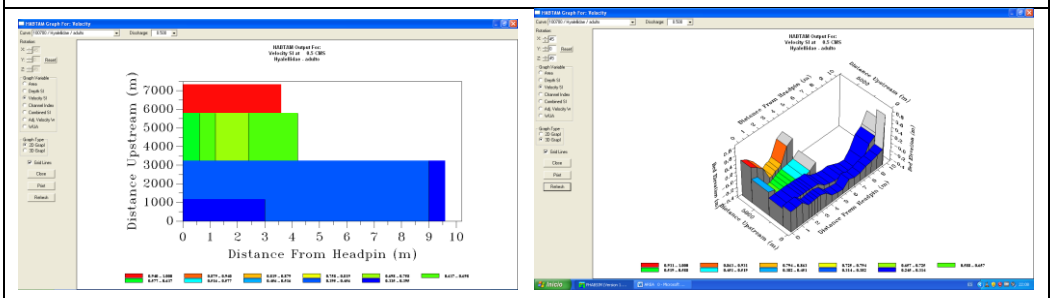


Fuente y elaboración: Los Autores.

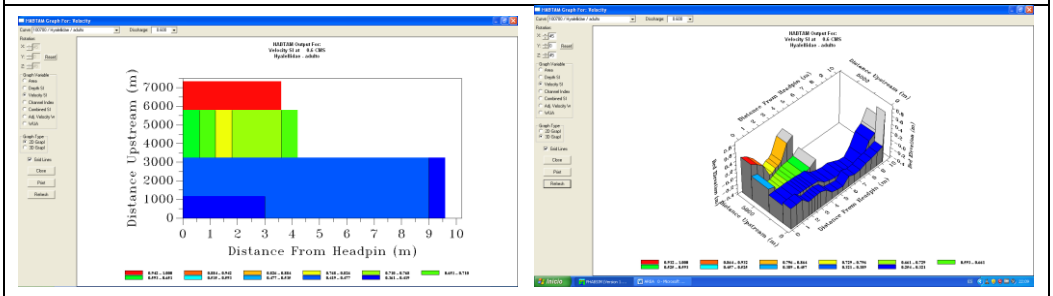
Velocidad para Q = 0.400 m^3/s



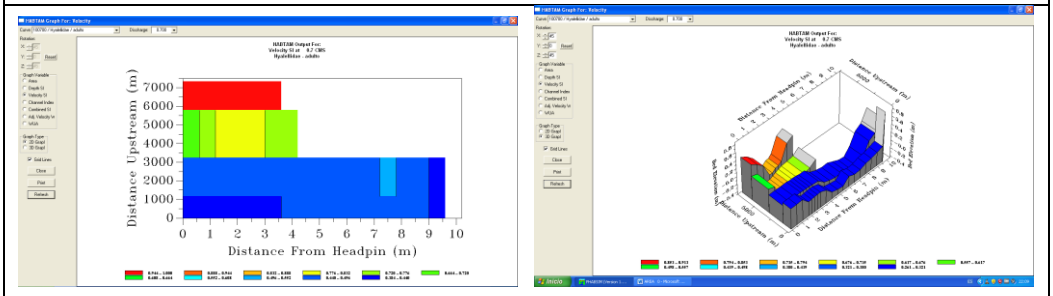
Velocidad para Q = 0.500 m^3/s



Velocidad para Q = 0.600 m^3/s

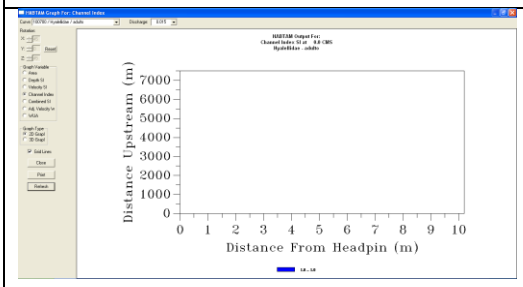
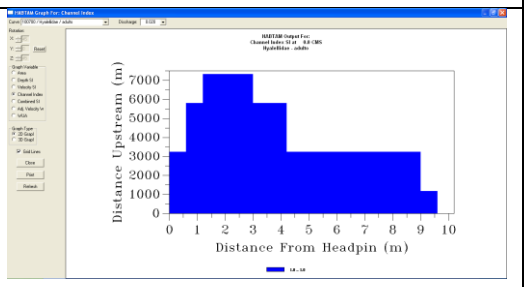
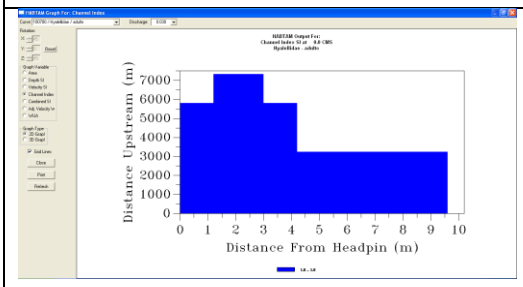
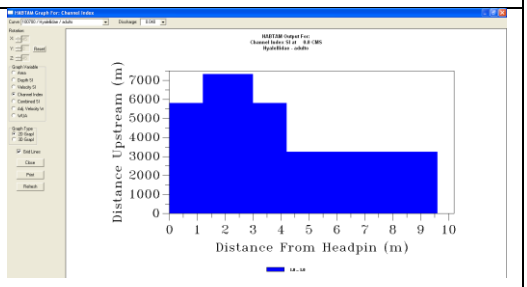
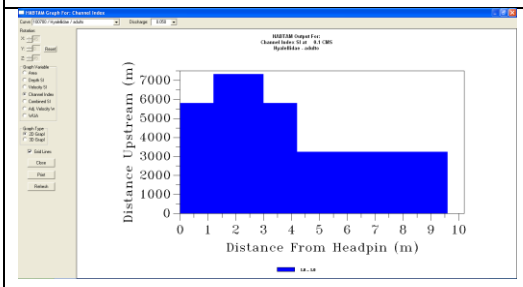
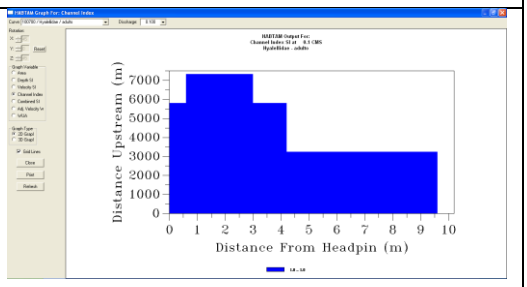
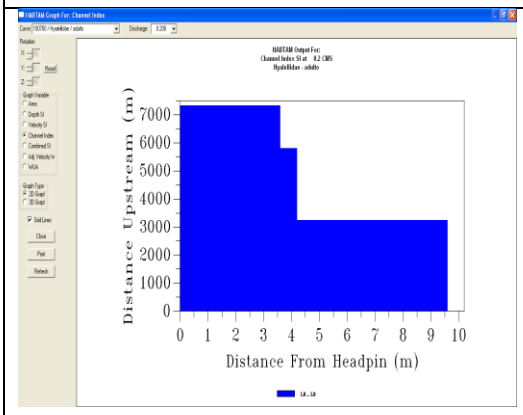
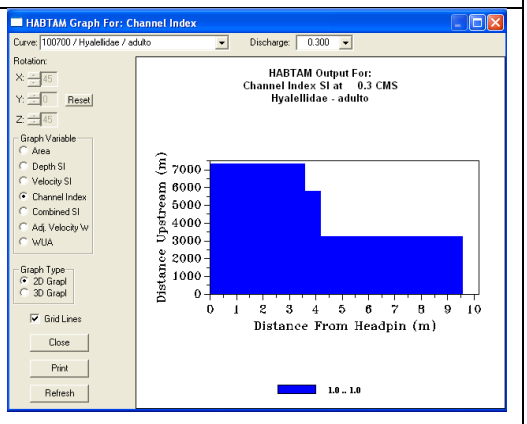


Velocidad para Q = 0.700 m^3/s

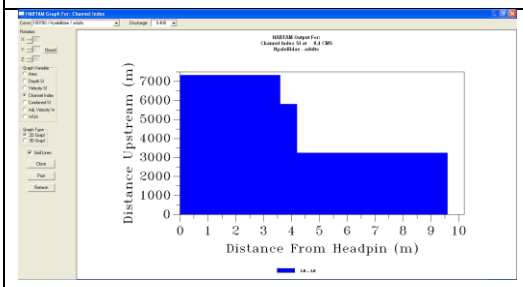
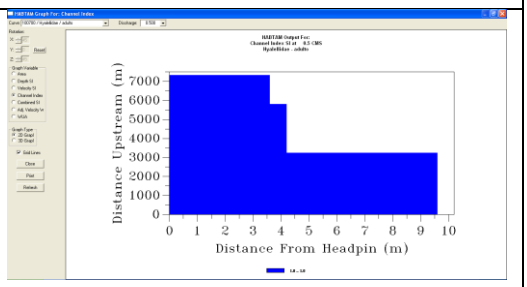
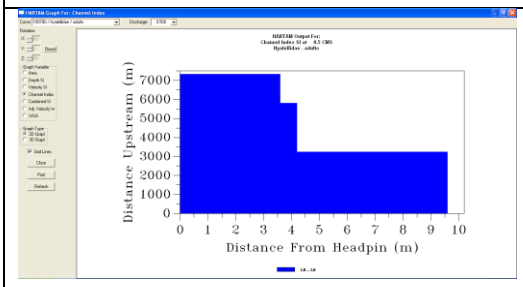
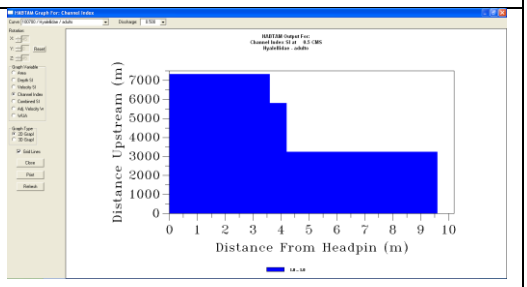


Fuente y elaboración: Los Autores.

SUSTRATO.

Q = 0.015 m^3/s	Q = 0.020 m^3/s
	
Q = 0.030 m^3/s	**Q = 0.040 m^3/s**
	
Q = 0.050 m^3/s	**Q = 0.100 m^3/s**
	
Q = 0.200 m^3/s	**Q = 0.300 m^3/s**
	

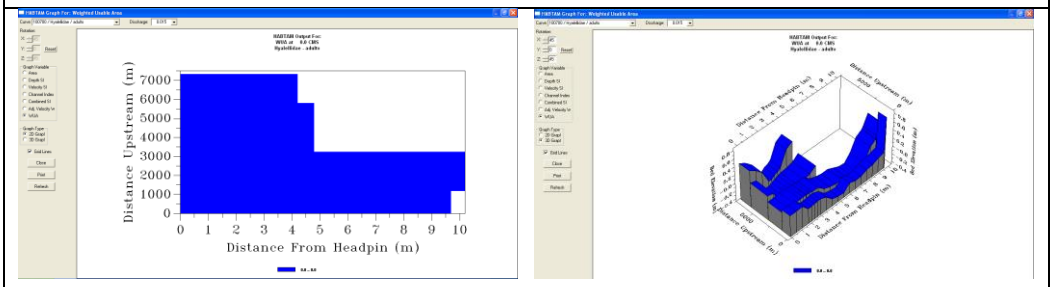
Fuente y elaboración: Los Autores.

Q = 0.400 m^3/s	Q = 0.500 m^3/s
	
Q = 0.600 m^3/s	**Q = 0.700 m^3/s**
	

Fuente y elaboración: Los Autores.

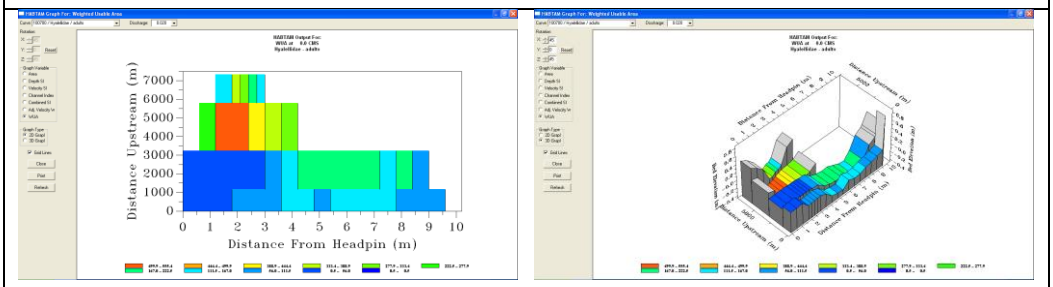
WUA.

WUA para Q = 0.015 m^3/s

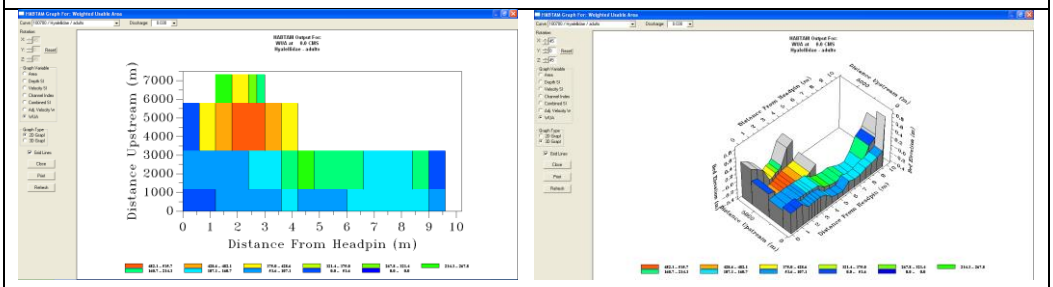


Fuente y elaboración: Los Autores.

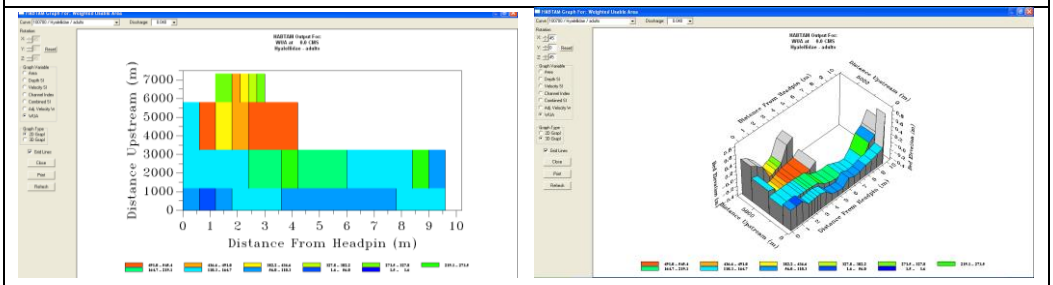
WUA para Q = 0.020 m^3/s



WUA para Q = 0.030 m^3/s

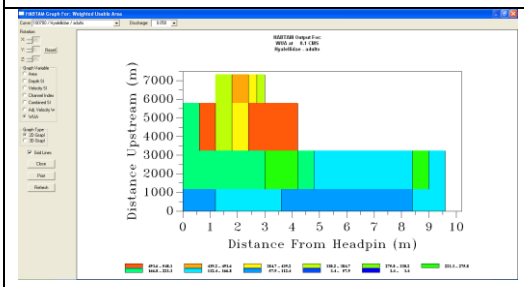


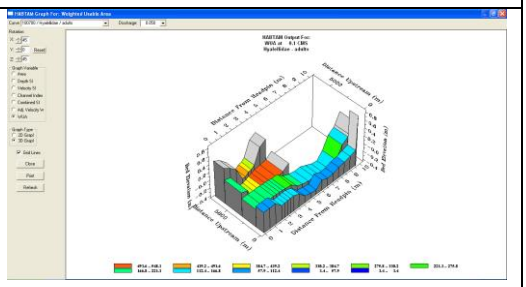
WUA para Q = 0.040 m^3/s



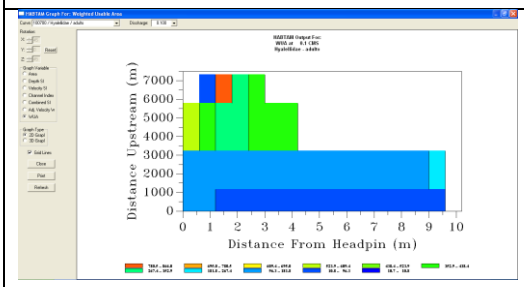
Fuente y elaboración: Los Autores.

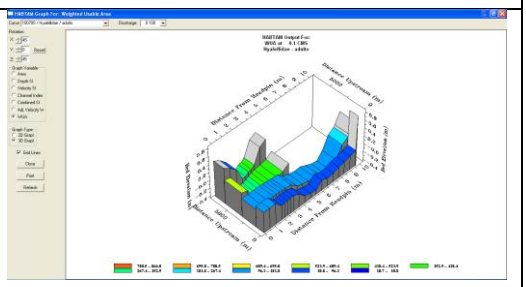
WUA para Q = 0.050 m³/s



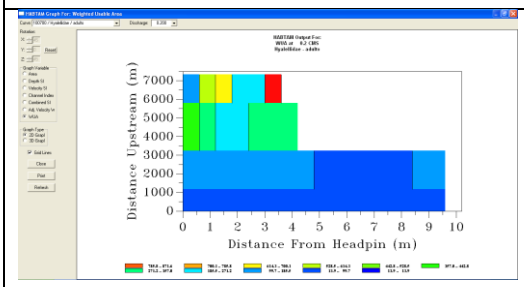


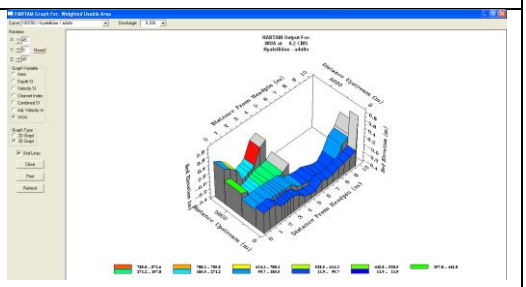
WUA para Q = 0.100 m³/s



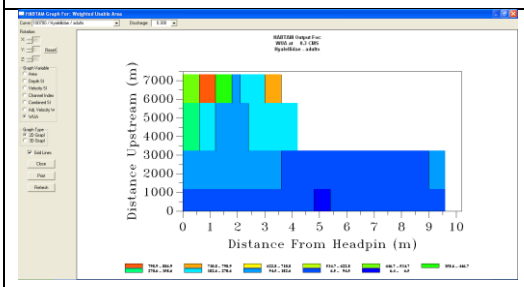


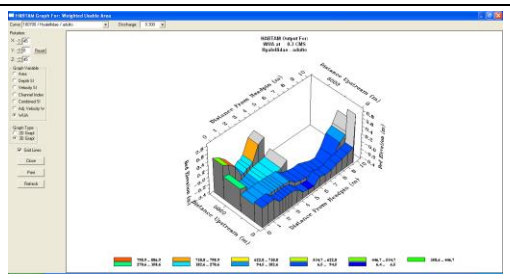
WUA para Q = 0.200 m³/s



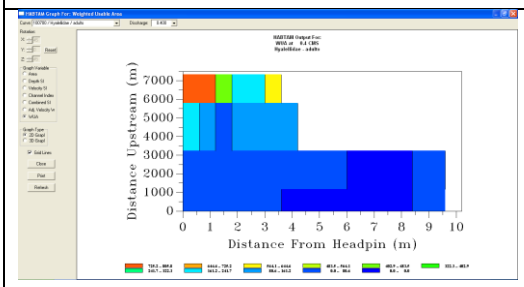


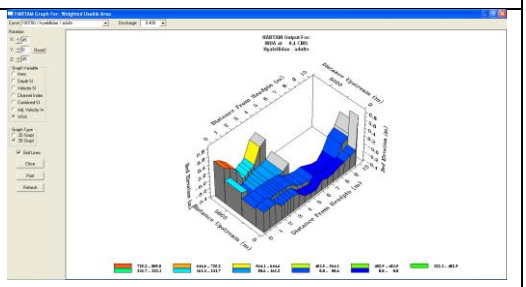
WUA para Q = 0.300 m³/s





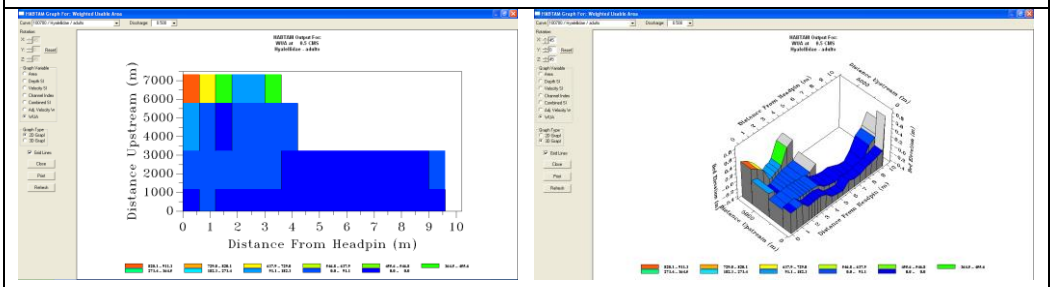
WUA para Q = 0.400 m³/s



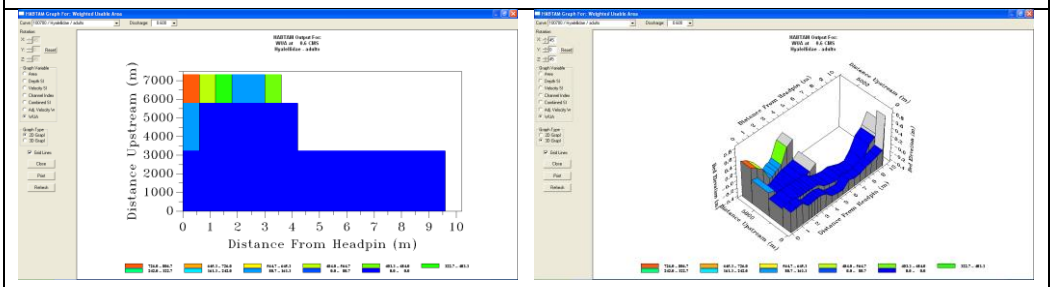


Fuente y elaboración: Los Autores.

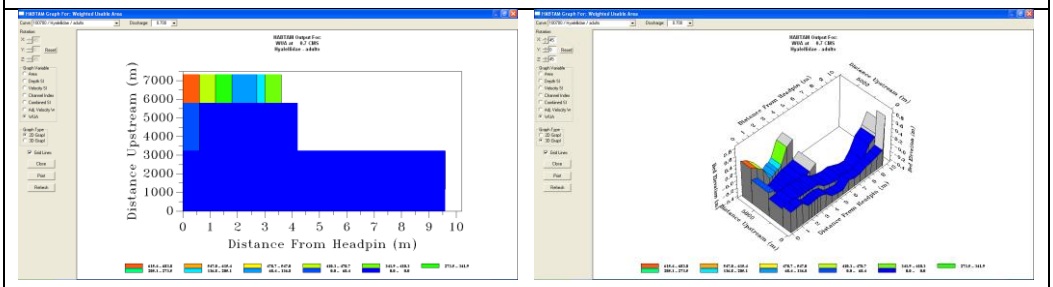
WUA para Q = 0.500 m^3/s



WUA para Q = 0.600 m^3/s

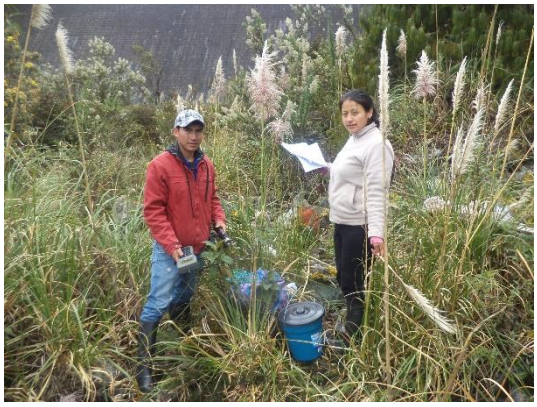


WUA para Q = 0.700 m^3/s

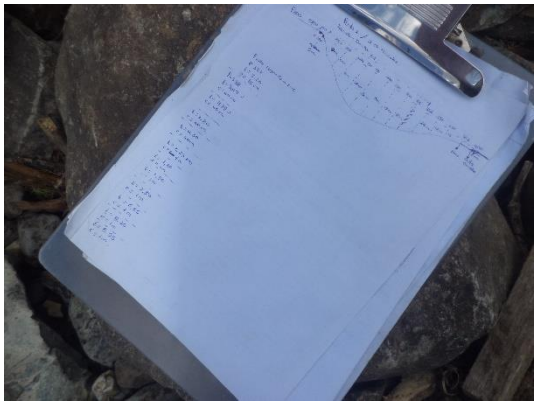


Fuente y elaboración: Los Autores.

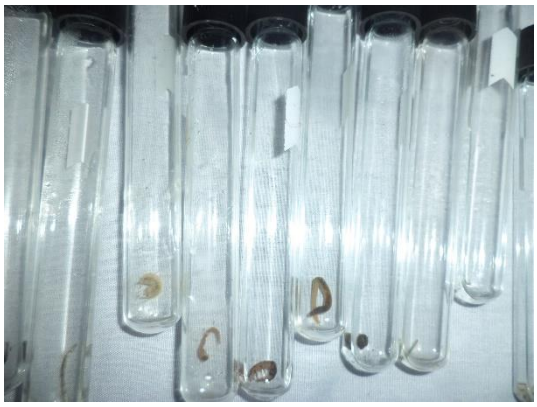
ANEXO V. Registro Fotográfico.

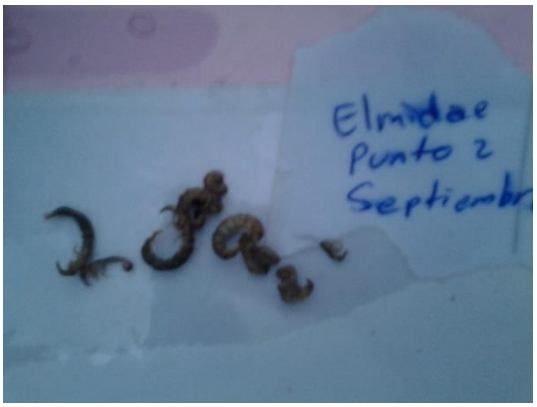


GARMIN



VISITANTE




Elmidae
Punto 2
Septiembr