

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

**PROYECTO PILOTO PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES
AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA, BASADO
EN UN PANEL DE EXPERTOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

MARÍA JOSÉ ORDÓÑEZ GALLARDO

og.maya@gmail.com

DIRECTOR: ANA LUCIA BALAREZO AGUILAR Ph.D.

balarezo.ana@gmail.com

Quito, Julio 2010

DECLARACIÓN

Yo María José Ordóñez Gallardo declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluye en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

MARÍA JOSÉ ORDÓÑEZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María José Ordóñez Gallardo, bajo mi supervisión.

ANA LUCÍA BALAREZO Ph.D.
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
LISTADO DE TABLAS	XII
LISTADO DE FIGURAS	XV
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS	XVIII
GLOSARIO	XX
RESUMEN	XXIV
PRESENTACIÓN	XXVI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. FUNDAMENTOS HIDROLÓGICOS - HIDRÁULICOS	5
2.1.1. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO - HIDROLÓGICO	5
2.1.1.1. CAUDAL MEDIO DIARIO	5
2.1.1.2. ESTIMACIÓN DE CAUDALES NO REGULADOS	5
2.1.1.3. AÑO HIDROLÓGICO, Y AÑOS HÚMEDO, PROMEDIO Y SECO ..	6
2.1.1.4. HIDROGRAMAS DE CAUDAL	6
2.1.1.5. CURVAS DE DURACIÓN GENERAL.....	7
2.1.1.6. CAUDALES MÍNIMOS.....	8
2.1.1.7. SOFTWARE IHA	8

3.1.1.2. COMPONENTE BIOLÓGICO.....	31
3.1.1.3. COMPONENTE SOCIOECONÓMICO.....	31
3.1.1.4. COMPONENTE USOS RECREATIVOS.....	31
3.1.1.5. COMPONENTE GESTIÓN DEL AGUA.....	32
3.1.2. SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN.....	32
3.1.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA.....	32
3.1.2.1.1. LOCALIZACIÓN.....	32
3.1.2.1.2. CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS.....	33
3.1.2.1.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	34
3.1.2.2. COMPONENTE HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO.....	34
3.1.2.2.1. HIDROGRAFÍA.....	34
3.1.2.2.2. RÉGIMEN HIDROLÓGICO.....	35
3.1.2.2.3. LIMITACIONES EN LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	37
3.1.2.3. COMPONENTE BIOLÓGICO.....	37
3.1.2.3.1. PRINCIPALES ECOSISTEMAS TERRESTRES Y ACUÁTICOS.....	37
3.1.2.3.2. ÁREAS PROTEGIDAS.....	38
3.1.2.3.3. ESPECIES ACUÁTICAS DE INTERÉS.....	39
3.1.2.4. COMPONENTE SOCIOECONÓMICO.....	39
3.1.2.4.1. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO SOCIOECONÓMICA.....	39
3.1.2.4.2. CONFLICTOS SOCIALES ENTORNO AL USO DEL RECURSO AGUA.....	40
3.1.2.5. COMPONENTE USOS RECREATIVOS.....	41
3.1.2.6. COMPONENTE GESTIÓN DEL AGUA.....	42
3.1.2.6.1. CONCESIONES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA.....	42
3.1.2.6.2. CALIDAD DEL AGUA.....	44
3.2. SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.....	46
3.2.1. SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.....	46
3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.....	46
3.2.2.1. RÍO CUTUCHI.....	46

3.2.2.1.1. PROYECTO DE RIEGO LATACUNGA - SALCEDO - AMBATO (LSA).....	47
3.2.2.2. RÍO AMBATO.....	48
3.2.2.2.1. PROYECTO DE RIEGO AMBATO - HUACHI - PELILEO (AHP).....	48
3.2.2.3. RÍO CEBADAS.....	49
3.2.2.4. RÍO CHAMBO.....	49
3.2.2.4.1. PROYECTO CHAMBO DESARROLLO AGRÍCOLA (CDA)....	49
3.2.2.5. RÍO PASTAZA.....	50
3.2.2.5.1. CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN.....	50
3.2.2.6. RÍO PALORA.....	51
3.3. RECOPIACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO.....	52
3.3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO.....	52
3.3.1.1. GENERALIDADES.....	52
3.3.1.2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO LLEVADO A CABO POR CADA COMPONENTE.....	53
3.3.1.2.1. COMPONENTE HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO.....	53
3.3.1.2.2. COMPONENTE BIOLÓGICO.....	55
3.3.1.2.3. COMPONENTE SOCIOECONÓMICO.....	56
3.3.1.2.4. COMPONENTE USOS RECREATIVOS.....	57
3.3.1.2.5. COMPONENTE GESTIÓN DEL AGUA.....	57
3.3.2. SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO.....	57
3.3.2.1. COMPONENTE HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO.....	57
3.3.2.1.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA.....	57
3.3.2.1.2. CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA.....	60
3.3.2.2. COMPONENTE BIOLÓGICO.....	62
3.3.2.3. COMPONENTE SOCIOECONÓMICO.....	62
3.3.2.4. COMPONENTE USOS RECREATIVOS.....	62
3.3.2.5. COMPONENTE GESTIÓN DEL AGUA.....	62
3.4. DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL.....	63

3.5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES.....	63
3.5.1. RECEPCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CADA COMPONENTE	63
3.5.2. CALCULO DE LOS CAUDALES CON FLOWMASTER	64
3.5.3. OCURRENCIA DE LOS CAUDALES	65
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	66
4.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	66
4.1.1. HIDROGRAMAS DE CAUDAL	67
4.1.1.1. RÍO CUTUCHI	67
4.1.1.2. RÍO AMBATO	69
4.1.1.3. RÍO CEBADAS	71
4.1.1.4. RÍO CHAMBO	72
4.1.1.5. RÍO PASTAZA.....	73
4.1.2. CURVAS DE DURACIÓN GENERAL.....	75
4.1.2.1. RÍO CUTUCHI	75
4.1.2.2. RÍO AMBATO	76
4.1.2.3. RÍO CEBADAS	77
4.1.2.4. RÍO CHAMBO	78
4.1.2.5. RÍO PASTAZA.....	79
4.1.3. RESULTADOS IHA.....	80
4.1.3.1. RÍO CUTUCHI	80
4.1.3.2. RÍO AMBATO	82
4.1.3.3. RÍO CEBADAS	83
4.1.3.4. RÍO CHAMBO	85
4.1.3.5. RÍO PASTAZA.....	87
4.2. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y BIOLÓGICAS	88
4.2.1. RÍO CUTUCHI	90
4.2.2. RÍO AMBATO	90
4.2.3. RÍO CEBADAS	91
4.2.4. RÍO CHAMBO.....	92

4.3. CATEGORIAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL	92
4.3.1. RÍO CUTUCHI	92
4.3.2. RÍO AMBATO	93
4.3.3. RÍO CEBADAS	94
4.3.4. RÍO CHAMBO.....	95
4.3.5. RÍO PASTAZA	95
4.3.6. RÍO PALORA.....	96
4.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES.....	97
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
5.1. CONCLUSIONES	99
5.2. RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	101
ANEXOS	109

LISTADO DE TABLAS

TABLA 2.1 : ESTADOS AMBIENTALES DE CUERPOS DE AGUA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUDAFRICANA	13
TABLA 2.2 : VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES DEFINIDOS POR LA UICN.....	21
TABLA 2.3 : VENTAJAS, DESVENTAJAS Y EJEMPLOS DE LOS TIPOS DE METODOLOGÍAS SEGÚN THARME	24
TABLA 2.4 : TIEMPO ESTIMADO, REQUERIMIENTOS DE RECURSOS Y CONFIABILIDAD PARA METODOLOGÍAS ESPECÍFICAS	25
TABLA 3.1 : CONFORMACIÓN DEL PANEL DE EXPERTOS	30
TABLA 3.2 : CONCESIONES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA CORRESPONDIENTES A LA ZONA UBICADA SOBRE LOS 2.000 MSNM	44
TABLA 3.3 : RESULTADOS DEL INAMHI DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL RÍO PASTAZA EN LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA H800 Y LÍMITES PERMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA EN AGUAS DULCES FRÍAS.....	45
TABLA 3.4 : CRONOGRAMA DE VISITAS DE CAMPO Y LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIOS	52
TABLA 3.5 : DESCRIPCIÓN DEL TRAYECTO RECORRIDO EN KAYAC EN LOS RÍOS DE ESTUDIO POR EL EXPERTO EN USOS RECREATIVOS	57
TABLA 3.6 : CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS-HIDRÁULICAS, RECREACIONALES Y SOCIOECONÓMICAS DE LOS SEIS SITIOS DE ESTUDIO	61
TABLA 4.1 : GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL TRAMO DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	80
TABLA 4.2 : PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUHI, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS...	81

TABLA 4.3 : GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL TRAMO DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	82
TABLA 4.4 : PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	83
TABLA 4.5 : GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL SITIO ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	84
TABLA 4.6 : PARÁMETROS EFC EN EL SITIO DE ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES MODIFICADAS Y NATURALES.....	84
TABLA 4.7 : GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	85
TABLA 4.8 : PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	86
TABLA 4.9 : PARÁMETROS IHA DEL GRUPO # 2 EN EL TRAMO DE LA PRESA DE AGOYAN - RÍO PASTAZA, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	87
TABLA 4.10 : PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DE LA PRESA DE AGOYAN - RÍO PASTAZA, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS	88
TABLA 4.11 : RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE AFOROS DE CAMPO Y DIVERSIDAD ACUÁTICA	89
TABLA 4.12 : DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUES DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI	93
TABLA 4.13 : DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUES DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO	93
TABLA 4.14 : DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL EN EL SITIO DE ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS	94

TABLA 4.15 : DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUÉS DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO.....	95
TABLA 4.16 : DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUÉS DE LA PRESA AGOYÁN	96
TABLA 4.17 : DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL EN EL STIO DE ESTUDIO DEL RÍO PALORA	97
TABLA 4.18 : CAUDALES FAVORABLES PARA LA FAMILIA BATIDAE Y LA ESPECIE ASTROBLEPUS SP. DETERMINADOS CON EL USO DEL FLOWMASTER	98

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 2.1 : DIFERENCIACIÓN DE AÑOS SECOS, PROMEDIOS Y HÚMEDOS	6
FIGURA 2.2 : AFORO DE CAUDAL EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL Y MEDICIÓN DE VELOCIDADES SOBRE VERTICALES	10
FIGURA 2.3 : INFLUENCIA DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO EN LA INTEGRIDAD DE LOS ECOSISTEMAS.....	16
FIGURA 2.4 : PROCESO CIENTÍFICO DE CINCO PASOS, SEGÚN LA METODOLOGÍA PANEL DE EXPERTOS.....	26
FIGURA 3.1 : LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA.....	32
FIGURA 3.2 : RELACIÓN DEL COMPONENTE TURÍSTICO, LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO AGUA Y LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS.....	41
FIGURA 3.3 : CAUDAL CONCESIONADO POR LAS AGENCIAS DE AGUA PARA DIVERSOS USOS EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA ...	43
FIGURA 3.4 : UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO SELECCIONADOS PARA LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA	47
FIGURA 3.5 : DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS CONCESIONES DE CAUDAL EN EL AREA DE DRENAJE DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI.....	58
FIGURA 3.6 : VARIACIÓN DEL CAUDAL CONCESIONADO DESDE LA DÉCADA DE LOS 70 HASTA LA ÚLTIMA CONCESIÓN.....	59
FIGURA 4.1 : PORCENTAJES DEL NÚMERO DE AÑOS CONTINUOS DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS DISPONIBLES PARA SU ANÁLISIS ESTADÍSTICO-HIDROLÓGICO EN ESTE PROYECTO	66
FIGURA 4.2 : HIDROGRAMAS DE CAUDAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO DE RIEGO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES NATURALES.....	68

FIGURA 4.3 : HIDROGRAMAS DE CAUDAL DESPUÉS DEL PROYECTO DE RIEGO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES MODIFICADAS.....	68
FIGURA 4.4 : HIDROGRAMAS DE CAUDAL EN EL TRAMOS DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES.....	69
FIGURA 4.5 : HIDROGRAMAS DE CAUDAL EN EL SECTOR DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, CONDICIONES MODIFICADAS.....	70
FIGURA 4.6 : HIDROGRAMAS EN EL SITIO DE ESTUDIO - RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS.....	71
FIGURA 4.7 : HIDROGRAMAS EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS.....	72
FIGURA 4.8 : HIDROGRAMAS DE CAUDAL PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS DESPUÉS DE LA PRESA DE AGOYÁN.....	74
FIGURA 4.9 : HIDROGRAMAS DE CAUDAL PARA CONDICIONES MODIFICADAS ANTES Y DESPUÉS DE LA PRESA DE AGOYÁN.....	75
FIGURA 4.10 : CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS.....	76
FIGURA 4.11 : CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS.....	77
FIGURA 4.12 : CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS.....	78
FIGURA 4.13 : CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS.....	78
FIGURA 4.14 : CURVAS DE DURACIÓN GENERAL DE CAUDALES DETERMINADAS PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS ANTES Y DESPUES DE LA PRESA AGOYÁN.....	79

FIGURA 4.15 : SECCIÓN TRANSVERSAL LEVANTADA EN CAMPO A 20 M AGUAS ABAJO DE LA BOCATOMA DEL PROYECTO LSA Y EDITADA EN EL FLOWMASTER (RÍO CUTUCHI).....	90
FIGURA 4.16 : SECCIÓN TRANSVERSAL LEVATADA EN CAMPO A 50 M AGUAS ARRIBA DE LA BOCATOMA DEL PROYECTO AHP Y EDITADA EN EL PROGRAMA FLOWMASTER (RÍO AMBATO).....	91
FIGURA 4.17 : SECCIÓN TRASNVERSAL LEVANTADA EN CAMPO EN EL SITIO DE ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS	92

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

AHP: Ambato - Huachi – Pelileo

AA: Aguas arriba

aa: aguas abajo

A_e: área de la cuenca sobre el sitio de la estación

A_s: área de la cuenca sobre el sitio de interés

CDA: Chambo Desarrollo Agrícola

CM: Condiciones Modificadas

CN: Condiciones Naturales

CNRH: Consejo Nacional de Recursos Hídricos

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno

DQO: Demanda química de oxígeno

EA: Estado Ambiental

FN: Fundación Natura

GLOWS: Global Water for Sustainability Program

IEDECA: Instituto de Ecología y Desarrollo de las Comunidades Andinas

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

INAR: Instituto Nacional de Riego

INERHI: Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos

IRD: Institut de Recherche pour le Développement

LSA: Latacunga - Salcedo - Ambato

MA: Manejo Ambiental

MAE: Ministerio del Ambiente

Q_e: caudal de registros hidrológicos

Q_s: caudal en el sitio de interés

SENAGUA: Secretaría Nacional del Agua

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales

GLOSARIO

Aguas abajo: en relación a una sección, un punto se encuentra aguas abajo, cuando este se ubica después de la sección en la dirección de la corriente en un curso de agua.

Aguas arriba: en relación a una sección, un punto se encuentra aguas arriba, cuando este se ubica antes de la sección en dirección hacia el nacimiento de un río.

Ancho del espejo de agua: es la longitud que comprende la superficie de agua en la sección transversal, y es el resultado de la suma de las longitudes entre vertical y vertical.

Año hidrológico: intervalo de tiempo de aproximadamente un año, en el cual tiene lugar un ciclo hidrológico anual completo

Año húmedo: año hidrológico en que la precipitación o el caudal es significativamente superior a lo normal.

Año promedio: año hidrológico en el que la variable hidrológica observada es aproximadamente igual al valor medio de esa variable en un período suficientemente largo.

Año seco: año hidrológico durante el cual la precipitación o el caudal de los cursos de agua son significativamente inferiores a los habituales.

Aprovechamiento de agua: utilización del agua con la intención de aumentar la producción de bienes y servicios y beneficiar al ser humano.

Calado: corresponde a la distancia vertical entre la superficie del agua y el cero de la escala. En otras palabras es la altura del agua sobre el fondo o lecho del cuerpo hídrico.

Cauce: lecho por donde circula un arroyo o un río.

Caudal ambiental: el flujo de agua que debe mantenerse en un sector hidrográfico para sostener el funcionamiento, composición y estructura del hábitat fluvial que se mantiene en condiciones naturales, conservando así, la integridad ecológica del mismo, y su productividad, servicios y beneficios ambientales; garantizando los usos consuntivos y no consuntivos del recurso, en el marco de un manejo sustentable del recurso en dicho sector.

Caudal base: es el caudal que retorna a un río después de que la escorrentía superficial proveniente de un evento de precipitación o deshielo ha disminuido.

Caudal extremadamente bajo o caudal mínimo: es un caudal muy bajo que se presenta en épocas secas.

Caudal medio diario: es la tasa de descarga promedio en metros cúbicos por segundo para el período comprendido entre la media noche hasta la media noche siguiente.

Caudal medio multianual: caudal medio de un periodo de años.

Comunidad: consiste de una colección de poblaciones de diferentes especies interactuando en un área específica, funcionando como una unidad.

Crecida o avenida: es la elevación del nivel de un cuerpo de agua significativamente mayor que el caudal medio de éste, para la cual el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo, ocasionándose un desbordamiento.

Cuenca hidrográfica: es el área drenada por una corriente y sus afluentes o por un río y sus corrientes.

Evento de un componente de caudal ambiental: refiere a días consecutivos en los que ocurre un tipo de componente de caudal ambiental

Estación limnigráfica: sección transversal en la cual se determinan los caudales circulantes realizándose mediciones continuas de los niveles de agua en el tiempo utilizando un limnígrafo.

Estación limnimétrica: sección transversal en la cual se determinan sistemáticamente los caudales circulantes, realizándose las mediciones por observación del nivel de agua con regleta limnimétrica.

Grandes inundaciones o avenidas extraordinarias: son las responsables de la modificación de la estructura biológica y física de un río y su planicie de inundación.

Grupo de macroinvertebrados: se utiliza para cualquier nivel taxonómico (taxón o grupo taxonómico).

Gestión integral de recursos hídricos (GIRH): proceso que promueve el desarrollo coordinado y la gestión de agua, suelo y recursos relacionados para maximizar el resultado económico y el bienestar social de una manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales.

Hidrograma de caudal: Un hidrograma de caudal representa gráficamente la variación del caudal en relación con el tiempo (de horas a años).

Metodología holística: Esta metodología alude a las múltiples interacciones que se agregan para entender a la integridad de los sistemas fluviales, entendiéndose a los caudales ambientales desde una perspectiva global y no explicada a partir de sus componentes.

Planicie de inundación: son áreas de superficie adyacente a cuerpos de agua, sujeta a inundaciones.

Pequeña inundación o avenida anual: es una crecida de grandes volúmenes que sobrepasa el cauce principal.

Perímetro mojado: es el perímetro medido bajo el espejo de agua y se extiende por el lecho del río. Se lo calcula sumando aplicando relaciones geométricas.

Presión hídrica: significa que al menos durante parte del año no pueden satisfacerse todas las necesidades hídricas sin utilizar el agua de superficie sin dar tiempo a que se repongan estos recursos.

Pulso de caudal alto: es una descarga que supera el caudal base sin sobrepasar las riberas del cauce y se presenta cuando se produce precipitaciones abundantes o deshielos.

Rango de velocidades: abarca las velocidades media más pequeña y más grande medidas sobre las verticales de una sección transversal.

Régimen de caudales ambientales: régimen hídrico requerido para mantener un nivel deseado de salud en el ecosistema, se asemeja a las condiciones hidrológicas o caudales naturales circulantes por determinado sector hidrográfico del río.

Régimen hidrológico: modelo predominante del flujo de aguas en un periodo de tiempo.

Riqueza (grupos taxonómicos): es el número de los grupos taxonómicos

Uso consuntivo: corresponde a la demanda de agua que no se devuelve al medio hídrico después de su uso, dado que es consumida por las actividades, descargada al mar o evaporada.

Uso no consuntivo: es aquel que una vez utilizada la fracción de agua demandada obliga a restituirla sin alteración significativa de calidad después de su uso, en el tiempo y espacio precisos para no limitar el suministro de los usos consuntivos.

RESUMEN

Esta investigación está orientada a determinar caudales ambientales en ríos de la cuenca del río Pastaza, mediante la metodología conocida como panel de expertos. Esta es poco exigente en cuanto a información, tiempo y recursos económicos, y usa la experticia de un grupo multidisciplinario y de herramientas de cálculo que útiles aun cuando no han sido diseñadas para ello.

La metodología consistió en recopilar información existente de la cuenca, para posteriormente ser presentada a un panel de expertos (ecólogo, ictiólogo, hidrólogo-hidráulico, sociólogo, turístico, y gestores del agua); el cual en base a la presencia de obras hidráulicas de envergadura, estado ambiental, e información hidrológica disponible, escogió sitios específicos para levantar información de campo sobre macroinvertebrados, peces, afluentes, secciones transversales, entorno socioeconómico y usos recreativos, respectivamente. A la postre, cada experto debía determinar el requerimiento de caudal, o en su defecto calado o velocidad medios, como datos de entrada para estimar caudales con el software FLOWMASTER; después de un consenso entre los requerimientos de caudal de cada componente del panel, se propondría el caudal ambiental. No fue posible estimar valores de caudal ambiental, sin embargo se aporta con nueva información que incluye resultados del programa Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) y una evaluación de las categorías de estado y manejo ambiental de cada sitio

Los resultados muestran que en los sitios de estudio de los ríos Ambato y Pastaza, principalmente, las modificaciones hidrológicas severas y la reducción de la riqueza de grupos de macroinvertebrados presumiblemente atribuida a la reducción de caudal, categorizan su estado ambiental como mayormente modificado “D” y crítico “F”, respectivamente, y priorizan la estimación de caudales ambientales. Los sitios de los ríos Cebadas y Palora presentan estados ambientales: escasamente modificado “B” y prístino “A”, respectivamente, constituyendo ríos de referencia. El sitio de estudio del río Chambo mantiene un

estado ambiental moderadamente modificado “C”, y del río Cutuchi seriamente modificado “E” por una mala calidad de agua. La categoría de manejo ambiental “C” se propone para los sitios de estudio de los ríos Pastaza, Ambato y Cutuchi, “B” para el sitio del río Chambo y la misma para los sitios de referencia.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto se enmarca en las nuevas exigencias normativas que se están desarrollando para direccionar una gestión integral de los recursos ambientales más eficiente.

El primer capítulo presenta el planteamiento del problema, los objetivos y la importancia de la investigación.

El segundo capítulo corresponde a una revisión bibliográfica de fundamentos hidrológicos-hidráulicos, define caudal ambiental, resume la evolución de las metodologías para su estimación, describe en qué consiste la metodología de “Panel de expertos”, y presenta una revisión del marco legal nacional.

El tercer capítulo explica a detalle pasos de la metodología empleada: primero es recopilar y sistematizar información existente sobre la cuenca, segundo seleccionar y describir los sitios específicos de estudio, tercero recopilar y sistematizar información de campo, cuarto definir sus categorías de estado y manejo ambiental, y finalmente estimar los caudales ambientales.

El cuarto capítulo, muestra los resultados de la metodología y a la vez que se los analiza. Análisis hidrológico, características hidráulicas, definición de las categorías de estado y manejo ambiental, y estimación de caudales ambientales son los puntos que aquí se revisan.

El capítulo final, presenta las conclusiones a las que se llegaron durante el desarrollo de este proyecto, así como las recomendaciones para futuros esfuerzos en la determinación de caudales ambientales en esta y/o otras cuencas hidrográficas.

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presión sobre los ríos del sistema hidrográfico de la cuenca del río Pastaza se ha agudizado en las últimas décadas por la creciente demanda para riego en áreas agrícolas, un desarrollo hidroeléctrico agresivo para suplir la demanda elevada de energía, el incremento de la demanda de agua para uso doméstico e industrial, la descarga indiscriminada de aguas residuales tanto domésticas como industriales, así como la fuerte demanda del líquido vital para otros usos, lo cual ha alterado su calidad y cantidad (Fundación Natura et al., 2009).

Se conoce que la presencia de obras de infraestructuras instaladas en los cauces de los ríos (presas, bocatomas, entre otras) afectan la dinámica de los regímenes hídricos, el comportamiento migratorio de especies fluviales, el transporte de sedimentos y la morfología de los cauces (UICN, 2003; Rojas, 2008). A si mismo, en la cuenca, la oferta temporal y espacial del agua es heterogénea, variando desde zonas relativamente secas en el callejón interandino, como en las subcuencas de los ríos Cutuchi, Ambato y Chambo, hasta zonas relativamente ricas correspondientes a la zona media y baja de la cuenca (Roura, 2004).

Las consecuencias observadas por la intervención antrópica en sitios de la cuenca han sido entre otras, el deterioro de la integridad de los ecosistemas acuáticos y ribereños, la reducción de la capacidad autodepurativa, el surgimiento de riesgos sanitarios y de salud pública, y la generación de conflictos en su manejo y uso. Por tanto, el mantenimiento de caudales ambientales es una herramienta en la política del agua, partiendo de que estos son necesarios para

sostener los servicios y bienes ambientales de los cuales depende la población humana (Fundación Natura et al., 2009).

El Anexo 1B del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), correspondiente a la Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Recurso Agua en Centrales Hidroeléctricas, establece que las centrales hidroeléctricas existentes antes de marzo del 2003 adoptarán como caudal ambiental al menos el 10% del caudal medio anual, esto es el 10% del caudal medio de una serie de años. Pero el concepto del 10% no reconoce las necesidades de los ecosistemas acuáticos y ribereños, las actividades humanas de desarrollo que sean diferentes a actividades de captación, aspectos estéticos y la variabilidad natural de los caudales para definir un caudal que asegure su capacidad para proveer servicios y bienes. Sin embargo, este mismo anexo, establece que el cálculo del caudal ambiental, para las centrales hidroeléctricas posteriores a esa fecha, tendrá como requisito mínimo considerar variables de importancia para la integridad biológica de los ecosistemas de los ríos.

De acuerdo a la Constitución Política del Ecuador (2008), el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los caudales ambientales, lo que implica exigir que todos los proyectos relacionados con el agua deban determinar estos valores aguas abajo de las principales obras. En la actualidad, la mayoría de los proyectos han tomado el simple criterio del 10%, siendo pocos los esfuerzos encaminados a la estimación de caudales ambientales que consideren otros criterios, entre ellos los métodos hidrológico, utilizado para la cuenca del río Pastaza (Moreno, 2008), y de simulación de hábitat para ríos del sistema Papallacta (Rosero, 2009). Por consiguiente esta investigación, pretende contribuir a través de una metodología holística que considera la experticia de un grupo multidisciplinario, para la determinación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar caudales ambientales en tramos específicos de varios ríos de la cuenca del río Pastaza.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Priorizar tramos de ríos en consenso con un panel de expertos e instituciones públicas responsables de la administración del agua.
- b) Recopilar y sistematizar información hidrológica, ecológica, social, y de usos y concesiones de agua, de los sitios de estudio.
- c) Determinar el estado y categoría de manejo ambiental de los sitios de estudio.
- d) Estimar los caudales ambientales, basado en la información disponible y criterios del panel de expertos.

1.3. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años, la demanda de agua se ha incrementado por el acelerado crecimiento poblacional que exige proyectos de desarrollo que tomen en cuenta un manejo integral del recurso. La ciencia de los caudales ambientales constituye una herramienta de manejo que parte de supuestos e información de base, hidrológica, hidráulica, ecológica, modelación matemática, entre otras (Moreno, 2008; Ministry of Environment of New Zeland, 2008; Tharme, 2003). En el Ecuador, las instituciones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con la administración del agua están interesadas en compatibilizar las demandas con la conservación del recurso, a corto y largo plazo (Fundación Natura et al.,

2009). Adicionalmente, la cuenca del río Pastaza es de prioridad nacional por conservar una importante biodiversidad e interculturalidad, constituir un foco de desarrollo hidroeléctrico, sostener un alto porcentaje de áreas agrícolas, favorecer actividades turísticas, pero también, por enfrentar conflictos de cantidad y calidad de agua (Anderson, 2009a). De estos hechos, nace la idea de estimar caudales ambientales basados en la metodología holística y adaptados a las condiciones reales de información disponible, aportando a la gestión sustentable y sostenible del agua en el Ecuador.

La implementación de caudales ambientales en el manejo integral de los recursos hídricos se ha visto dificultada por la complejidad de ciertas metodologías al tratar de introducir múltiples variables ambientales, y el costo, tiempo e información requeridos (Richter et al. 2006). En este sentido, la metodología basada en el Panel de Expertos es una opción inicial viable de fácil aplicación, de bajo costo y que aprovecha la disponibilidad de información secundaria, siendo una buena alternativa para países en vías de desarrollo. La metodología involucra la búsqueda de información hidrológica, ecológica, social, recreacional de los tramos consensuados entre el panel multidisciplinario y las instituciones administradoras del recurso. La información recopilada permitirá caracterizar y categorizar los sitios de estudio e incorporar los requerimientos de caudal que cada experto considere para su área, en la estimación de caudales ambientales (Moreno, 2008; Ministerio Nueva Zelanda, 2008; Fundación Natura et al., 2009).

Los caudales ambientales constituyen una herramienta para los gestores del recurso agua en la cuenca del río Pastaza, especialmente para las Agencias de Agua de la SENAGUA de Ambato, Latacunga y Riobamba para que en función de éstos se realicen las concesiones o se restauren condiciones ambientales aceptables en sitios en donde los caudales de circulación sean menores a los caudales ambientales.

CAPÍTULO 2.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. FUNDAMENTOS HIDROLÓGICOS - HIDRÁULICOS

2.1.1. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO - HIDROLÓGICO

2.1.1.1. Caudal medio diario

Los datos de caudal generalmente se publica como caudales medios diarios; esto es la tasa de descarga promedio para el período comprendido entre la media noche hasta la media noche siguiente. Procesar la información a nivel diario significa considerar el espectro completo de la variabilidad hidrológica para obtener una mayor confiabilidad de los resultados, algo que no sucedería si se dispone de información media mensual que trunca los picos de caudal (Linsley et al., 1977, Andrade 1986).

2.1.1.2. Estimación de caudales no regulados

En la mayoría de las situaciones, los caudales en un sitio de interés deben ser estimados con la información hidrológica de estaciones cercanas, ubicadas aguas arriba o aguas abajo del sitio.

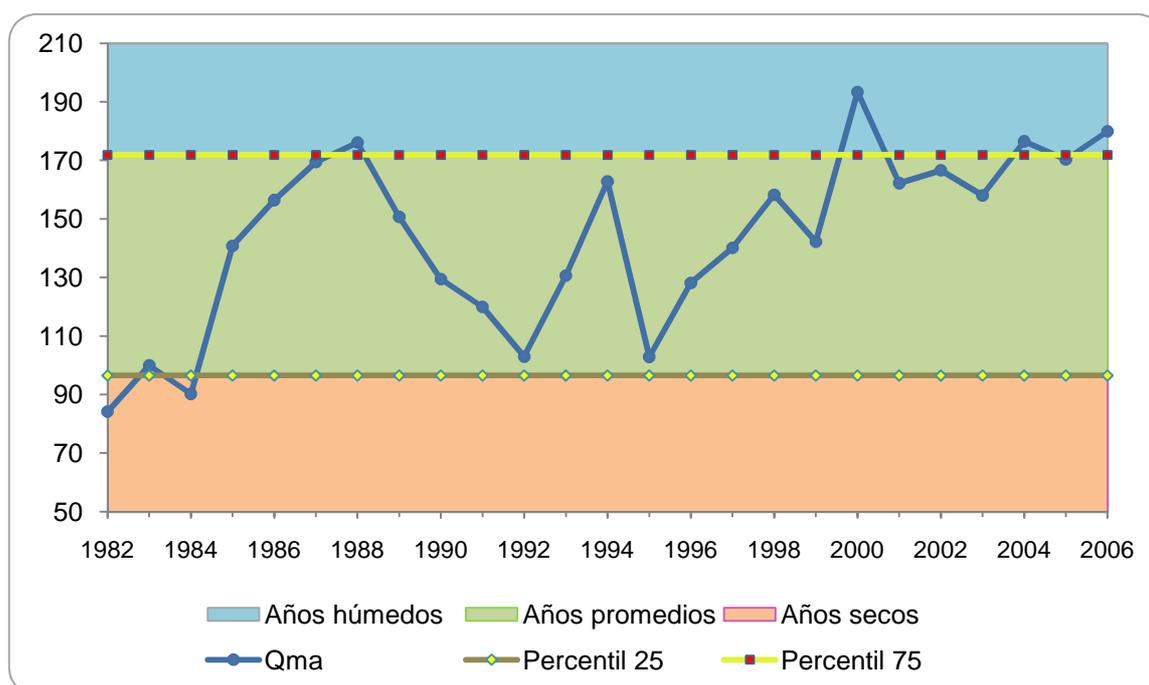
La estimación de caudales no regulados está basada en una relación de áreas, de tal forma que, el caudal en el sitio de interés (Q_s) está en función del caudal de registros hidrológicos (Q_e) y la razón entre el área de la cuenca sobre el sitio de interés (A_s) y el área de la cuenca sobre el sitio de la estación (A_e), como se muestra en la ecuación 2.1 que se aplica para cuencas en las que el volumen de escurrimiento aumenta en dirección aguas abajo (Loucks et al., 1981).

$$Q_s = Q_e \cdot \left(\frac{A_s}{A_e}\right) \quad (2.1)$$

2.1.1.3. Año hidrológico, y años húmedo, promedio y seco

Un año hidrológico inicia cuando comienza el período húmedo, o lo que es lo mismo inicia cuando culmina el periodo seco. Como se ve en la figura 2.1, el percentil 25 y percentil 75, que se pueden calcular fácilmente utilizando el programa EXCEL, diferencian a los años húmedos, promedios y secos. Si la media anual es mayor al percentil 25, corresponde a un año húmedo. Si la media anual se encuentra entre el percentil 25 y percentil 75, es una año promedio. En cambio si es menor al percentil 25, corresponde a un año seco (Moreno, 2008).

FIGURA 2.1: DIFERENCIACIÓN DE AÑOS SECOS, PROMEDIOS Y HÚMEDOS



2.1.1.4. Hidrogramas de caudal

Los hidrogramas representan gráficamente la variación del caudal en el tiempo (horas, días, meses, años). En un hidrograma, el eje de las ordenadas representa

los caudales y el eje de las abscisas el tiempo. Los hidrogramas de caudal diario tienen una mayor representatividad de la variabilidad hidrológica que los de caudal mensual (Monsalve, 1999).

2.1.1.5. Curvas de duración general

Una curva de duración general estima el porcentaje del tiempo en el que un caudal es igual o mayor a cierto valor, es decir expresa la representatividad con que ocurre un evento o una serie de eventos, bajo el principio de lo que ha ocurrido en el pasado puede ocurrir en el futuro (Rázuri et al., 2007).

Si el período de registro es lo suficientemente largo y se dispone de caudales medios diarios, existe una mayor confiabilidad de que una caudal sea igualado o excedido en el futuro en el porcentaje de tiempo representado en una curva de duración general (Andrade y Villacis, 1986).

Para calcular una curva de duración general, primero, se debe ordenar de mayor a menor los caudales medios diarios para el período analizado. Luego, asignar un valor m a cada caudal medio diario, de tal forma que 1 corresponde al valor de caudal más alto. Finalmente, determinar la probabilidad de excedencia utilizando el método de Weibull, que consiste en el uso de la ecuación 2.2 (The Nature Conservancy, 2009; Naciones Unidas, 1977):

$$p = \frac{m}{n+1} \cdot 100 \quad (2.2)$$

donde:

p = probabilidad de que un caudal sea igualado o excedido

m = la posición del caudal medio diario en la lista ordenada de a mayor a menor

n = la cantidad de caudales medios diarios enlistados

En una curva de duración general, el eje de abscisas representa el porcentaje de tiempo en que el caudal es igualado o excedido y el eje de las ordenadas el caudal (Naciones Unidas, 1977). A partir de estas curvas se calculan los valores $Q_{90\%}$ y $Q_{95\%}$, que representan caudales mínimos, es decir caudales limitantes del aprovechamiento del recurso hídrico (Andrade y Villacis, 1986).

2.1.1.6. Caudales mínimos

Los caudales mínimos pueden ser calculados a partir de dos métodos generalizados: (1) la utilización de curvas de duración general para determinar los caudales $Q_{90\%}$ o $Q_{95\%}$; estos valores no tienen una representatividad en el tiempo, y no dejan ver la severidad de épocas de estiaje, lo que reduce su confiabilidad; y (2) la definición de períodos consecutivos críticos de caudales mínimos (90, 60, 30, etc., días), método que supera las deficiencias del anterior (Andrade, 1992).

2.1.1.7. Software IHA

El software “Indicadores de Alteración Hidrológica” (IHA, por sus siglas en inglés) ha sido desarrollado por The Nature Conservancy, como una herramienta para: (1) calcular características de regímenes hidrológicos naturales y alterados, (2) evaluar los cambios en estos dos regímenes, (3) comparar caudales con diferentes escenarios de manejo, y (4) colaborar en las recomendaciones de caudales ambientales. El software funciona con datos hidrológicos diarios como: caudales, niveles hidrométricos, niveles de aguas subterráneas, o niveles de lagos (Tharme, 2009; The Nature Conservancy, 2009).

Este software calcula 33 parámetros IHA y 34 parámetros de los componentes de caudal ambiental (EFC, por sus siglas en inglés). Estos parámetros pueden ser calculados con estadísticas paramétricas (media, desviación estándar) o estadísticas no paramétricas (mediana, percentil). Las estadísticas no paramétricas son consideradas como una mejor opción por su naturaleza sesgada (no normal) a diferencia de las paramétricas, las cuales suponen que los datos están distribuidos normalmente. Los parámetros producidos por el

programa se calculan y organizan en tablas por año hidrológico (The Nature Conservancy, 2009).

Los parámetros EFC son los de mayor interés en la temática abordada, por tal motivo a continuación se resumen las pautas para su comprensión: (1) se calculan para un año hidrológico; (2) se utiliza el término evento para referirse a días consecutivos en los que ocurre un tipo de componente de caudal ambiental; (3) de los 34 parámetros, doce parámetros corresponden a caudales mensuales base, cuatro a caudales mínimos, seis a pulsos de caudal alto, seis a inundaciones pequeñas y los últimos seis a grandes inundaciones; (4) el pico de caudal mínimo es el caudal mínimo durante un evento, y los picos de pulsos de caudal alto, pequeñas inundaciones y grandes inundaciones son los valores máximos durante cada tipo de evento; (5) la frecuencia es el número de veces que se presenta este evento de caudal en el año; y (6) la tasa de crecimiento debe interpretarse como la mediana o la media de todas las diferencias positivas entre valores consecutivos de un evento de caudal, la tasa de decrecimiento refiere a la mediana de todas las diferencias negativas (The Nature Conservancy, 2009).

El paquete del software IHA incluye un tutorial y un manual que explican las cuatro etapas de su uso, que son: (1) importación de datos hidrológicos, (2) creación y manejo de proyectos (3) estructuración y manejo de un análisis, y (4) ejecución de un análisis y visualización de los resultados. El anexo 1 presenta descriptos estas cuatro etapas con sus respectivos pasos.

2.1.2. MÉTODOS DE AFORO Y ESTIMACIÓN DE CAUDALES

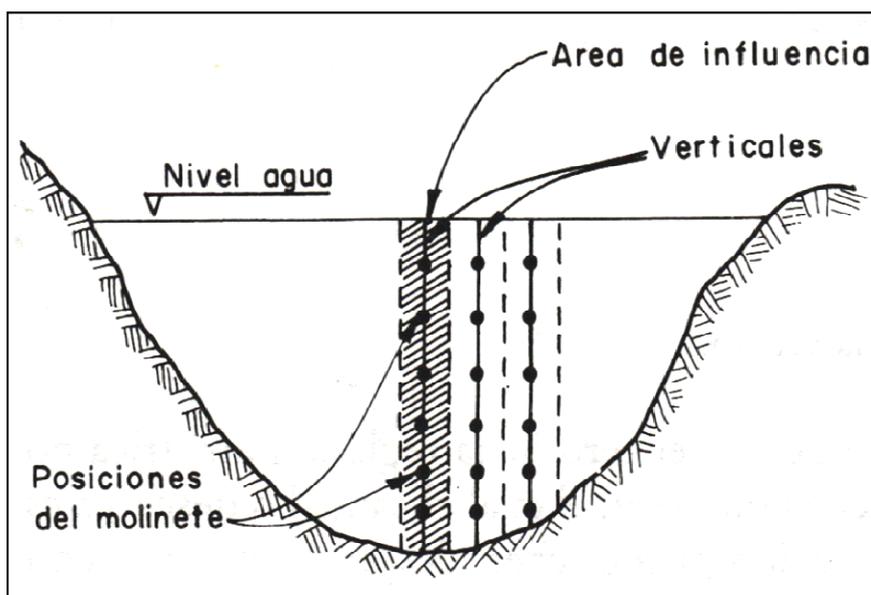
2.1.2.1. Método de área - velocidad

Es comúnmente usado en países tropicales; se fundamenta en medir velocidades con el uso de flotadores o molinetes y el área transversal de la sección (Gunston, 1998).

a) Medición de velocidad

- *Medición de velocidad del flujo sobre verticales:* se debe colocar una cinta métrica transversalmente en el río estirándola y sujétala en las orillas. Se establecen verticales espaciadas uniformemente a lo largo de todo el ancho del río, la medida de esta vertical representa la profundidad media del área de influencia, como se ve en la figura 2.2 y sobre esta misma vertical se mide la velocidad media al 60% de la profundidad desde la superficie (Gunston, 1998).

FIGURA 2.2: AFORO DE CAUDAL EN UNA SECCIÓN TRANSVERSAL Y MEDICIÓN DE VELOCIDADES SOBRE VERTICALES



FUENTE: Monsalve, 1999

- *Medición de la velocidad del flujo con flotador:* cuando resulta imposible aforar a pie, existe la opción de estimar la velocidad del flujo de un río usando flotadores; consiste en establecer una determinada distancia longitudinal en una de las orillas del río y medir el tiempo que le toma a un flotador recorrer esa distancia. Se recomienda realizar varias mediciones de tiempo y lanzar el flotador lo más cercano al eje central longitudinal del río (Gunston, 1998).

b) Medición del área transversal

Cuando se realizan mediciones de velocidad sobre verticales se calculan las áreas de influencia, que se consideran como superficies rectangulares o triangulares (en los extremos), ver figura 2.2. Cuando se usa flotadores, el área de la sección transversal se considera rectangular, para lo cual se mide el ancho del río y se estima una profundidad media para todo el río (Monsalve, 1999).

El caudal que circula por una sección trasversal se calcula sumando los caudales de las áreas de influencia determinados con la siguiente ecuación (Gunston, 1998):

$$Q = v \times A \quad (2.3)$$

donde,

Q = caudal que circula por un área de influencia, m³/s

v = velocidad media en la vertical, m/s

A = área del área de influencia, m²

2.1.2.2. Aforo sobre vertederos

Un vertedero es una estructura hidráulica (muro o placa) sobre la cual se descarga un líquido a superficie libre. En estas estructuras el desnivel entre la superficie libre, aguas arriba del vertedero y su cresta, se conoce como carga. La carga sobre un vertedero y el coeficiente que considera el efecto de contracción de la lámina son datos de campo que deben ser recopilados.

El caudal que se descarga sobre un vertedero se calcula con la siguiente ecuación, (Gunston, 1998):

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h_1^{3/2} \quad (2.4)$$

donde,

Q = caudal vertido sobre el vertedero, m³/s

μ = coeficiente que considera el efecto de contracción de la lámina vertiente y depende del tipo de vertedero.

g = gravedad, m/s²

b = Ancho del vertedero, m

h_1 = Carga hidráulica sobre el vertedero, m

2.1.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE MANNING

El coeficiente de Manning representa la rugosidad de la superficie, es decir, el tamaño y la forma del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo. Una manera de determinar este coeficiente consiste en comparar los registros fotográficos de las zonas rivereñas de los ríos con registros fotográficos bibliográficos y escoger un coeficiente de acuerdo al material que se encuentra en las orillas.

2.1.4. SOFTWARE FLOWMASTER

El FLOWMASTER es un programa computacional que proporciona herramientas para el diseño y análisis de tuberías, acequias, canales abiertos, vertederos y más. Los resultados son obtenidos de forma inmediata y se puede evaluar diferentes alternativas cambiando los datos de entrada. Los parámetros

hidráulicos calculados por este programa son caudal, velocidad, profundidad y presiones, basándose en formulas de: Darcy-Weisbach, Manning, Kutter, y Hazen- Willians.

2.2. CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL

En Sudáfrica, se categoriza los ríos estableciéndose estados ambientales, evaluados por el grado de desviación de las condiciones referenciales y se definen diferentes categorías de manejo, que apuntan hacia la conservación y/o mejoramiento de la situación ambiental de los mismos (Dysnon et al., 2003).

2.2.1. ESTADO AMBIENTAL (EA)

Existen seis categorías de estado ambiental que están asignadas con letras que van desde la “A” hasta la “F”. La tabla 2.1 resume las características que corresponden a cada estado ambiental.

TABLA 2.1: ESTADOS AMBIENTALES DE CUERPOS DE AGUA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUDAFRICANA

	<i>Descripción</i>
A	Sin modificaciones: natural (prístino)
B	Escasamente modificado: cambios pequeños sobre el régimen hidrológico, calidad del agua, biota y hábitat pueden haber sucedido, pero la funcionalidad del ecosistema no ha cambiado
C	Moderadamente modificado: han ocurrido cambios sobre el régimen hidrológico, calidad del agua y biota, pero las funciones básicas de los ecosistemas no han sido muy afectadas
D	Mayormente modificado: una pérdida grande del hábitat natural, de la biota y de las funciones básicas del ecosistema
E	Seramente modificado: la pérdida del hábitat natural, de la biota, y de las funciones básicas de los ecosistemas es extensiva
F	Estado crítico / extremo: las modificaciones al régimen hidrológico, calidad del agua, biota y hábitat han llegado a un nivel crítico, en los peores casos, las funciones básicas del ecosistema han sido destruidas y los cambios son irreparables

FUENTE: Anderson, 2009c; Dysnon et al. , 2003

2.2.2. MANEJO AMBIENTAL (MA)

Una categoría de manejo ambiental es el estado ambiental que se pretende alcanzar para un río o tramo de interés y se adapta a las circunstancias sociales, económicas, legislativas, entre otras que rodean al sitio (Anderson, 2009c). Las categorías de manejo ambiental van desde “A” (natural) hasta “D” (mayormente modificada); las categorías “E” y “F” no se consideran sostenibles a largo plazo, así que no se incluyen (Anderson, 2009c; Dysnon et al., 2003).

Además del conocimiento del estado ambiental actual, la definición de la tendencia de cambio, y la importancia y/o sensibilidad, direccionan el establecimiento de la categoría de manejo ambiental. La tendencia de cambio del estado ambiental puede ser positiva (+), negativa (-) o mantenerse (0) y se establece en función de la situación de la gestión actual. La importancia y/o sensibilidad se expresa como alta, media y baja y se evalúa desde la perspectiva hidrológica, biológica, social, etc. (Anderson, 2009c).

2.3. CAUDAL AMBIENTAL

2.3.1. EL CONCEPTO

Si bien la literatura hace referencia tanto a caudales ambientales como a caudales ecológicos, en el presente proyecto se acoge el término caudal ambiental, luego de un breve análisis. En primera instancia, separando las dos palabras que conforman el término caudal ecológico, “caudal” es un elemento básico de hidrólogos, hidráulicos, y en cierta forma de gestores del agua, mientras que “ecológico” refiere a la biología de los ecosistemas (García y Gonzales, 1998). En cambio, la palabra “ambiental” tiene mayor alcance, y comprende tanto el componente ecológico como el sector turístico, calidad del agua, concesiones de caudal, entre otros; por consiguiente la determinación de caudales ambientales involucra una tarea de mayor vocación multidisciplinaria.

Un caudal ambiental, se entiende como el flujo de agua que debe mantenerse en un sector hidrográfico para sostener el funcionamiento, composición y estructura del hábitat fluvial en condiciones naturales, conservando así, la integridad ecológica del mismo, su productividad, servicios y beneficios ambientales; garantizando los usos consuntivos y no consuntivos del recurso, en el marco de un manejo sustentable (Anderson, 2009a; Moreno, 2008; García y Gonzales, 1998).

2.3.1.1. Elementos claves del concepto

2.3.1.1.1. Aspectos socioeconómicos y manejo sustentable de los recursos hídricos

Los sistemas hidrográficos y los ecosistemas que estos sustentan proveen varios beneficios y servicios a los seres humanos, entre ellos usos domésticos e industriales, riego, hidroelectricidad, recreación, dilución de contaminantes, navegación, pesca, belleza escénica, e incluso usos espirituales y culturales (Anderson, 2009a); y del valor monetario que la sociedad atribuya a los mismos dependerán los objetivos de su manejo

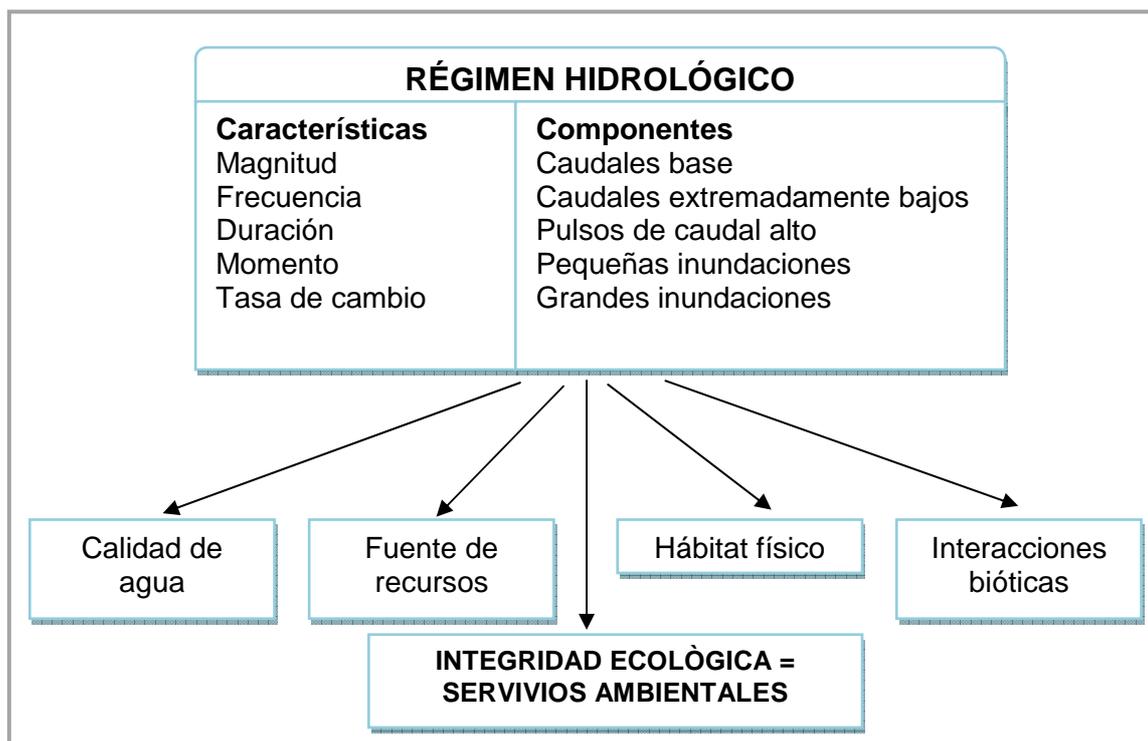
En el manejo sustentable de los recursos hídricos, resulta clave buscar un balance entre las necesidades de los diferentes usuarios, donde el medio ambiente es también otro usuario. Así, el mantenimiento de los caudales ambientales constituye una herramienta práctica para generar beneficios tanto al medio ambiente como a la sociedad humana (Anderson, 2009a).

2.3.1.1.2. Régimen hidrológico natural e integridad ecológica

Décadas de investigación han reconocido al régimen hidrológico como una “variable máster” que influye directa o indirectamente en otros reguladores primarios de la integridad ecológica (calidad de agua, hábitat físico, interacciones bióticas, y fuentes de energía). De la figura 2.3 se deduce que alteraciones en las características y componentes del régimen hidrológico pueden marcar cambios en las condiciones biológicas, físicas y químicas, y en las funciones de los

ecosistemas acuáticos (The Nature Conservancy, 2009; Richter, 2003; Poff et al., 1997).

FIGURA 2.3: INFLUENCIA DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO EN LA INTEGRIDAD DE LOS ECOSISTEMAS



FUENTE: The Nature Conservancy, 2009; Moreno, 2008; Poff et al., 1997

2.3.2. COMPONENTES DEL CAUDAL AMBIENTAL

La gama completa de caudales se agrupan en cinco eventos, conocidos como componentes de caudal ambiental, estos son caudales base, caudales extremadamente bajos, pulsos de caudal alto, pequeñas inundaciones y grandes inundaciones; los cuales son requeridos para mantener la integridad de los ecosistemas (The Nature Conservancy, 2009).

Caudales base: son los caudales que retornan a un río cuando ya no existe escorrentía superficial proveniente de un evento de precipitación o deshielo. La mayor parte del año, los caudales base restringen la diversidad y número de

organismos porque determinan la cantidad de hábitat, la temperatura y química natural (Anderson, 2009b; The Nature Conservancy, 2009).

Caudales extremadamente bajos: son caudales muy bajos que se presentan en épocas secas y regulan las poblaciones de muchos organismos. La temperatura y la disponibilidad de oxígeno disuelto ejercen una fuerte presión durante eventos de caudal extremadamente bajos, llegando a causar una considerable mortalidad; aunque pueden brindar condiciones favorables para otras especies, por ejemplo pueden concentrar presas acuáticas para predadores o secar áreas bajas de las planicies de inundación y permitir la regeneración de especies rivereñas (Anderson, 2009b; The Nature Conservancy, 2009).

Pulsos de caudal alto: son descargas que superan el caudal base sin sobrepasar las riberas del cauce y se presentan cuando se produce precipitaciones abundantes o deshielos. Estos pulsos proporcionan interrupciones importantes en los caudales base, es así que, una corriente de agua breve puede proporcionar tanto un alivio ante temperaturas altas o niveles de oxígeno bajos como suministrar un aporte nutritivo para la red alimentaria. Además, estos caudales ayudan a mantener el cauce restableciendo el límite de la zona ribereña y limpiando los sedimentos (Anderson, 2009b; The Nature Conservancy, 2009).

Pequeñas inundaciones o avenidas anuales: son crecidas de grandes volúmenes que sobrepasa el cauce principal, durante las cuales, peces y otros organismos pueden moverse aguas arriba o aguas abajo y hacia planicies de inundación, accediendo a hábitats adicionales como cauces secundarios, ciénagas, remansos y áreas de inundación, generalmente inaccesibles que proporcionan recursos alimentarios. La limpieza del cauce es también resultado de estos caudales (The Nature Conservancy, 2009; Moreno, 2008).

Grandes inundaciones o avenidas extraordinarias: son las responsables de la forma del cauce, la distribución de materiales dentro del lecho del río y de especies acuáticas y rivereñas. Generalmente, modifican la estructura biológica y

física de un río y su planicie de inundación. Grandes inundaciones empujan a muchos organismos, reduciendo poblaciones, pero también crean nuevas ventajas competitivas; también, depositan sedimentos que mantienen la fertilidad y humedad de las planicies de inundación; además, son claves para formar hábitats como meandros abandonados y humedales en planicies de inundación (The Nature Conservancy, 2009; Moreno, 2008).

El Anexo 1 presenta una revisión más exhaustiva de la influencia de cada componente sobre los ecosistemas.

2.3.3. CARACTERÍSTICAS DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DE RELEVANCIA ECOLÓGICA

Las cinco características del régimen hidrológico, catalogadas como críticas en los procesos ecológicos, son: la magnitud, frecuencia, duración, momento y tasa de cambio de las condiciones hidrológicas, y caracterizan fenómenos como inundaciones, caudales base, entre otros, que son críticos para la integridad de los ecosistemas (The Nature Conservancy, 2009; Moreno 2008).

Magnitud (¿cuánto caudal o qué nivel de agua?): es simplemente la cantidad de agua que circula por una sección por unidad de tiempo, para cualquier intervalo de tiempo. La magnitud es una medida de la disponibilidad de hábitat, definiendo atributos, tales como volumen de hábitat, o la posición de la zona de enraizamiento de la vegetación ribereña (Tharme, 2009; Poff, 1997; Richter, 1996; Gonzales, s.a.).

Frecuencia (¿cuán a menudo el caudal circulante supera un valor de caudal dado en un intervalo de tiempo determinado?): la frecuencia de ocurrencia de condiciones específicas como sequías o inundaciones, puede estar ligada a eventos de mortalidad o reproducción para varias especies, influyendo en la dinámica de las poblaciones (Tharme, 2009; Poff, 1997; Richter, 1996; Gonzales, s.a.).

Duración (¿cuánto dura?): es el periodo de tiempo asociado con una condición determinada de caudal. La duración puede ser definida para un evento particular de caudal (ej. duración de una inundación) o para un periodo específico de tiempo (ej. el número de días en un año, en los cuales el caudal excede un valor dado). La duración de un evento es un condicionante para fases del ciclo de vida de algunas especies e incluso determina el grado de estrés (Tharme, 2009; Poff, 1997; Richter, 1996; Gonzales, s.a.).

Momento o predictibilidad (¿cuándo ocurren?): se refiere a la regularidad con la que ocurre un evento de caudal. Puede influenciar en el grado de estrés o mortalidad asociados a condiciones extremas como inundaciones o sequías (Tharme, 2009; Poff, 1997; Richter, 1996; Gonzales, s.a.).

Tasa de cambio (¿cuán rápido el caudal varía de una magnitud a otra?): Está vinculado al establecimiento de ciertos organismos en las orillas o depresiones inundadas, o a la capacidad de las raíces de la vegetación a mantener contacto con los suministros de agua (Tharme, 2009; Poff, 1997; Richter, 1996; Gonzales, s.a.).

2.4. EVOLUCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES

Las metodologías para la determinación de caudales ambientales se inició a finales de la década de los 40 en los Estados Unidos; para los años 70, con el surgimiento de una legislación ambiental más exigente y la mayor demanda de agua, surge gran interés en su desarrollo y mejoramiento (Tharme, 2003). En esta misma década, los métodos más relevantes fueron el de Tennant, que analiza cualitativamente el hábitat piscícola en función de la hidrología y el de perímetro mojado; y desarrolla un análisis hidráulico entre los caudales circulantes y el perímetro mojado del cauce, asumiéndose una relación creciente entre éste y la capacidad biogénica del río. Posteriormente, a inicios de la década de los 80, se desarrolló el método Instream Flows Incremental Methodology -IFIM-, uno de los

más difundidos, que se basa en las relaciones cuantitativas entre los caudales circulantes y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el hábitat biológico (García y González, 1998). En esta misma década, el tema de los caudales ambientales ganó terreno en varios países, como Australia, Inglaterra, Nueva Zelanda y Sudáfrica, más tarde en países como Brasil, República Checa, Japón y Portugal. En cambio en países de Europa Oriental y gran parte de América Latina, África y Asia, no se han realizado grandes avances en este campo (Tharme, 2003).

Los criterios, para la selección de la metodología más idónea para un sitio de estudio, son varios; por ejemplo el Ministerio para el Ambiente de Nueva Zelanda (2008) propone la selección en función del grado de alteración hidrológica y la significancia del cuerpo de agua, determinada por el valor nacional o regional dada su composición biológica y su popularidad.

2.4.1. TIPOS DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES

Han surgido algunas propuesta de clasificación de las metodologías para la determinación de caudales ambientales, entre las que destaca la recomendada por Dysnon et al. (2003), de la International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), que incluye cuatro categorías: cuadros de consulta, análisis de computadora, análisis funcional y modelos de hábitat; ventajas y desventajas se resumen en la tabla 2.2, y las características se describen a continuación:

- a) Cuadros de Consulta:** agrupa las metodologías que se basan en índices sencillos formulados en cuadros de consulta; los índices pueden ser desde hidrológicos hasta ecológicos, sin embargo, los más utilizados por los gestores del agua son los hidrológicos porque permiten establecer caudales de compensación aguas abajo de infraestructuras como presas y embalses, ejemplo de ello, son porcentajes del caudal medio o ciertos percentiles tomados de una curva de duración general.

b) Análisis por computadora: utilizan datos existentes, como caudales registrados en una estación hidrológica, y datos biológicos. De ser necesario, se recopila información en campo para complementar la información existente. Las metodologías de análisis por computadora se pueden subdividir en hidrológicos, hidráulicos y ecológicos, si su base de datos es hidrológico, hidráulico y ecológicos, respectivamente.

TABLA 2.2: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES DEFINIDOS POR LA UICN

Tipo de método	Ventajas	Desventajas
Cuadro de Consulta	<ul style="list-style-type: none"> - Económicos - De uso rápido una vez calculado. 	<ul style="list-style-type: none"> - No es específico de cada sitio. - Los índices hidrológicos no son ecológicamente relevantes. - Los índices requieren datos de cada región
Análisis por computadora	<ul style="list-style-type: none"> - Específicos para cada sitio. - Recopilación limitada de nuevos datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere una serie temporal larga. - No hay un uso explícito de datos ecológicos. - Para poder calcularlos requiere datos de cada región
Análisis funcional	<ul style="list-style-type: none"> - Flexible - Centrado en un sistema como un todo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resulta caro recopilar datos relevantes y recurrir a un grupo de expertos. - Puede no conseguirse el consenso de los expertos
Modelos de hábitat	<ul style="list-style-type: none"> - Replicable - Predicativo 	<ul style="list-style-type: none"> - Costoso recopilar datos hidráulicos y ecológicos.

FUENTE: Dysnon et al., 2003

c) Análisis funcional: las metodologías que se encuentran en esta categoría asumen un punto de vista amplio y abarca aspectos como el análisis hidrológico, hidráulico y biológico.

d) Modelos de hábitats: con el fin de determinar requerimientos de caudal utiliza datos sobre hábitat de especies. Parte del hecho de que los

aspectos físicos son los que más sufren por cambios en el régimen hidrológico, es decir se fundamenta en relaciones funcionales entre hábitat físico y caudal para determinar un caudal ambiental.

Para el año 2003, Tharme (2003) contabilizó aproximadamente 207 metodologías individuales, desarrolladas en 44 países, desde entonces se han continuado los trabajos para desarrollar metodologías cada vez más multidisciplinarias. Según esta autora, las metodologías se pueden agrupar en 4 categorías principales: (1) hidrológicas, (2) hidráulicas, (3) simulación de hábitat y (4) holísticas; siendo por la disponibilidad de información las más utilizadas las hidrológicas y las de simulación de hábitat.

a) Metodologías Hidrológicas: abarca metodologías que generalmente usa registros históricos de caudales diarios o mensuales, sin embargo algunas metodologías incorporan consideraciones hidráulicas, biológicas y/o geomorfológicas. Se suele asumir una proporción fija de caudal (a menudo un caudal mínimo) que represente el caudal ambiental. Se aplica donde existe un uso poco intensivo del recurso, en fases de planificación y en situaciones de baja polémica. Pueden convertirse en herramientas para metodologías de simulación de hábitat y holísticas (Pizarro, 2004; Tharme, 2003).

b) Metodologías Hidráulicas: mide los cambios de las variables hidráulicas (perímetro mojado, profundidad, velocidad) con los cambios de caudal. Generan curvas de respuesta del hábitat al caudal (hábitat vs caudal), en las que el punto de inflexión se interpreta como el umbral, después del cual la calidad del hábitat llega a degradarse significativamente. Las mediciones se realiza en una o varias secciones transversales. Se aplica en situaciones de intensidad del recurso de bajo a moderado. Al igual que las metodologías hidrológicas, éstas también forman parte de las metodologías de simulación de hábitat y holísticas; y se consideran los precursores de simulación de hábitat (O'Keeffe, 2009; Moreno, 2008; Castro et al., 2006; Pizarro, 2004; Tharme, 2003).

c) Metodologías de Simulación de Hábitat: simulan el hábitat y modela sus cambios con respecto a variaciones en el caudal circulante, identificando los valores para los cuales el hábitat es óptimo. Los cambios físicos del hábitat relacionados con el caudal, se modelan en varios programas hidráulicos, usando los datos de una o más variables hidráulicas: profundidad, velocidad, composición del sustrato, e incluso índices hidráulicos complejos (estrés de los bentos), colectados en múltiples secciones transversales. La disponibilidad del hábitat simulado a diferentes caudales se asocia con la información de curvas de preferencia determinadas para especies acuáticas y condiciones naturales. La aplicación de estas metodologías requiere un alto grado de especialización en modelación de hábitat por dinámica hidrológica e hidráulica, inspección de campo y conocimiento de las necesidades físicas de hábitat y de caudal. Son aplicables en ríos que presentan conflictos relacionados con la actividad pesquera, alta prioridad de conservación y de importancia estratégica (Anderson, 2009b; Pizarro, 2004; Tharme, 2003).

d) Metodologías Holísticas: identifica eventos de caudal que representen la variabilidad del régimen, y por ende sean importantes para diferentes disciplinas. La mayoría de las metodologías de este grupo construyen el régimen de caudal mes por mes y elemento por elemento (magnitud, duración, momento, etc.), una especie de receta. También, se analizan escenarios, donde los requerimientos de caudal ambiental se definen en función del grado de aceptación del régimen según objetivos ecológicos como socioeconómicos. Se requiere gran cantidad de datos en múltiples sitios del río con representatividad temporal y calidad. La mayoría de los métodos holísticos avanzados, son de aplicación a mediano y largo plazo, en ríos de alta prioridad de conservación o de importancia estratégica (Anderson, 2009b; Pizarro, 2004; Tharme, 2003).

La tabla 2.3 muestra las ventajas, desventajas y ejemplos de metodologías definidas por Tharme (2003) y la tabla 2.4 presenta la duración de la evaluación, requerimientos y confiabilidad de los resultados para diversas metodologías.

TABLA 2.3 : VENTAJAS, DESVENTAJAS Y EJEMPLOS DE LOS TIPOS DE METODOLOGÍAS SEGÚN THARME

<i>Tipo</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>	<i>Ejemplos</i>
Hidrológicas	<ul style="list-style-type: none"> - Barato y rápido, con requerimientos de datos simples - Puede estar en constante actualización. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia de un soporte ecológico u otros campos. - Baja confiabilidad - Inadecuado para una extrapolación a diferentes regiones 	<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje fijo del caudal medio multianual - Método de Tennat - Método Hoppe - Método del caudal medio base - Método del rango de variabilidad - Método de caudal mínimo de 7 días con tiempo de ocurrencia de 10 años - Método de caudales básicos de mantenimiento
Hidráulicas	<ul style="list-style-type: none"> - Puede incorporar información de hábitat - Flexibles a los datos disponibles 	<ul style="list-style-type: none"> - Asume una extrapolación de una única sección transversal. - Nivel medio-bajo de confiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Método del perímetro mojado - Método de múltiples transectos
Simulación de Hábitat	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilidad para la evaluación de diferentes escenarios de caudal - Alto grado de aceptación científica - Legalmente defendible en USA 	<ul style="list-style-type: none"> - Recursos y tiempo intensivo. - Complejidad de la programación de computador - Se enfoca en pocas especies normalmente peces - Recomienda caudales mínimos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Método incremental para la asignación de caudales (IFIM por sus siglas en Inglés)
Holísticas	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de los ecosistemas, en lugar de especies limitadas. - Consideraciones multidisciplinarias, incluyendo las socio-económicas - Flexibilidad a la disponibilidad de datos - Alta confiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Altos requerimientos de recursos - La subjetividad puede dar lugar a resultados variables de diferentes especialidades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Método de bloques de construcción (BBM por sus siglas en inglés) - Downstream Response to Imposed Flow Transformations (DRIFT) - Flow-Stressor Response approach (FSR) - Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA) - Panel de expertos

FUENTE: O'Keefe, 2009; Anderson; 2009b; Moreno, 2008

TABLA 2.4: TIEMPO ESTIMADO, REQUERIMIENTOS DE RECURSOS Y CONFIABILIDAD PARA METODOLOGÍAS ESPECÍFICAS

Metodología	Tipo	Duración de la Evaluación	Requerimientos de recursos	Confiabilidad
Tennant	Hidrológico	2- semanas	Moderado a Bajo	Baja
Perímetro mojado	Hidráulico	2-4 meses	Moderado	Baja
IFIM	Simulación de Hábitat	2-5 años	Muy alto	Alta
Panel de Expertos	Holístico	1-2 meses	Moderado a bajo	Media
DRIFT	Holístico	1-3 años	Alto a muy alto	Alta

FUENTE: Hirji y Davis, 2009

2.5. METODOLOGÍA “PANEL DE EXPERTOS”

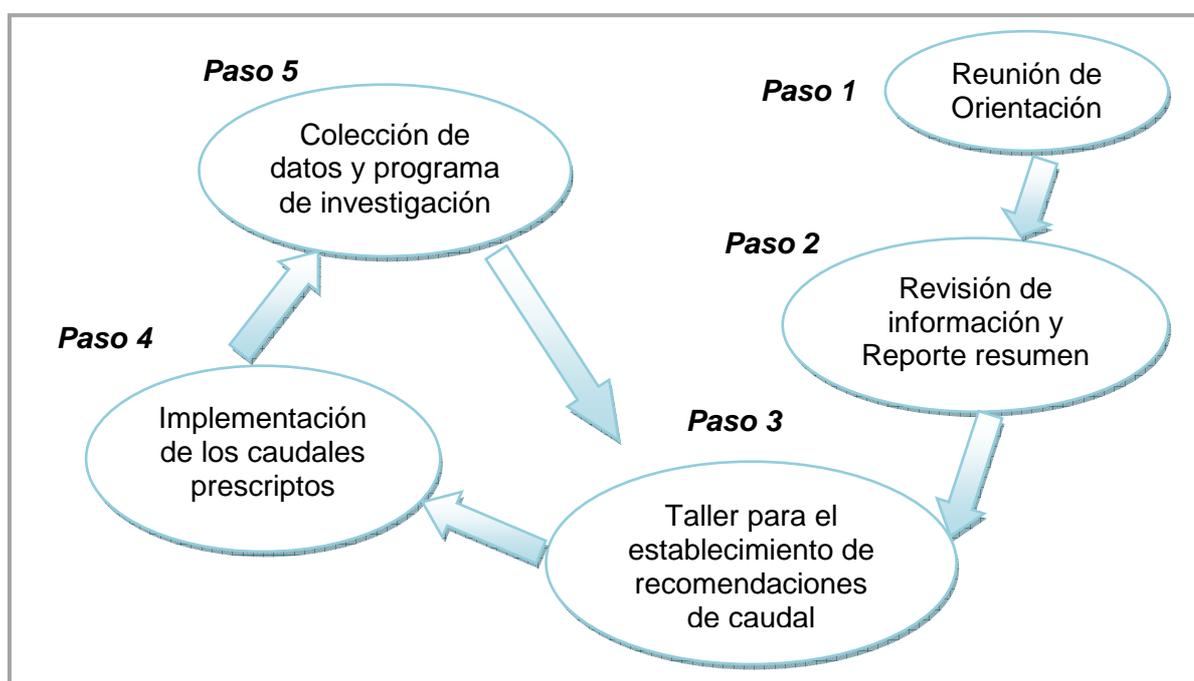
La metodología *Panel de Expertos* fue desarrollada en el Estado de New South Wales (Australia) para incluir en el caudal ambiental los requerimientos de agua de ciertas especies de peces de agua dulce y se aplique en situaciones de limitados recursos financieros y de datos.

La metodología consiste en conformar un panel con expertos de diferentes áreas, mismos que direccionarán los pasos a seguir basándose primordialmente en la información secundaria disponible, información de campo que pueda recolectarse según la disponibilidad de tiempo y las facilidades económicas. Los pasos generales que pueden establecerse en la metodología se muestran en la figura 2.4; los paso 3 y 5 se repiten indefinidamente para las recomendaciones de caudal ambiental.

Entre las ventajas de esta metodología está la sinergia entre diferentes disciplinas científicas, y entre expertos científicos y gestores, para realizar recomendaciones generales. Es adaptativa a los avances de la ciencia y el conocimiento, ya que no

se restringe únicamente a necesidades ecológicas y requiere la consideración de la mayoría de los usos. Además, de su bajo costo en comparación con otras metodologías, las pocas mediciones de campo demandan corto intervalo de tiempo y puede aplicarse a una amplia variedad de problemas (Anderson, 2009b; Bevitt, 2009).

FIGURA 2.4: PROCESO CIENTÍFICO DE CINCO PASOS, SEGÚN LA METODOLOGÍA PANEL DE EXPERTOS



FUENTE: Anderson, 2009a; Richter, 2006; Téllez, s.a.

Existen también algunas desventajas: (1) no es muy cuantitativa (no da una receta de caudales), por lo que demanda estudios posteriores, (2) es aplicable únicamente para un río y no a escala regional; (3) puede estar limitado por el grado de experticia y el comportamiento humano, y (4) las recomendaciones derivan de un estudio basado en una mirada breve del sistema en un punto en el tiempo (Anderson, 2009b; Bevitt, 2009). Existe una característica que si bien es una ventaja, también puede considerarse limitante, un panel de expertos no es muy rígido en términos de metodología, de allí que su aplicación dependerá del criterio del grupo de expertos.

2.6. MARCO LEGAL NACIONAL

El marco legal formado en torno al tema planteado en este proyecto hace referencia a caudales ecológicos y no a caudales ambientales, aunque el uso de este último término está previamente justificado.

2.6.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

Según el art. 318, los caudales ecológicos ocuparán el tercer lugar de prioridad en la planificación y gestión de los recursos hídricos, siendo el Estado, a través de la autoridad única del agua, el responsable de velar por su cumplimiento. A su vez, en el art. 411, se menciona que el Estado regulará las actividades que puedan afectar la cantidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas.

2.6.2. NORMA PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO AGUA EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Esta norma es de cumplimiento obligatorio para centrales hidroeléctricas que posean una capacidad de generación mayor a 1MW.

El numeral 4.4.1.1, establece que las centrales hidroeléctricas deberá garantizar un caudal ecológico que asegure la conservación y mantenimiento de los ecosistemas y biodiversidad del medio fluvial, así como, los usos consuntivos y no consuntivos, aguas abajo de la obra. El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), de acuerdo al numeral 4.4.1.2, será el responsable de aprobar los valores de caudales y regímenes ecológicos, mientras que la entidad administradora de los recursos hídricos hará respetar estos valores aprobados.

El numeral 4.4.1.4 establece que la determinación del caudal ecológico y los regímenes de caudales ambientales deberán ser considerados en el estudio de pre-factibilidad de un proyecto hidroeléctrico.

El numeral 4.4.1.5 establece que las hidroeléctricas existentes antes de marzo del 2003 adoptarán como caudal ecológico al menos el 10% del caudal medio anual. Además, se deberá llevar a cabo un monitoreo, para detectar efectos sobre los ecosistemas del cuerpo de agua y sobre los usos consuntivos o no consuntivos aguas abajo de la central hidroeléctrica, tanto en época lluviosa como en época seca.

Se establece en el numeral 4.4.2.3 que si el cálculo del caudal ecológico se basa en una metodología hidrológica, esta debe contemplar consideraciones bióticas y físico-químicas.

Se reconoce que “el caudal ecológico deberá ser representativo del régimen natural del río, ser compatible con los requerimientos físicos de la corriente para mantener su estabilidad y cumplir todas sus demandas, además de mantener la calidad del recurso y las características paisajistas del medio” (4.4.3.1).

El numeral 4.4.3.2 menciona que para el *cálculo del caudal ecológico* se deberá determinar al menos los siguientes parámetros: régimen del río, calidad del agua, interacciones bióticas entre el agua y suelo-agua, usos del agua en el área de influencia del proyecto.

El cálculo del *régimen de caudales ecológicos* deberá contemplar lo siguiente: el régimen natural estacional del río, la oscilación estacional natural y fluctuación anual acorde al clima (años húmedos, años secos, hidrogramas, etc.), y seguir la fluctuación anual del régimen natural del río (4.4.3.4). Se requiere además que el régimen de caudales ecológicos considere avenidas con frecuencia de 1-2 años, con el fin de mantener en buenas condiciones el sustrato del río y la vegetación ribereña (4.4.3.4). Finalmente, el numeral 4.4.1.7 establece que para la determinación de caudales ecológicos la información deberá comprender un año de monitoreo.

2.6.3. LEY DE AGUAS

Esta ley no menciona la temática de caudales ecológicos, aunque apela a la conservación mediante la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas, la ejecución de estudios de investigación (Art.20), y la utilización del agua, por parte de los usuarios, con la mayor eficiencia y economía (Art. 21).

El art. 36 establece que las concesiones del derecho de aprovechamiento de agua se efectuarán en el siguiente orden de prelación o preferencia:1) abastecimiento de poblaciones, para necesidades domésticas y abrevadero de animales, 2) agricultura y ganadería, 3) usos energéticos, industriales y mineros, y 4) otros usos.

De los cuerpos legales revisados, resulta elogiable la ubicación de los caudales ecológicos en el tercer lugar de prioridad. Es claro que ello demanda algunos requerimientos como generar capacidades en las instituciones gestoras del recurso agua, elaborar un manual sobre criterios y metodologías para la determinación de caudales ecológicos o ambientales, y definir medidas de compensación, remediación, sanciones, incentivos, participación ciudadana entre otras aplicables al aseguramiento de la integridad de los recursos fluviales. También, es necesario establecer acuerdos de cooperación con instituciones como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), universidades, y otras dedicadas a la investigación para crear una base de información científica que apoye a la determinación de caudales ecológicos.

CAPÍTULO 3.

METODOLOGÍA

3.1. RECOPIACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LA CUENCA

3.1.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Como se presenta en la tabla 3.1, el panel de expertos se dividió en cinco componentes, y cada uno de ellos se responsabilizó de recopilar información de su disciplina, la misma que se presentó a todo el panel en un taller.

TABLA 3.1: CONFORMACIÓN DEL PANEL DE EXPERTOS

Componente	Expertos
Hidrológico- hidráulico	Un ingeniero civil Dos ingenieros ambientales
Biológico	Un ecólogo acuático Un ictiólogo
Socioeconómico	Un sociólogo
Gestión del agua	Funcionarios de las agencias de la SENAGUA de Latacunga, Ambato y Riobamba

3.1.1.1. Componente hidrológico - hidráulico

Los estudios hidrometeorológicos y registros de estaciones hidrológicas del INAMHI constituyen la principal fuente de información. Adicionalmente, la Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (actual IRD) dispone los resultados de la única caracterización de los regímenes hidrológicos en el Ecuador, llevada a cabo en 1996. Finalmente, el proyecto de titulación de Moreno

(2008), proporciona una introducción a la presión hídrica y calidad de información de la cuenca del río Pastaza.

3.1.1.2. Componente biológico

La ecóloga acuática Encalada (2009a), reportó que información inicial sobre biodiversidad acuática de la cuenca del río Pastaza se encuentra en estudios realizados por Fundación Natura (FN), Global Water for Sustainability Program (GLOWS) y la Universidad Internacional de Florida. Información sobre áreas protegidas y su biodiversidad se encontró en publicaciones del Ministerio del Medio Ambiente (MAE). Además, destaca el Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador elaborado por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

El ictiólogo Rivadeneira (2009a) señala: la colección de peces descrita entre los siglos XXI y XX y los resultados del Programa Acuático de Evaluaciones Rápidas de la cuenca del río Pastaza realizado por Conservación Internacional de Agosto de 1999.

3.1.1.3. Componente socioeconómico

La información recopilada para este componente por el Instituto de Ecología y Desarrollo de las Comunidades Andinas (IEDECA), provino del Inventario y Diagnostico del Recurso Hídrico de la Provincia de Tungurahua, Consejo Nacional de Recursos Hídricos, Interjuntas Chimborazo, las Agencias de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) de Ambato, Latacunga y Riobamba, e información generada por la misma consultora (IEDECA, 2009).

3.1.1.4. Componente usos recreativos

Terry (2009a), presentó al panel de expertos los usos recreativos de la cuenca que ha anotado en varias de sus salidas de observación a lo largo de ella.

3.1.1.5. Componente gestión del agua

Las Agencias de Agua de Latacunga, Ambato y Riobamba asumieron la tarea de proporcionar información sobre concesiones otorgadas de aprovechamiento de agua, y resultados de muestreos de calidad del agua en la cuenca.

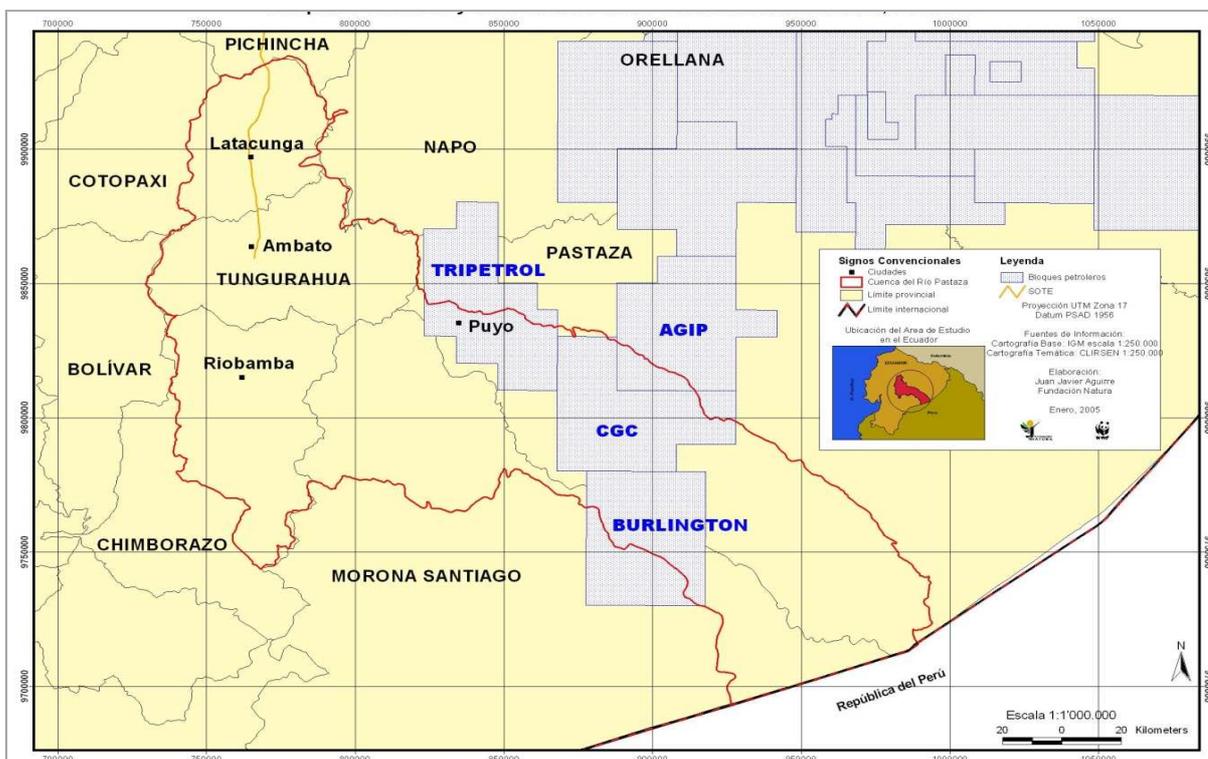
3.1.2. SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN

3.1.2.1. Descripción de la cuenca del río Pastaza

3.1.2.1.1. Localización

La cuenca del río Pastaza ocupa un área de 23.057 km² del este del Ecuador, abarca parte de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pastaza y Morona Santiago, como se puede apreciar en la figura 3.1.

FIGURA 3.1: LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA



FUENTE: Fundación Natura y World Wildlife Fund, 2005

La longitud del cauce mayor es de 431,74 km, con una pendiente media del 0,9%. Se extiende desde la cordillera oriental y occidental hasta el sector conocido como Soldado Monge en la frontera con el Perú. Alcanza una superficie total cerca de 39.500 km² hasta antes de verter sus aguas al Río Marañón en territorio peruano. (IEDECA, 2009; Moreno, 2008; Saunders et al. 2007; Briceño, 2005; Roura, 2004).

3.1.2.1.2. Características fisiográficas

La cuenca hidrográfica tiene una topografía muy irregular, presenta pendientes que van desde el 70%, en las estribaciones de la cordillera, hasta terrenos planos en los valles amazónicos (INAMHI, 2000). Los factores que determinan la fisiografía de la cuenca del río Pastaza son los siguientes:

- a) *Cordillera Real*: constituye el límite oriental de la cuenca; su relieve se caracteriza por la presencia de colinas altas de fuerte pendiente, y cimas agudas y redondeadas cubiertas de material piroclástico; y valles en U formados por corrientes fluviales. Los principales volcanes en la cordillera real que alimentan los ríos de la cuenca del Pastaza son: Cotopaxi, Tungurahua y Altar (Roura, 2004).
- b) *Cordillera Occidental*: sobresalen volcanes como: Iliniza, Carihuairazo y Chimborazo que pertenecen a un complejo volcánico cretácico caracterizado por una morfología irregular de estructuras colinadas y pendientes moderadas a fuertes (Roura, 2004).
- c) *Relieves Transversales*: los nudos de Tiopullo, Igualata, Sanancajas y Tiocajas constituyen los principales ejes transversales, y son los responsables de unir la cordillera real y occidental y delimitar la cuenca. El nudo de Tiopullo une los volcanes Cotopaxi e Ilinizas. Los nudos de Igualata y Sanancajas unen los volcanes Chimborazo y Tungurahua, en medio de los que emerge el volcán Igualata. El nudo Tiocajas es el límite sur de la cuenca alta del río Pastaza, se caracteriza por la presencia de

rasgos de colinas semi-redondeadas con pendientes que descienden suavemente, y desde el cual los ríos han desarrollado valles en U (Roura, 2004).

d) *Callejón interandino*: está comprendido entre los 3.000 y 1.600 msnm. La acción conjunta del tectonismo, vulcanismo, procesos de erosión y depositación de sedimentos han determinado una variabilidad de sedimentos (detríticos, fluviolacustres, glacial y vulcano clástico) en esta zona (Roura, 2004).

e) *Región Amazónica*: geográficamente presenta dos zonas: la montañosa de pie de monte y la llanura ondulada atravesada por grandes ríos (Roura, 2004).

3.1.2.1.3. Características Climáticas

El clima está determinado por la influencia del océano Pacífico, el régimen amazónico, y la intervención de algunos factores como el relieve, la corriente cálida ecuatorial y la oscilación de la zona de convergencia intertropical. El clima es gélido en las grandes alturas; frío en los páramos y nudos, templado y subtropical en las hoyas; y tropical húmedo en las llanuras amazónicas (Roura, 2004).

Roura (2004) en el balance hídrico superficial, desarrollado para la cuenca, ha estimado valores medios de precipitación, evapotranspiración real, y escurrimiento de 2.207 mm, 800 mm y 778 m³/s, respectivamente.

3.1.2.2. Componente hidrológico - hidráulico

3.1.2.2.1. Hidrografía

En la región interandina, la cuenca del río Pastaza está constituido por dos ríos principales: el río Patate y el río Chambo. El primero recibe como aporte principal

las aguas del río Cutuchi, que en su recorrido recibe las contribuciones de los ríos Saquimala, Pumancunchi, Illuchi, Patoa, Yanayacu, Casahuala, entre otros. El río Chambo, en su nacimiento recibe las contribuciones de las lagunas y páramos de Ozogoche y del sistema lacustre Atillo. Los ríos Atillo, Ozogoche y Yasipán confluyen para formar el río Cebadas, que se une con el río Guamote para dar origen al río Chambo. Aguas abajo, el río Chambo recibe el aporte de los ríos Timbul Alao, Chibunga, Panchucal, Guano, Blanco entre otros, así como de algunas quebradas como el Salten, y Mishahuanchi, entre otros.

La confluencia de los ríos Patate y Chambo señala el inicio del río Pastaza, que se dirige en dirección sur oriente hacia la parte Amazónica del Ecuador, donde recibe aportes de un sistema hidrográfico muy denso, resultado de la geomorfología característica de la cordillera Real y de las precipitaciones amazónicas bien distribuidas a lo largo de todo el año. Desde los 900 msnm el río Pastaza corre sobre un paisaje bastante plano, causando que el río: se ensanche, divida en varios canales separados por islotes con vegetación y se torne menos profundo. Ríos aportantes de la región oriental, incluyen los ríos Sangay, Chiguaza, Palora, Bobonaza, Copataza y Huazaga, entre otros (Galárraga, 2009, Roura, 2004).

3.1.2.2.2. Régimen hidrológico

Acorde a una clasificación de regímenes hidrológicos para el Ecuador propuesta por Pourrut y Gómez (1996), en la cuenca del río Pastaza se encuentran los siguientes regímenes hidrológicos: a) Régimen Glacio - nival de montaña, b) Régimen pluvio - nival interandino, y c) Régimen pluvial persistente muy húmedo de la región amazónica. Esta clasificación se basa en dos criterios, el primero la naturaleza y origen de las aguas altas y el segundo, la simplicidad o complejidad de la distribución mensual de los caudales a lo largo del año.

El *régimen glacio - nival de montaña* tiene lugar en la zonas altas de la cuenca, entre los 3.500 y 4.000 msnm, de tal manera que se extiende hasta la cima de nevados y volcanes, como: Cotopaxi, Chimborazo y otros, cuyas nieves y

glaciares son la alimentación permanente de cuerpos de aguas que recogen, a su vez, los aportes ocasionales provenientes de las precipitaciones en estado sólido (nieve o granizo). Es un régimen cuyo caudal pico medio mensual tiene lugar en el mes de julio cuando los ríos fluyen hacia el callejón interandino y en el mes de agosto en ríos de la vertiente oriental, meses que coinciden con los máximos de insolación. A su vez, este tipo de régimen presenta un pico diario de crecida situado en la tarde, que corresponde a las aguas provenientes del derretimiento de los glaciares al tiempo de máxima insolación (generalmente a las 13:00). Además, presenta crecidas de forma aplanada por cuanto, por una parte, los eventos de lluvias no son muy fuertes y tienen intensidades bajas, y por otro, el retraso debido al derretimiento de las precipitaciones en estado sólido, favorece a una distribución en el tiempo de los aportes uniforme.

El *régimen pluvio - nival interandino* abarca las corrientes que nacen en el callejón interandino y sus hoyas. Bajo este mismo existen los regímenes con preponderante influencia pluvial, y los de influencia predominante del derretimiento de nieves y glaciares. Los primeros, generalmente, presentan dos máximos situados en marzo - abril por el predominio de precipitaciones provocadas por masas de aire oceánicas, y en noviembre, por el predominio de las lluvias producidas por las masas de aire amazónicas. Los sometidos a la influencia predominante del derretimiento, poseen un único máximo de caudal en el mes de Julio, siendo este el régimen preponderante en los valles secos interandinos de la región central. El río Ambato, cuya escorrentía en su mayor parte se ve alimentada por los deshielos del volcán Chimborazo, es un ejemplo de régimen pluvio-nival con mayor influencia glacio-nival. Por último, algunos ríos al abandonar el valle interandino hacia la Amazonía han cavado gargantas muy profundas que forman sitios idóneos para la construcción de presas hidroeléctricas, este es el caso del Río Pastaza en Baños. Los ríos Cutuchi, Chambo y Patate son otros ejemplos de este régimen.

El *régimen pluvial persistente muy húmedo de la región amazónica* corresponde a la vertiente andina oriental, los relieves subandinos, el piedemonte y la zona peri-

andina. Este régimen presenta un solo máximo de caudal en junio - julio y un mínimo en diciembre - febrero y se caracteriza por su gran regularidad interanual.

3.1.2.2.3. Limitaciones en la información hidrológica

Desde los inicios de los años 1970 se han instalado y operado un gran número de estaciones hidrológicas en la cuenca de río Pastaza, pero por diferentes motivos, especialmente económicos, esta red no ha funcionado continuamente y los registros tienen vacíos de información que van de días hasta años, y pocas son las estaciones con registros largos de información (Galárraga, 2009). A ello hay que sumar, los posibles errores que resultan de deficiencias en los instrumentos y en las observaciones (Linsley, 1977).

3.1.2.3. Componente biológico

3.1.2.3.1. Principales ecosistemas terrestres y acuáticos

La cuenca presenta un gran cambio altitudinal, desde los flancos orientales del Chimborazo (6.200 msnm) y Cotopaxi (5.897 msnm) hasta los 300 msnm en el límite oriental de la cuenca, esta situación trae como consecuencia el incremento de la temperatura y precipitación y cambios en las formaciones vegetales. Se ha encontrado más de 17 formaciones vegetales en toda la cuenca y en general, estas se hallan dentro de tres bio-regiones: 1) Páramo y zona alto/andina (zona alta), 2) Bosques montanos tropicales (zona media), y 3) Bosques húmedos tropicales (zona baja) (Encalada, 2009a).

Páramo y zona alto-andina: presenta altos índices de endemismo; incluye formaciones vegetales como: páramo de pajonal, gelidofitia, páramo de frailejones, páramo arbustivo, páramo seco con flora xerofítica, entre otros. La mayoría de lagunas y lagos de los páramos de la cuenca son de origen glacial y pocos de origen volcánico. Destacan los sistemas lacustres de Ozogoche, Atillo y Pisayambo. A pesar de la abundancia de sistemas lenticos, la flora y fauna han

sido poco estudiadas; existe información de macroinvertebrados acuáticos, pero no así de algas y macrofitas (Encalada, 2009a).

Bosques montanos tropicales: son considerados como ecosistemas de transición entre los páramos y bosques húmedos tropicales; su nombre se debe a que están en regiones montañosas de grandes pendientes; reciben nubes y precipitaciones constantes que provienen de la región amazónica. Parte de las precipitaciones son aprovechadas por las formaciones vegetales y el restante pasa a ríos y riachuelos. Entre la flora característica se encuentra los árboles de aliso, diversidad de helechos, especies de la familia Brolemiceae y Orchidiaceae, entre otras. Respecto a fauna, la diversidad de aves en el bosque montano es muy alta, destaca la riqueza de colibríes y especies emblemáticas como el oso de anteojos, el tapir y el águila crestada. Se tiene buena información sobre macroinvertebrados acuáticos y peces; y sobre otros organismos es reducida (Encalada, 2009a).

Bosques húmedos tropicales: cuentan con alta diversidad arbórea, adaptada a las altas precipitaciones, con especies de bosques de tierra firme e inundada. Actualmente estos bosques están en buen estado de conservación por lo que la densidad de mamíferos, reptiles y anfibios es alta. Se dispone de muy poca información de macroinvertebrados acuáticos y peces (Encalada, 2009a).

3.1.2.3.2. Áreas protegidas

La cuenca del río Pastaza se encuentra dentro de seis áreas protegidas: a) Parque Nacional Cotopaxi, b) Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, c) Parque Nacional Llanganates, d) Parque Nacional Sangay, y e) Corredor Ecológico Llanganates - Sangay. Estas conservan una alta diversidad de ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos, de diferentes pisos altitudinales, con especies endémicas, y en peligro de extinción (Encalada, 2009a).

3.1.2.3.3. *Especies acuáticas de interés*

Encalada (2009a) reporta que en la cuenca del Río Pastaza no se existen estudios de algas, macrofitas, anfibios, reptiles y mamíferos, pero si están disponibles estudios sobre la diversidad de macroinvertebrados acuáticos y peces; argumenta que la riqueza, diversidad y abundancia de ciertos grupos de especies, se podrían utilizar como indicadores de los cambios de flujo por su buena respuesta a las condiciones hidráulicas.

Rivadeneira (2009a), menciona que el muestreo rápido de 1999 registró 93 especies de peces para un rango altitudinal entre los 350 a 600 msnm, mientras que para el 2007, en 7 subcuencas entre los 450 y 4.000 msnm FN y GLOWS registró 52 especies y 17 familias. A sí mismo, asegura que la mayor concentración de la ictiofauna se presenta entre los 500 - 1.000 msnm, disminuyendo la diversidad de peces entres los 1.000 - 2.840 msnm y sobre los 2.840 es casi nula, salvo la presencia de individuos de especies introducidas como la trucha. También, sobresale el orden de los Siluriformes -peces gato- por presentar una amplia distribución entre 350 - 2.840 msnm y señala que de las 13 especies endémicas halladas en la Cuenca, 5 son Astroblepídos - preñadillas -, y que estos junto con los bagres, hoy en día se encuentran amenazados por la pesca de subsistencia y comercial.

3.1.2.4. **Componente socioeconómico**

3.1.2.4.1. *Descripción del entorno socioeconómica.*

IEDECA (2009), según la altitud en las que se ubican las poblaciones humanas en la cuenca, agrupa el contexto socio-económico de la siguiente manera:

Sobre la cota 2.400 msnm, explica IEDECA (2009) que a causa de la pobreza y marginación a las que han sido sometidas la poblaciones rurales conformadas mayormente por indígenas, es naturalmente recelosa y, en ocasiones, hostil; sin embargo, esta es poseedora de la más valiosa tradición de organización.

Adicional, por la fertilidad de sus suelos, la agricultura se ha convertido en el eje económico de esta zona alta, ocupando el 60% de su población económicamente activa y constituyéndose en un centro de abastecimiento de productos agrícolas para el resto del país. Otras actividades económicas son la producción de leche y ganado de engorde. Los centros económicos son Latacunga, Ambato y Riobamba cuya principal fuente de ingresos proviene de la industria textil, del cuero, las industrias cementeras y el comercio (Saunders et al. 2007).

Las poblaciones, localizadas entre los 2.400 y 1.000 msnm, se dedican fundamentalmente a la producción agrícola y ganadera. Por otro lado, la cría de ganado es abundante en toda la zona y su producción se distribuye a ciudades de la Costa, especialmente a Guayaquil, y a Perú (IEDECA, 2009).

Entre los 1.000 y 350 msnm, la agricultura se encuentra en pleno desarrollo para abastecer de productos propios de la zona y generar una fuente de ingreso y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. La producción ganadera ha exigido un incremento de la superficie de pastizales (IEDECA, 2009), a costa de la tala de bosque nativo; además, como se observa en la figura 3.1, en esta zona se han instalado bloques petroleros que invaden y perturban territorio amazónico.

3.1.2.4.2. Conflictos sociales entorno al uso del recurso agua

IEDECA (2009), reporta que la zona más conflictiva está comprendida entre aproximadamente los 6.200 msnm hasta los 2.400 msnm, ya que en esta se extrae agua desde su nacimiento provocando que los ríos lleguen a secarse totalmente en determinados tramos; por ende, grupos humanos asentados aguas abajo se sienten afectados al advertir que el agua ha sido ya consumido. Después de la cota 2.400 msnm, los caudales de ríos son permanentes e importantes y la presión sobre el recurso disminuye considerablemente.

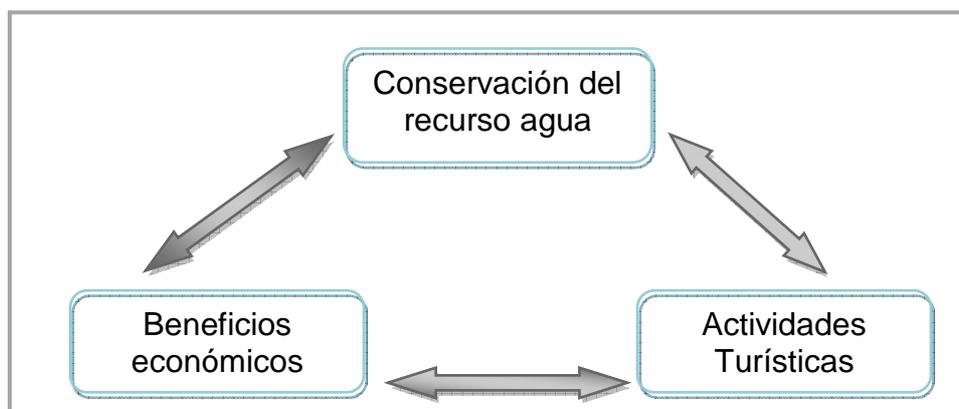
En los sistemas de riego, los mayores conflictos derivan de captaciones de agua clandestinas, inequidad en la distribución, escasez de agua, inadecuados calendarios de riego, resistencia al pago de tarifas, y el deseo de monopolización

del recurso. Por otro lado, en los sistemas de agua potable, los conflictos se deben al abastecimiento parcial, impago de tarifas y captaciones clandestinas menores (IEDECA, 2009).

3.1.2.5. Componente usos recreativos

Terry (2009a), explica que ciertas actividades turísticas dependen de la conservación del recurso agua para generar beneficios económicos, tornándose necesario la destinación de parte de estos beneficios económicos en acciones de conservación. La figura 3.2 muestra la relación entre conservación del recurso agua, beneficios económicos y actividades turísticas.

FIGURA 3.2: RELACIÓN DEL COMPONENTE TURÍSTICO, LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO AGUA Y LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS



FUENTE: Terry, 2009a

Terry (2009a) ha concluido que los usos recreativos destacados y registrados a lo largo de la Cuenca son:

- Parques Acuáticos: ej. Parque Acuático Morete Puyu (Puyo - Pastaza)
- Diques: ej. Complejo Turístico del Río Tigre (Mera - Pastaza)
- Acuarios
- Termales: ej. Termales la Virgen de Baños (Baños - Tungurahua)

- Manantiales: ej. Manantial de la Virgen de Agua Santa
- Cascadas: ej. Hola Vida (Pastaza), Manto de la Novia (Tungurahua), etc.
- Rafting
- Kayac
- Canyoning
- Bungee Jumping
- Pesca Deportiva

3.1.2.6. Componente gestión del agua

El presente proyecto de titulación fue ejecutado antes de cambios en la estructura organizacional de la SENAGUA (diciembre del 2009). Previo a esta fecha, la cuenca del río Pastaza se encontraba bajo la jurisdicción de las Agencias de Agua de Latacunga, Riobamba, Ambato, y Cuenca, mismas que tenían competencia sobre las provincias de Cotopaxi, Chimborazo-Pastaza, Tungurahua y Mora Santiago respectivamente. Sánchez (2009a), señaló que la principal función de SENAGUA es administrar el recurso hídrico en el país. También, añadió que las agencias de agua eran unidades desconcentradas de la SENAGUA, cuya función consistía en la concesión de derechos de aprovechamiento para los distintos usos, en la jurisdicción determinada.

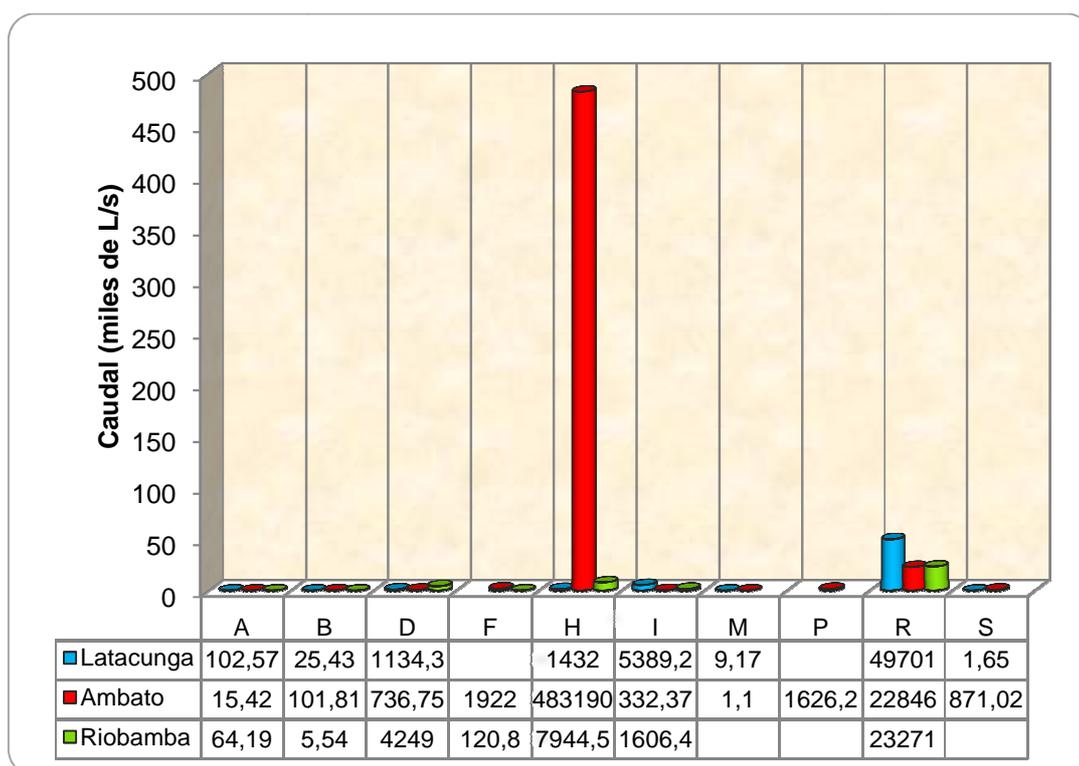
3.1.2.6.1. Concesiones de derechos de aprovechamiento de agua

Los usos de agua para los cuales se realizan las concesiones de derechos pueden resumirse en dos grandes categorías: usos consuntivos y usos no consuntivos. El primero corresponde a la demanda de agua que no se devuelve al recurso hídrico después de su uso, dado que es consumida por las actividades, descargada al mar o evaporada. Por otro lado, el uso no consuntivo es aquel que una vez utilizada la fracción demandada obliga a restituir el agua después de su uso sin alteración significativa de calidad, en el tiempo y espacio precisos para no limitar el suministro de los usos consuntivos. En Ecuador, se reconoce los usos no consuntivos: hidroelectricidad (H), balneología (B), fuerza mecánica (F), piscícola

(S), y termales (T); y los usos consuntivos: doméstico (D), agua potable (P), riego, abrevadero (A), industria (I), y agua minerales y de mesa (M).

La figura 3.3 muestra las concesiones de derechos de aprovechamiento para usos consuntivos y no consuntivos, en la cuenca, evidenciándose la fuerte demanda de agua para hidroelectricidad en la provincia de Tungurahua por parte de varias compañías como DENERGI S.A., HIDROAGOYÁN S.A., HIDROPUCARA, la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte, entre otras. El riego es el segundo en demanda, siendo mayor para la jurisdicción de la agencia de aguas Latacunga.

FIGURA 3.3: CAUDAL CONCESIONADO POR LAS AGENCIAS DE AGUA PARA DIVERSOS USOS EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA



FUENTE: Sánchez, 2009a

Pese a que la zona comprendida sobre los 2.000 msnm presenta bajas precipitaciones, aproximadamente el 97% de las concesiones totales se han realizado solo para esta zona. La tabla 3.2 muestra las concesiones sobre la cota

2.000 msnm. Adicionalmente, estimaciones realizadas por Roura (2004), revela que en la cuenca durante todo el año se presenta una demanda insatisfecha que varía entre el 38% al 74%.

TABLA 3.2: CONCESIONES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA CORRESPONDIENTES A LA ZONA UBICADA SOBRE LOS 2.000 MSNM

Agencia	Total de Concesiones	Concesiones > 2.000 msnm	Porcentaje a > 2.000 msnm
Latacunga	2.599	2.486	95,65%
Ambato	1.443	1.363	94,46%
Riobamba	3.335	3.307	99,16%
TOTAL	7.377	7.156	97,00%

FUENTE: Sánchez, 2009a

3.1.2.6.2. Calidad del agua

En agosto del 2006, septiembre de 2007 y junio del 2008, el ex-Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), actualmente SENAGUA, en asociación con FN y GLOWS, llevó a cabo muestreos de calidad del agua en la cuenca del río Pastaza (Sánchez, 2009b). Los resultados de estas campañas revelaron que en algunos de los sitios de muestreo el número de unidades formadoras de colonias de coliformes (UFC) era muy alto, resultando imposible contabilizarlas; la temperatura promedio sobre la cota 3.500 msnm fue de 5 °C, entre los 3.000 y 1.800 msnm entre los 10 a 17 °C; el pH osciló entre 6 a 8,5 unidades. El pH más alto se registro después de la descarga de las aguas residuales de una industria de gelatinas (pH=11). En varios puntos de las subcuencas de los ríos Patate y Chambo, los valores de sólidos disueltos superaron los 1.000 mg/L permisibles según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Valores extremos de conductividad mayores a 2000 μ S/cm se registraron en sitios influenciados por actividades industriales, reportando 12000 μ S/cm en los sitios de descarga del Parque Industrial Ambato. El rango de concentración de oxígeno disuelto se

encontró entre 4,83 mg/L y 9,36 mg/L. En los informes de estas campañas de muestreo revelaron una preocupación por la mala calidad del agua de los ríos Cutuchi y Ambato en el sector del Parque Industrial de la ciudad. Por último, inquieta el uso de agua contaminada para el riego en los sectores agrícolas (Sánchez, 2009b; Saunders, 2007).

Otro aporte adicional procedió del Laboratorio de Aguas y Sedimentos del INAMHI, que en enero del 2008 presentó una caracterización hidro-química del río Pastaza en la estación hidrológica H800 "Pastaza en Baños". Los resultados de este estudio se muestran en la tabla 3.3, y se los compara con los límites permisibles para agua destinada a preservación de la flora y fauna, en aguas dulces frías del TULSMA.

TABLA 3.3: RESULTADOS DEL INAMHI DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL RÍO PASTAZA EN LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA H800 Y LÍMITES PERMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA EN AGUAS DULCES FRÍAS

<i>Parámetro</i>	<i>Unid.</i>	<i>Límite máx. permisible</i>	<i>Valor medio determinado</i>	<i>Cumplimiento</i>
Conductividad	µS/cm	-	465,75	
pH	unidad	6,5 - 9	7,78	Cumple
Turbiedad	NTU	-	120,00	
Sólidos en suspensión	mg/L	-	302,00	
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	286,74	
Alcalinidad total	mg/L	-	144,5	
Dureza Total	mg/L	-	156,5	
Nitrato (NO ₃)	mg/L	-	6,40	
Nitrito (NO ₂)	mg/L	-	0,31	
Fosfato (PO ₄)	mg/L	-	0,63	
Amonio (NH ₄)	mg/L	-	0,41	
Cromo (Cr ⁺⁶)	mg/L		0,01	
Cobre (Cu ⁺²)	mg/L	0,02	0,01	Cumple
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /L	no < a 6	5 - 8	Parcial
DBO ₅	mg O ₂ /L	-	48,14	
DQO	mg O ₂ /L	-	101,0	
Índice de coliformes fecales	NMP/100ml	200	3,0 x 10 ³	No cumple
Índice de coliformes totales	NMP/100ml		1,7 x 10 ⁵	

FUENTE: Cartagena et al. , 2008

3.2. SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

3.2.1. SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

En la selección de los sitios participaron todos los integrantes del panel de expertos. En primera instancia, con mayor participación de los representantes de las agencias de agua, se elaboró una lista inicial de sitios en función de la demanda de agua, conflictos sociales de uso y calidad de agua; resultando un total de 21 sitios, considerando desde ríos prístinos hasta fuertemente impactados. Sin embargo, por limitaciones económicas, de tiempo e información exigió se redujo la lista a 6. Finalmente, se seleccionaron 6 sitios, considerando aquellos con mayor afectación por la presencia de obras hidráulicas locales o regionales de envergadura, el interés en conservar ecosistemas en buen estado y la disponibilidad de información hidrometeorológica.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

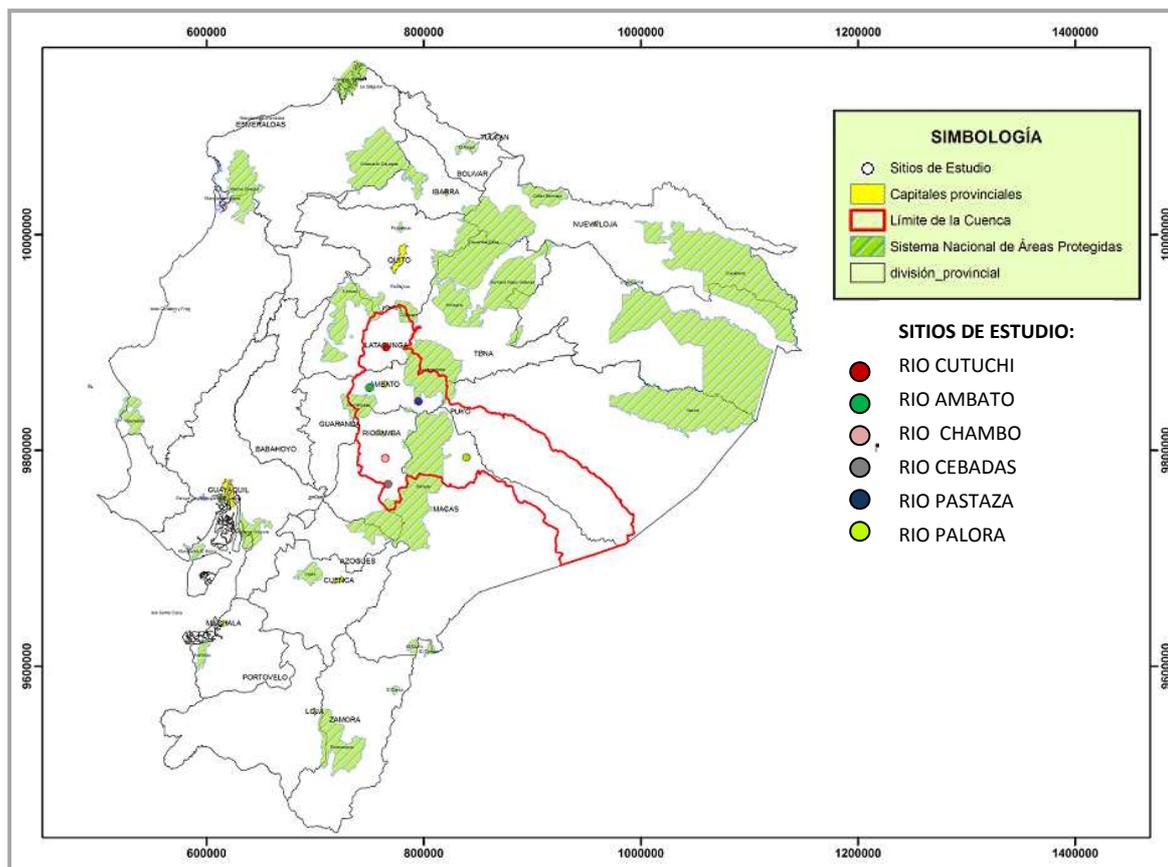
En la figura 3.4 se puede apreciar que los sitios de estudio se encuentran dispersos en toda la cuenca hidrográfica, en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Morona Santiago.

En los numerales siguientes se hace referencia a los sitios de estudio seleccionados y se presenta datos técnicos de los proyectos de aprovechamiento de agua que motivaron su selección.

3.2.2.1. Río Cutuchi

El sitio seleccionado sobre este río se relaciona con el proyecto de riego Latacunga - Salcedo - Ambato, en la provincia de Cotopaxi, que por su envergadura a nivel regional e importante caudal que se toma del cauce natural (4,50 m³/s), es idóneo para evaluar el caudal ambiental. Las coordenadas del proyecto son: 9896000 S y 765700 E.

FIGURA 3.4: UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO SELECCIONADOS PARA LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA



FUENTE: Fundación Natura, 2009. Modificado

3.2.2.1.1. Proyecto de riego Latacunga - Salcedo - Ambato (LSA)

Este sistema fue construido por el ex-Instituto Nacional de Riego (INERHI) y satisface las necesidades de aproximadamente 13.000 usuarios y eficiencia total de 32,4%. La jurisdicción política de la zona de riego incluye a los cantones de Salcedo y Ambato, correspondientes a las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, respectivamente. El canal tiene una longitud de 37 km con 46 tomas directas, una red secundaria de aproximadamente 236 km con 210 cajas de distribución, y una red terciaria de 100 km que incluye 40 km por tubería. El área total del sistema de riego es de 8.400 ha, de estas son regables 7.400 ha, y totalmente regadas 6.528 ha, correspondiendo el 80% para Cotopaxi y el resto para Tungurahua (Muñoz y Almeida, 2008).

Este sistema de riego posee dos bocatoma, la primera ubicada sobre el río Cutuchi, y la otra sobre el río Pumacunchi; siendo de nuestro interés de estudio, la ubicada sobre el río Cutuchi. La cota de captación es 2.733 msnm con una bocatoma convencional, es decir, sin desarenador. Del río Cutuchi se captan 4 m³/s, y los restantes 0,5 m³/s del río Pumacunchi. En 1987 inició este proyecto sus operaciones, y la fecha de inicio de la concesión fue el 10 de Junio de 1999 (SENAGUA, 2009; Muñoz y Almeida, 2008).

3.2.2.2. Río Ambato

Al igual que en el río Cutuchi, se seleccionó un tramo del río Ambato que correspondía a un proyecto de riego de envergadura, como el proyecto Ambato - Huachi - Pelileo, ubicado a 2.930 msnm, en las coordenadas 9858300 S y 750400 E.

3.2.2.2.1. Proyecto de riego Ambato - Huachi - Pelileo (AHP)

Este sistema de riego, construido por el Ex INERHI, entró en operación en 1990 para beneficiar a varias parroquias de la provincia de Tungurahua, abarcando, entre otras, Montalvo, Cevallos, Benítez y Salasaca. En la actualidad atiende a 9.750 familias, y cuenta con un área total de 8.000 ha, de las que 6.000 son regables, y 5.378 regadas (Muñoz y Almeida, 2008).

La bocatoma se ubica sobre el río Ambato, a 2.940 msnm, captando 3,06 m³/s. El agua captada es llevada por 11,90 km de túneles hasta la quebrada Terremoto, y desde allí por 39 km de canal abierto, revestido, embaulado y con sifones. Se estima alrededor de 440 km de red secundaria y 1000 km de red terciaria. El proyecto inició sus operaciones en diciembre de 1991 y la concesión de caudal se realizó el 21 de mayo de 1998 (SENAGUA, 2009; Muñoz y Almeida, 2008).

3.2.2.3. Río Cebadas

A diferencia de los dos sitios anteriores, en el río Cebadas ubicado en la provincia de Chimborazo, se seleccionó un lugar con buen estado de conservación situado en las coordenadas UTM 9768734 S y 767446 E (zona 17) y a 3.262 msnm, aproximadamente a 500 m de la unión de los ríos Atillo y Yasipán que lo originan. La selección de este sitio se basó en que este lugar es de cabecera cuya protección asegura el abastecimiento de agua de calidad para diversos usos.

3.2.2.4. Río Chambo

Sobre este río, se escogió el sitio ubicado aguas abajo del Proyecto Chambo Desarrollo Agrícola, que según representantes de la Agencia de Aguas de Riobamba este proyecto no satisface la demanda principalmente para riego, por lo que, los usuarios han presentado una solicitud de incremento del caudal concesionado.

3.2.2.4.1. Proyecto Chambo Desarrollo Agrícola (CDA)

La construcción de este proyecto fue iniciada por la ex-Caja Nacional de Riego, y concluida por el ex-INNERHI, y que actualmente se encuentra administrado por el Instituto Nacional de Riego (INAR). La captación del agua se realiza en el río Chambo en la cota 2.800 msnm, deriva del cauce 5 m³/s y presta servicio a 11.245 usuarios, para un área bruta de riego de 7.000 ha, de las cuales son regables y regadas 5.662 ha. En la actualidad, los usuarios han apelado la ampliación de la concesión a 5,8 m³/s. (Romero, 2009; SENAGUA, 2009; Muñoz y Almeida, 2008). La zona de riego abarca las parroquias de Punin, San Luis, San Gerardo y Cubijes, del cantón Riobamba, provincia Chimborazo (Muñoz y Almeida, 2008). El canal principal del proyecto tiene una longitud de 53 km, de los cuales 21 km son revestidos, 21 km túneles y 0,15 km embaulados. Los canales secundarios tienen una longitud de 146 km, de los cuales, 10,90 km corresponde a tuberías y 15 km a canales revestidos. Los canales terciarios tienen una longitud de 30,50 km de los cuales son revestidos 8 km (Muñoz y Almeida, 2008).

FOTO 3.1: VISTA PANORÁMICA DEL PROYECTO CHAMBO DESARROLLO AGRÍCOLA. JULIO 2009



3.2.2.5. Río Pastaza

En el río Pastaza, se reconoce la necesidad de estimar caudales ambientales en el tramo inmediato a la presa Agoyán, perteneciente a uno de los proyectos hidroeléctricos más grandes del país, la Central de Agoyán.

3.2.2.5.1. Central hidroeléctrica Agoyán

La central hidroeléctrica Agoyán, que inició sus operaciones en 1987, se localiza a 5 km al este de la ciudad de Baños, en las coordenadas 791179 E, 9845323 S. HIDROAGOYÁN S.A. es la compañía encargada de la generación de energía eléctrica en la Central, cuya producción media anual es de 1,08 GWH. Se alimenta de las aguas represadas por la presa Agoyán que embalsa un nivel máximo de altitud 1.651 msnm (HIDROAGOYÁN, 2009; Moreno, 2008).

La presa Agoyán está conformada por dos desagües de fondo para limpieza de sedimentos y vaciado cuya capacidad máxima de desfogue es de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, tres vertederos de excesos, un estanque desarenador, un desagüe de fondo del desarenador, un túnel de carga capaz de conducir un caudal de $120 \text{ m}^3/\text{s}$, y una tubería de presión subterránea (HIDROAGOYÁN, 2009).

Según Moreno (2008), considerando el caudal concesionado a HIDROAGOYÁN ($116,5 \text{ m}^3/\text{s}$) en 25 de septiembre del 2000, e información hidrológica, se deduce que aguas abajo de la presa el río se mantiene seco dos veces por año: de enero a marzo y de septiembre a diciembre; y solo de abril a agosto, hay desfogues.

3.2.2.6. Río Palora

La foto 3.2, ofrece una vista panorámica del río Palora cerca del poblado Arapicos.

FOTO 3.2: VISTA PANORÁMICA DEL RÍO PALORA – PROVINCIA MORONA SANTIAGO. JULIO 2009



Dado que no se registran concesiones, el río Palora se considera prístino; éste es un río de uso ancestral para asentamientos humanos locales. Sobre su biodiversidad se conoce muy poco; además, por sus condiciones de conservación, algunos expertos opinan que podría ser objeto de investigación para comprender la dinámica de ríos similares; siendo estas las razones para ser incluido en la lista de sitios de investigación.

3.3. RECOPIACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

3.3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

3.3.1.1. Generalidades

El trabajo de campo del panel de expertos se llevó a cabo en julio de 2009. La tabla 3.4 presenta las coordenadas específicas de los sitios seleccionados. Adicionalmente, información hidráulica fue recogida los días 30 y 31 de octubre de 2009 en los sitios 1 y 3.

TABLA 3.4: CRONOGRAMA DE VISITAS DE CAMPO Y LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIOS

<i>Sitio</i>	<i>Provincia</i>	<i>Río</i>	<i>Descripción</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Altitud msnm</i>
1	Cotopaxi	Cutuchi	AA del proyecto LSA	9895750	765431	2.752
			aa del proyecto LSA	9895589	765473	2.743
2	Tungurahua	Ambato	AA del proyecto AHP	9858273	749937	2.860
			aa del proyecto AHP	9857967	749983	2.850
3	Chimborazo	Cebadas	A 500 m aprox. de la unión de los ríos Yasipán y Atillo	9768734	767446	3.262
4	Chimborazo	Chambo	AA del proyecto CDA	9792716	764440	2.860
			aa del proyecto CDA	9792936	764895	2.839
5	Tungurahua	Pastaza	Estación hidrológica H800	9845781	786720	1.747
		Pastaza	Ventana 1 de la presa Agoyán.	9845572	794993	1.497
6	Morona Santiago	Palora	Cerca del poblado Arapicos	9793544	171841	874

AA: aguas arriba
aa: aguas abajo

3.3.1.2. Descripción del trabajo de campo llevado a cabo por cada componente

3.3.1.2.1. Componente Hidrológico - Hidráulico

Los métodos de aforo empleados en la salida de campo fueron: el de área-velocidad y aforo sobre un vertedero.

De acuerdo a las características físicas, accesibilidad, y a un consenso con el componente biológico, se seleccionó el sector del río y el tipo de aforo posible; los datos obtenidos en campo fueron: perfiles de las secciones transversales, fotografías de las riveras de los ríos, y velocidades medias en varias verticales.

Debido a la peligrosidad de las corrientes, no en todos los sitios fue posible ejecutar los aforos, pero se realizó estimaciones visuales del ancho de las corrientes y mediante el uso de flotadores se calculó la velocidad media del cauce. Además, ninguna sección escogida contaba con un puente cercano, que facilite el aforo con seguridad.

En el río Cutuchi, las condiciones de aforo fueron muy críticas y peligrosas desde el punto de vista de salud pública, porque recibe descargas de aguas servidas de diferente origen, razón por la cual fue indispensable utilizar equipo de protección personal para ingresar al río (botas, guantes, etc.) que permitió disminuir el riesgo de contagio de patógenos existentes en el agua en este sitio. Se realizó un aforo aguas arriba de la bocatoma del proyecto a una distancia aproximada de 60 m y otro aforo aguas abajo aproximadamente a 40 m del vertedero de excesos de la bocatoma del Canal Latacunga - Salcedo - Ambato, como se muestra en la foto 3.3.

En el río Ambato se aforó a 20 m aguas abajo del vertedero de exceso del proyecto AHP. Durante, el día de visita al sitio, estuvo realizándose actividades de mantenimiento y limpieza y toda el agua circulaba sobre el vertedero. No se escogió otro sitio de aforo, por cuanto aguas arriba y aguas abajo del proyecto, el río se tornaba rápido y profundo y por ende, su aforo a pie no fue posible. En este

mismo río en el proyecto de riego Darquea -Tilulum, ubicado aguas abajo del AHP, se realizó mediciones en el vertedero para determinar el caudal que circulaba sobre él.

FOTO 3.3: AFORO AGUAS ABAJO DE LA BOCATOMA DEL PROYECTO DE RIEGO DE LATACUNGA - SALCEDO - AMBATO. JULIO 2009



En el sitio escogido en el río Cebadas, dados los riesgos que implicaba un aforo a pie para los operadores en un río que se torna profundo y correntoso en el mes de julio, se realizó el aforo con flotador. Se aforó en un único sitio, considerando que este río es de referencia, a aproximadamente 500 metros abajo de la confluencia de los ríos Atillo y Yasipán.

En el río Chambo, aguas arribas de la bocatoma del proyecto CDA, se aforó una sección transversal conformada por dos ramales, y se dimensionó y midió la velocidad con molinete en el canal de captación del proyecto.

En el río Pastaza antes de la presa no se llevó a cabo ningún aforo ni levantamiento de la sección transversal por la peligrosidad que implicaba hacerlo a pie. Sin embargo, el día de la visita a la Central de Generación Hidroeléctrica

del Proyecto Agoyán, el 24 de julio del 2009, los técnicos manifestaron que en ese momento se estaban utilizando 120 m³/s para generación y que el caudal sobre el vertedero de excesos abierto en ese mismo momento era de 38 m³/s.

En el río Palora, debido a su estructura de varios brazos separados por islotes y gran caudal, no se efectuó un aforo o levantamiento de secciones transversales.

En octubre del 2009, tomando ventaja de un mes poco lluvioso, se logró levantar secciones transversales en los ríos Cutuchi y Chambo que vayan más allá del espejo de agua y abarquen las planicies de inundación en cada sitio. La recolección de datos de la sección correspondiente al río Ambato fue hecha por técnicos de la Agencia de Aguas Ambato en septiembre del 2009. Por razones de seguridad no se levantaron secciones en lo demás ríos.

3.3.1.2.2. Componente Biológico

Para evaluar los efectos sobre la integridad y funcionalidad de los ecosistemas, cuando se produce una reducción del caudal, Encalada (2009b) sugirió la toma de datos aguas arriba y aguas abajo de los proyectos de aprovechamiento.

El trabajo de campo consistió en tomar muestras de macroinvertebrados acuáticos, registrar parámetros físicos-químicos: pH, conductividad y oxígeno disuelto, y parámetros cualitativos para calcular el Índice de Hábitat de Rivera (IHF) y el Índice de la Vegetación Rivereña (QBR), por sus siglas en inglés, respectivamente.

El IHF valora aspectos físicos del cauce relacionados con la heterogeneidad de hábitats y depende en gran medida de la hidrología y del sustrato existente (Pardo et al., 2002). El QBR cuantifica la calidad de los sistemas rivereños. El IHF y QBR, reciben valores entre 0 y 100 puntos; el máximo valor representa excelente hábitat fluvial y vegetación de la ribera, respectivamente. Por la imposibilidad de recoger muestras de sustrato en un río muy caudaloso como el Pastaza (Q medio = 116,20 m³/s), no se muestrearon macroinvertebrados en este sitio.

Para el muestreo de macroinvertebrados Encalada (2009) utilizó una malla Surber, tomando 4 muestras de sustrato por sitio. La foto 3.4 presenta actividades en campo para la separación de macroinvertebrados de las muestras de sustrato.

FOTO 3.4: TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS EN CAMPO. JULIO 2009



Para el muestreo ictiológico, Rivadeneira (2009) empleó una red de arrastre de 3 x 1,50 m y redes de mano. Los especímenes colectados fueron fotografiados y devueltos a su hábitat.

3.3.1.2.3. Componente socioeconómico

El trabajo de campo llevado a cabo por Realpe (2009), consistió en registrar actividades económicas existentes en los sitios seleccionados y sus áreas de influencia, así como llenar encuestas dirigidas a reconocer los usos del agua y conflictos sociales de aprovechamiento del recurso hídrico.

3.3.1.2.4. Componente usos recreativos

Con el fin de identificar los usos recreativos existentes y potenciales, Terry (2009) realizó recorridos en kayak a lo largo de algunos ríos y recopiló información en centros de información turística. Los tramos de ríos recorridos se describen en la tabla 2.5; el río Cutuchi por su baja calidad del agua limitó un recorrido en kayak.

TABLA 3.5: DESCRIPCIÓN DEL TRAYECTO RECORRIDO EN KAYAC EN LOS RÍOS DE ESTUDIO POR EL EXPERTO EN USOS RECREATIVOS

Río	Trayecto
Ambato	Desde la bocatoma del proyecto AHP hasta la bocatoma del canal Darquea – Tilulum (distancia aproximada: 20 km)
Cebadas	Desde la unión de los ríos Yasipán y Atillo hasta el poblado de Cebadas
Chambo	Desde la bocatoma del Proyecto CDA hasta el puente de la central Alao
Palora	Desde las cercanías del poblado Arapicos hasta la unión con el río Pastaza

3.3.1.2.5. Componente gestión del agua

Durante las jornadas de campo, los técnicos de las Agencias de Agua de Latacunga, Riobamba y Ambato, guiaron y acompañaron al grupo de expertos, apoyando con personal, transporte y equipos en cada una de sus jurisdicciones.

3.3.2. SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

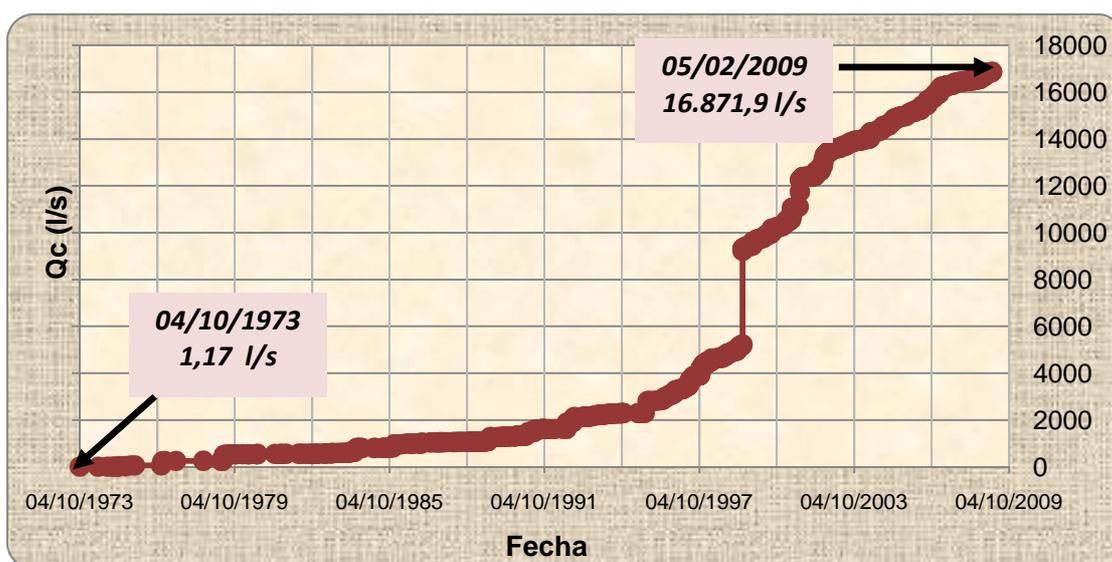
3.3.2.1. Componente Hidrológico - Hidráulico

3.3.2.1.1. Caracterización hidrológica

Con el objetivo de definir las estaciones con los períodos de información más largos, se inició el análisis evaluando la información hidrológica de cada una de

las estaciones cercanas a cada sitio de estudio. También, con el fin de ser más precisos en la estimación de caudales no regulados, se buscó disponer de más de una estación para cada sitio, pero el desfase en el período de información fue el limitante. La disponibilidad de una fecha de inicio para cada una de las concesiones, permitió establecer una distribución temporal de los caudales concesionados, como se presenta en la figura 3.5, para el procedimiento explicado, aquellos usos calificados como no consuntivos, por su naturaleza, son despreciados. La variación del caudal concesionado (Q_c) de los restantes sitios se presenta en la figura 3.6.

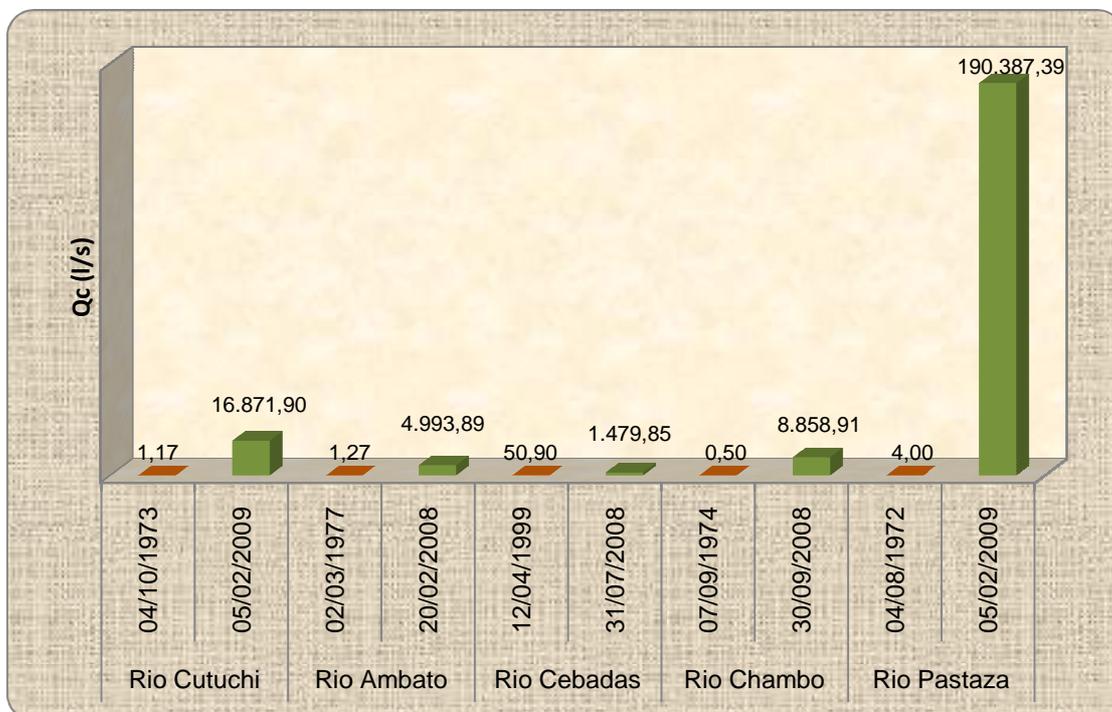
FIGURA 3.5: DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS CONCESIONES DE CAUDAL EN EL AREA DE DRENAJE DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI



Q_c = caudal concesionado

Para estimar los caudales no regulados y a condiciones naturales en cada sitio de estudio, se siguió los siguientes pasos: (1) a los caudales medios diarios de la estación hidrológica se les sumó los caudales concesionados aguas arriba de la estación, y (2) a esta suma se multiplicó por la relación de áreas (A_s/A_e) calculada mediante el programa ArcGis 9.2. Para estimar los caudales modificados a los resultados del paso 2 se restó los caudales concesionados en el área de drenaje del sitio de estudio. Además, se definió el inicio del año hidrológico.

FIGURA 3.6: VARIACIÓN DEL CAUDAL CONCESIONADO DESDE LA DÉCADA DE LOS 70 HASTA LA ÚLTIMA CONCESIÓN



La tabla 3.6 muestra las estaciones hidrológicas, el período de información y el año hidrológico, en las que se basó el procesamiento hidrológico; se puede apreciar que el período de datos continuos más largo corresponde al río Pastaza, con 26 años; además tanto para el río Cebadas como para el río Chambo se parte de la estación H790; pese a que se disponía de información de la estación H826 en el río Chambo, se escogió la ubicada en el río Cebadas porque disponía de un periodo más largo de información e incluso es la más cercana al proyecto Chambo Desarrollo Agrícola, comprobándose previamente que existía una correlación R^2 de 0,53 entre las estaciones hidrológicas H826 y H790. De manera similar, pese a la existencia de la estación H801: Ambato en Ambato, se eligió la estación ubicada sobre el río Calama (un afluente del río Ambato), ya que está ofrecía un período de información más largo y reciente, a diferencia de la estación H801 que únicamente proporcionaba un período de información continuo entre 1982 y 1989, y no presenta registros de los últimos por estar fuera de operación dada su ubicación en un tramo de río seco la mayor parte del año. Existe una correlación R^2 de 0,842 entre la estación H764 y H801 que justifica la utilización

de la estación ubicada sobre el río Calamaca. Por último, para el río Palora no se contó con una estación hidrológica cercana, razón por la cual no se realizó el respectivo análisis hidrológico para este sitio

Los resultados del procesamiento estadístico de la información hidrológica para cada sitio, con excepción del correspondiente al río Palora, incluyen: (1) los hidrogramas anuales para condiciones naturales y modificadas de caudal, para un año típico seco, promedio y húmedo y (2) las curvas de duración genera, tanto para condiciones naturales y modificadas del caudal.

Se hizo uso del programa IHA para analizar los cambios hidrológicos introducidos por las concesiones de caudal. En primera instancia, se ingresó en formato .csv (delimitado por comas) los caudales medios diarios; posteriormente, para cada condición se estimó: (1) los parámetros IHA del grupo # 2 llevando a cabo un análisis paramétrico atendiendo a la recomendación del manual del software, el cual señala que los mínimos y máximos 3, 7, 30 y 90 días se toman como promedios móviles y estos deben ser siempre calculados como media y (2) 26 parámetros EFC determinados aplicando un análisis no-paramétrico, con excepción de la frecuencia de caudales que se calculó utilizando estadísticas paramétricas.

3.3.2.1.2. Caracterización hidráulica

A partir de la información recogida en campo se determinaron las siguientes variables: ancho del espejo de agua, rango de velocidades medias, caudales de circulación, coeficiente de rugosidad o de Manning y secciones transversales. El cálculo de las tres primeras variables requirió únicamente de la interpretación de definiciones y datos de campo; la estimación de los caudales aforados se basó en el tipo de aforo; el coeficiente de Manning en comparaciones fotográficas (French, 1985); y las secciones transversales se editaron en el software FLOWMASTER, escogiéndose el método de Manning y una sección irregular.

TABLA 3.6: CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS-HIDRÁULICAS, RECREACIONALES Y SOCIOECONÓMICAS DE LOS SEIS SITIOS DE ESTUDIO

<i>Componente</i>	<i>Característica</i>	<i>Río Cutuchi</i>	<i>Río Ambato</i>	<i>Río Cebadas</i>	<i>Río Chambo</i>	<i>Río Pastaza</i>	<i>Río Palora</i>
Hidrológico - Hidráulico	Nombre estación hidrológica	H792: Cutuchi aj Yanayacu	H764: Calamaca aj Q. Huaracusacha	H790: Cebadas aj Guamote	H790: Cebadas aj Guamote	-Agoyán en Agoyán -H800: Pastaza en Baños	
	Período de información	1990 - 2001	1997 - 2007	1994 - 2007	1994 - 2007	1982 - 2007	
	Año hidrológico	Febrero - Enero	Abril - Marzo	Abril - Marzo	Abril - Marzo	Febrero - Enero	
	Coeficiente de Manning	0,045	0,065	0,053 - 0,079	0,065	0,053 - 0,079	0,065
	Pendiente del terreno	0,0093 (m/m)	0,0109 (m/m)	0,02043(m/m)			
	Rango de la elevación de la sección transversal	2.753,55 - 2.755,00 (msnm)	2.858,10 - 2.860 (msnm)	3.260,44 - 3.262 (msnm)			
	Longitud de la sección transversal	23 (m)	26,2 (m)	43 (m)			
Usos recreativos	Usos Potenciales	Revegetación de la rivera con especies nativas con el fin de implementar senderos ecológicos	A la ya existente vía ecológica, implementar miradores y accesos al río Ambato				
Socio-económico	Características socio-económicas y conflictos por el uso de agua	819.072 m ³ al mes de aguas residuales vertidas por la población de Latacunga	-Alta demanda para riego de cultivos -Desde los 2.800 msnm inicia los problemas de contaminación, antes de esta cota pesca deportiva de trucha	- Uso del agua para pesca deportiva - Uso de agua de vertiente para consumo humano -No existen conflictos entre los usuarios	-Problemas en el sistema de riego Chambo: distribución no equitativa, suspensión del servicio, técnica de riego inadecuado -Competencia por el uso de agua	-Preocupación por la contaminación represada en Agoyán -Pérdida de vertientes por la construcción de la hidroeléctrica San Francisco -Pérdida del valor estético y turístico de la cascada Agoyán	-Ingreso/día= 7 USD -Proyectos para construir cabañas y prestar servicios turísticos -Práctica de pesca deportiva

FUENTE: Autor, Terry, 2009b, Realpe, 2009

3.3.2.2. Componente Biológico

Rivadeneira (2009b) comparó los registros fotográficos recogidos en campo con los ya existentes. Algunas de la especies fueron identificadas haciendo uso de la experiencia del consultor en la disciplina de ictiología. Encalada (2009b) identificó los macroinvertebrados muestreados hasta el nivel de género, en los mejores casos, y determinó la riqueza de los grupos taxonómicos para los seis sitios. Resultados sobre calidad de agua y macroinvertebrados por la ecóloga, se presentan en el Anexo 2.

3.3.2.3. Componente socioeconómico

Realpe (2009), sistematiza la información basándose en encuestas realizadas y reportes técnicos disponibles en organizaciones e instituciones públicas y privadas para los sitios de estudio.

3.3.2.4. Componente usos recreativos

Una vez realizado un reconocimiento de campo, el siguiente paso fue evaluar las posibles alternativas de usos recreativos. La tabla 3.6 resume los potenciales recreacionales de los sitios de estudio de los ríos

3.3.2.5. Componente gestión del agua

Las instituciones administradoras del agua cumplieron el papel de proveedoras de asistencia de información de concesiones de caudal y validación de resultados de las tendencias hidrológicas. La lista de concesiones, reveló que desde que entró en vigencia la actual Ley de Aguas en 1972, se puede apreciar el incremento abrupto de concesiones en las áreas de drenaje de los sitios de interés, como se muestra en la figura 3.6 definición de las categorías de estado y manejo ambiental.

3.4. DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL

Se escogió la categorización Sudafricana de EA y MA porque requiere únicamente del criterio de un grupo multidisciplinario y no se basa en una laboriosa valoración numérica. Se determina estas categorías para un tramo no mayor a 10 m, justo después de las infraestructuras civiles o en el sitio único, según sea el caso. No se hizo una evaluación de todo el río porque se reconoció que en su trayecto sus condiciones hidrológicas, biológicas, de calidad, y demanda de agua, varían; en consecuencia tanto el EA como la categoría de MA, también varían a lo largo de su curso.

Inicialmente cada experto propuso las categorías de estado y manejo ambiental, la tendencia de cambio y la sensibilidad y/o importancia, desde la perspectiva de su componente para cada sitio. A modo de ejemplo, para entender la dinámica de la metodología, si el EA es bajo (C o D), la tendencia es negativa pero la importancia es alta, la CMA a proponerse será superior a la actual (B). También puede ocurrir que el EA es alto o bueno (A o B), en este caso la pretensión será mantener ese estado. Al final en consenso, el panel de expertos planteó resultados globales de las categorías de EA y MA, tendencia de cambio, e importancia y/o sensibilidad.

3.5. ESTIMACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES

3.5.1. RECEPCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CADA COMPONENTE

Cada componente (hidrológico, biológico, socio-económico, recreacional) requiere de varios parámetros, generalmente, profundidad y velocidad y en algunos casos de caudales específicos, para favorecer el mantenimiento de los servicios y bienes ambientales.

Así, el componente biológico dispone de la fenología de las especies y curvas de preferencias; esto es velocidad, profundidad o caudal óptimos para asegurar el desarrollo de cada etapa del ciclo de vida, de cada una de las especies.

El componente turístico, por otro lado, plantea necesidades de caudal, velocidad o profundidad para el desarrollo de diferentes actividades turísticas, por ejemplo rafting, canyoning, kayak, entre otros.

Los componentes socio-económico y de gestión velan por los caudales que se demandan para el desarrollo de las actividades económicas de la zona; por ejemplo, la agricultura exigirá la extracción de agua del cauce natural para riego; por el contrario, la navegación exigirá la conservación de los cauces de ríos.

El componente hidrológico-hidráulico, por su parte, es el encargado de recibir los requerimientos de los componentes biológico y usos recreativos, para determinar los caudales ambientales, y verificar la ocurrencia de éstos caudales acorde a análisis de los registros hidrológicos.

3.5.2. CALCULO DE LOS CAUDALES CON FLOWMASTER

Una vez iniciado el software del programa, se creó un nuevo proyecto, luego de guardarlo con un nombre, se elaboraron varias hojas de trabajo, una para cada sitio de interés. Para crear una hoja de trabajo se escogió una sección transversal, que para el caso de los ríos es irregular. El método de fricción seleccionado correspondió a la fórmula de Manning, difundida ampliamente en nuestro país. El siguiente paso, fue editar la sección transversal ingresando los datos de abscisa y elevación, y coeficiente de Manning recogidos en campo. Posteriormente, se calculó, a modo de ejemplo, caudales ingresando datos de pendiente y profundidad. La pendiente del terreno en los sitios de estudio se calculó dividiendo la longitud entre dos curvas de nivel por la diferencia de altura de ellas.

Por limitaciones de datos de entrada no se estimaron caudales ambientales; sin embargo, la metodología queda planteada. Las consideraciones para estimaciones de caudal ambiental, a tomarse en cuenta cuando se supere las limitaciones, son: (1) en algunos casos, para la ejecución del programa FLOWMASTER no se dispondrá de la profundidad preferida, por lo que se vuelve necesario sondear valores diferentes de profundidad para alcanzar la velocidad media del flujo dada como dato y (2) el caudal calculado para un componente se compara con los caudales requeridos por los otros componentes. De esta manera, los caudales ambientales mensuales se definen atendiendo las necesidades de todos los componentes en conjunto.

3.5.3. OCURRENCIA DE LOS CAUDALES

La ocurrencia de los caudales ambientales mensuales se evalúa según el porcentaje de tiempo en el cual es excedido o igualado, para lo cual se recurre a las curvas de duración general.

CAPÍTULO 4.

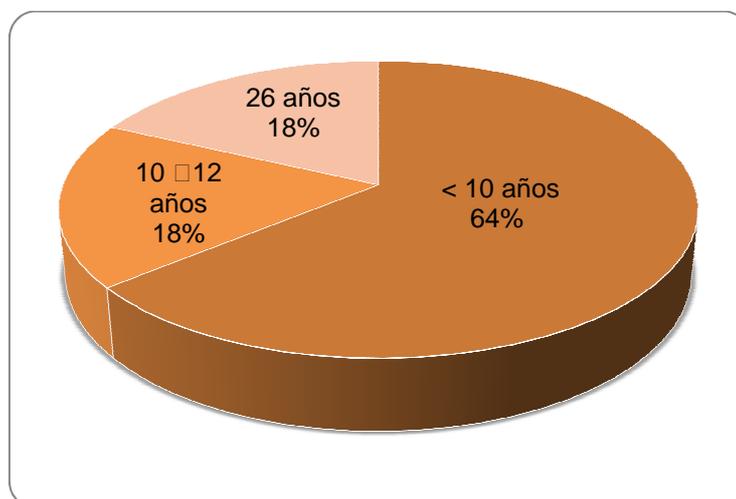
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Richter et al. (1997), señalan 20 años consecutivos de datos de caudal como requisito inicial para determinar la variabilidad climática del sitio de un estudio, pero como se muestra en la figura 4.1, de las estaciones disponibles se determinó que el 64% tienen registros continuos menores a 10 años, el 18% entre los 10 y 12 años y el 18% restante iguales a 26 años, sin embargo estos períodos, sin bien son continuos en términos de años, registran meses completos sin información.

Al no disponerse de una estación hidrológica cercana, para el río Palora no se realizó el análisis hidrológico, sin embargo por su ubicación se deduce que posee un régimen persistente muy húmedo.

FIGURA 4.1: PORCENTAJES DEL NÚMERO DE AÑOS CONTINUOS DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS DISPONIBLES PARA SU ANÁLISIS ESTADÍSTICO-HIDROLÓGICO EN ESTE PROYECTO



4.1.1. HIDROGRAMAS DE CAUDAL

Los tipos de años definidos para condiciones naturales y modificadas no coincidieron exactamente, como resultado de la alteración del régimen hidrológico. Existe, también, hidrogramas correspondientes a años húmedos con tendencias no-uniformes, debido a que el período de información era corto, y al definir años típicos se contaban con pocos años para obtener una media. Los porcentajes de reducción presentados en este numeral se calcularon promediando los porcentajes de reducción diarios en un año hidrológico.

4.1.1.1. Río Cutuchi

Para condiciones naturales, los años secos corresponden a los años hidrológicos de 1990 y 1992, los años promedios a 1991 y de 1993 - 1998, y los años húmedos a 1999 y 2000. La figura 4.2 presenta los años típicos: húmedo, promedio y seco, obtenidos a partir de la media de los años de cada tipo

Para condiciones modificadas de caudal, se define únicamente un año típico promedio y un año típico húmedo, cuyos hidrogramas se presentan en la figura 4.3 Los años promedios corresponde a los años hidrológicos de 1990 a 1996 y los años húmedos de 1997 al 2000.

Los hidrogramas muestran una tendencia de caudal con valores altos en el mes de abril y bajos en los meses de agosto y septiembre, por tanto en este sitio existe un régimen hidrológico pluvio-nival con preponderancia pluvial. Por otra parte, comparando los hidrogramas para condiciones naturales y modificadas de caudal, se determinó una reducción media del caudal de 52,2% para un año típico promedio y de 57,7% para un año típico húmedo.

FIGURA 4.2: HIDROGRAMAS DE CAUDAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO DE RIEGO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES NATURALES

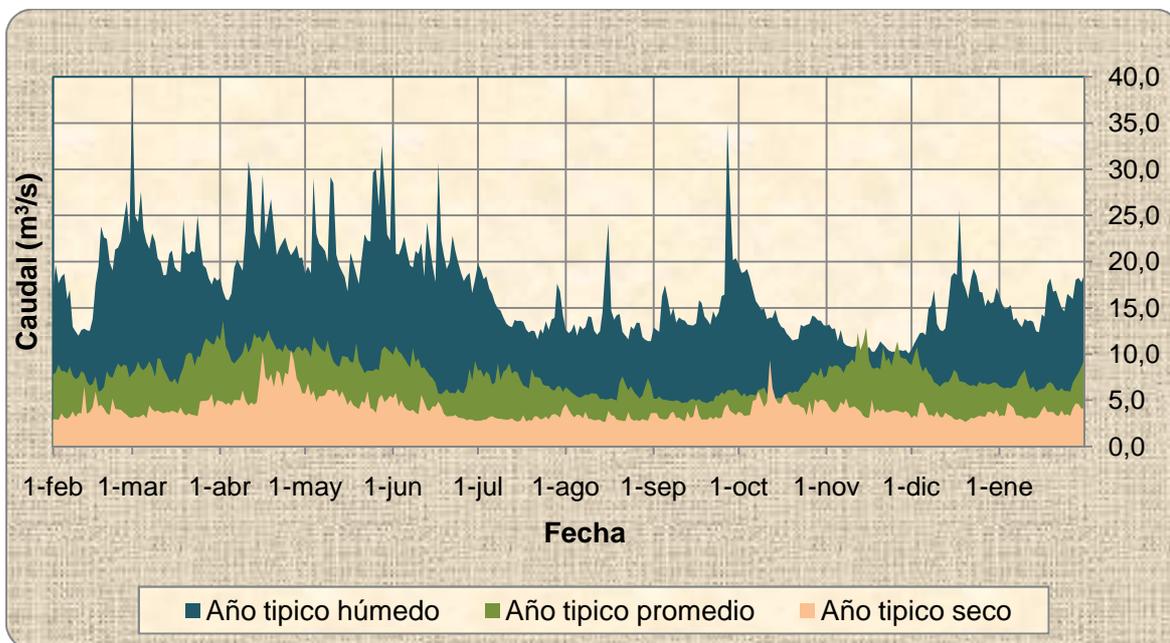
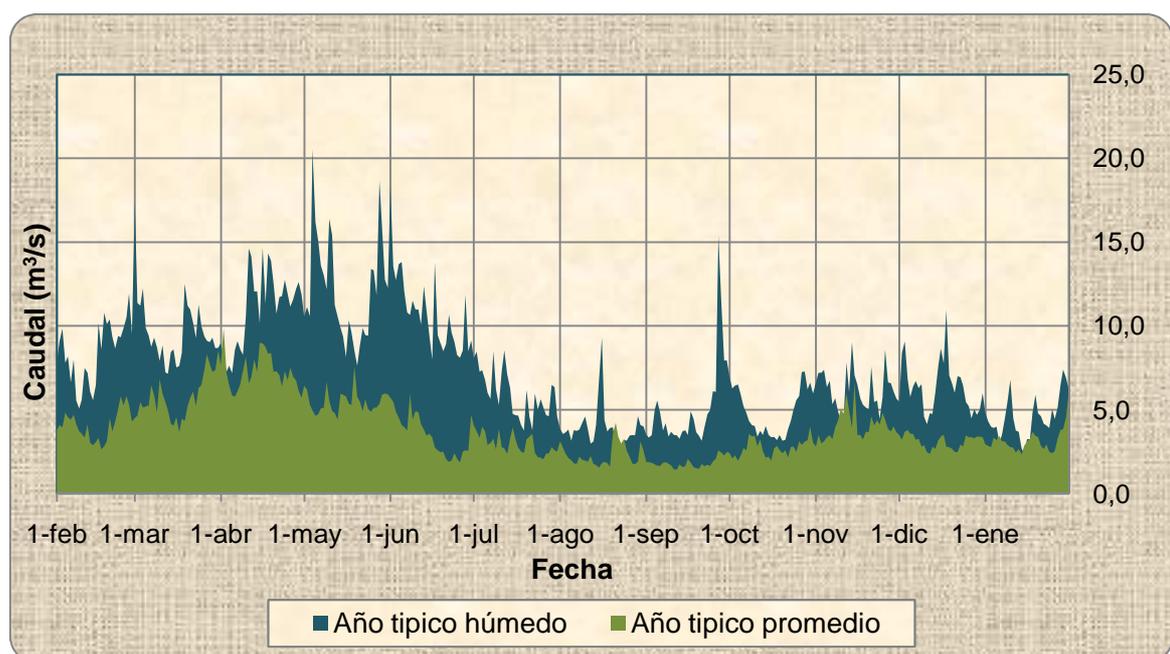


FIGURA 4.3: HIDROGRAMAS DE CAUDAL DESPUÉS DEL PROYECTO DE RIEGO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES MODIFICADAS



4.1.1.2. Río Ambato

Para condiciones naturales, los años húmedos conciernen a los años hidrológicos 1998 y 1999, y los promedios a 1997 y 2000 - 2006; para condiciones modificadas, los años húmedos corresponden de 1997 al 1999, y los años promedios del 2000 al 2006. El año hidrológico 1997, para condiciones modificadas, es calificado como húmedo, porque es el período de tiempo en el que aún legalmente la concesión de agua para el proyecto AHP no estaba vigente.

Según los años típicos promedios de los hidrogramas de las figuras 4.4 y 4.5, existe un período húmedo desde abril a agosto y un período de meses más secos desde septiembre a marzo, siendo los meses más caudalosos junio y julio. De acuerdo a esta distribución de caudales, el régimen hidrológico es de tipo pluvio-nival interandino, sometido a una influencia nival preponderante.

FIGURA 4.4: HIDROGRAMAS DE CAUDAL EN EL TRAMOS DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES

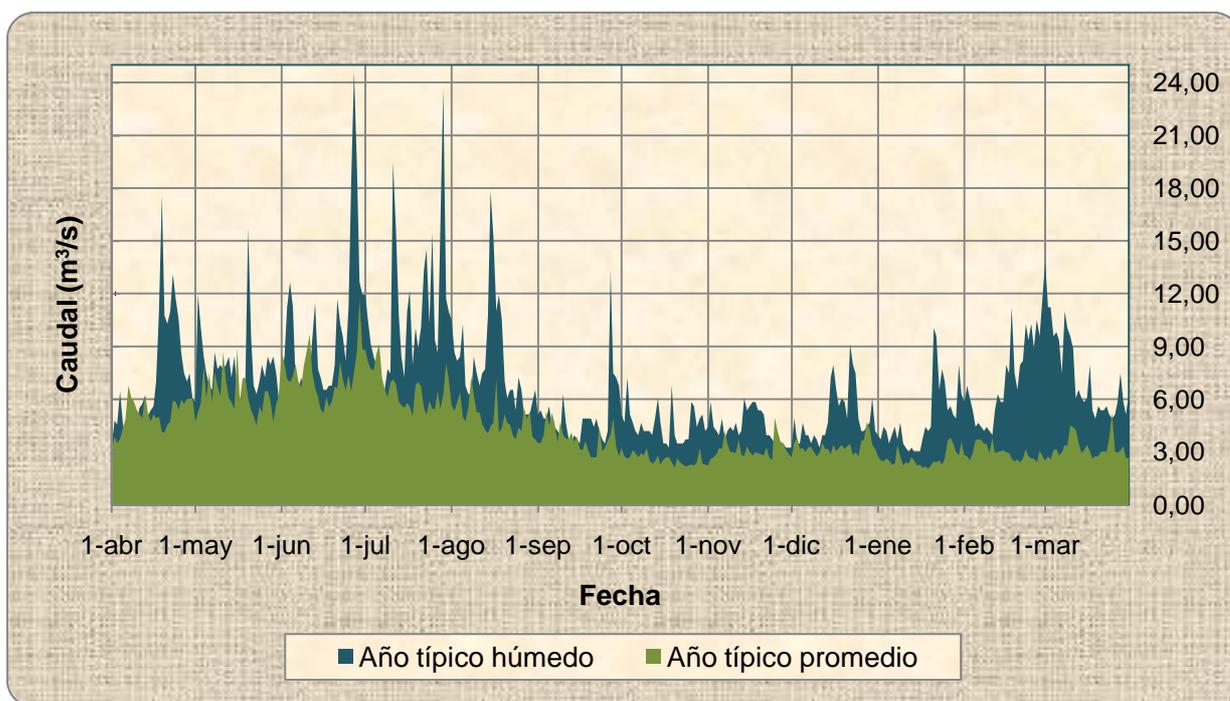


FIGURA 4.5: HIDROGRAMAS DE CAUDAL EN EL SECTOR DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, CONDICIONES MODIFICADAS

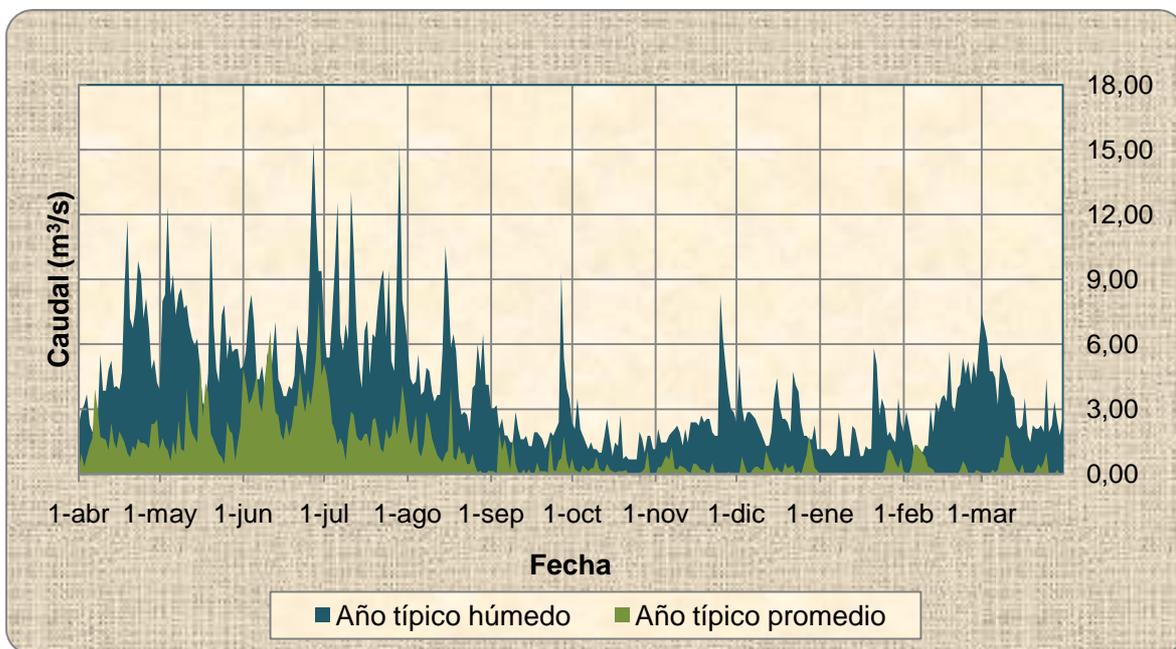


FOTO 4.1: RÍO AMBATO AGUAS ABAJO DEL PROYECTO AHP. NOV. 2009

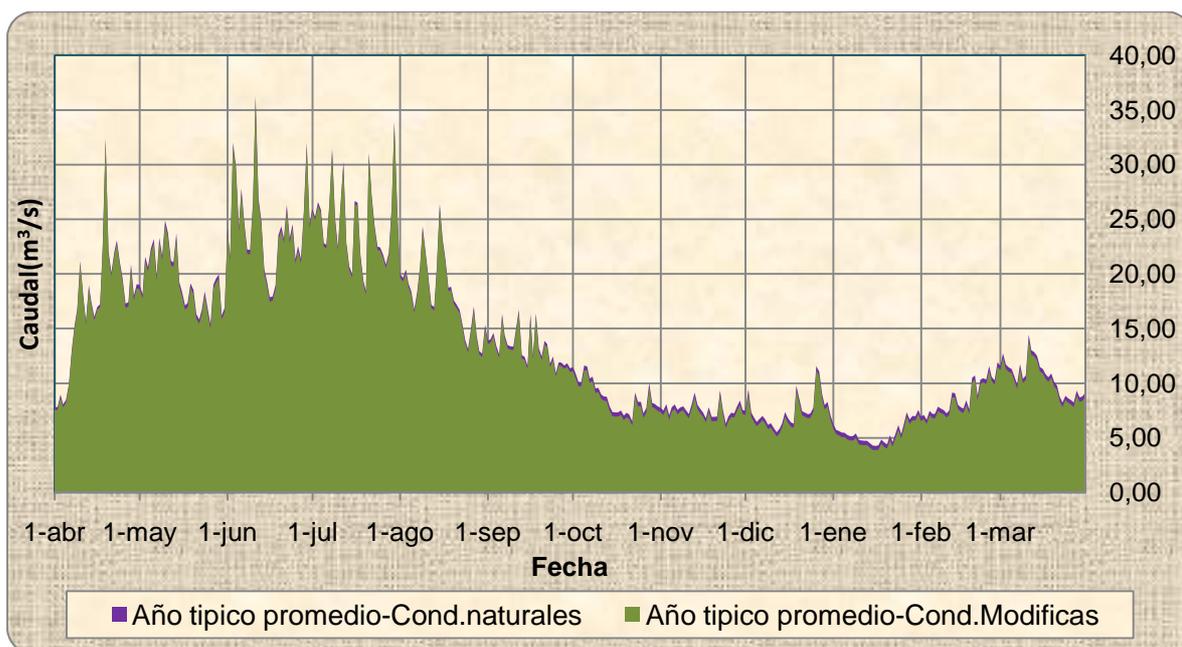


El hidrograma de un año típico promedio para condiciones modificadas, presentado en la figura 4.5, muestra que en el período de meses secos caudales extremadamente bajos, como se aprecia en la foto 4.1, incluso iguales a cero, se vuelven persistentes. Los caudales medios diarios se reducen en unos 81,4% dadas condiciones típicas promedio. La reducción de los caudales medios diarios es menor para condiciones típicas húmedas y en estas condiciones el descenso medio es igual a 48,1%.

4.1.1.3. Río Cebadas

Se definió un año húmedo y doce años promedios tanto para condiciones naturales como modificadas; el año húmedo corresponde al año hidrológico 1994. La figura 4.6 presenta los hidrogramas de un año típico promedio para condiciones naturales y modificadas de caudal; en esta figura, no se tipifica un año húmedo, porque se considera necesario más de un año para obtener un hidrograma representativo.

FIGURA 4.6: HIDROGRAMAS EN EL SITIO DE ESTUDIO - RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS



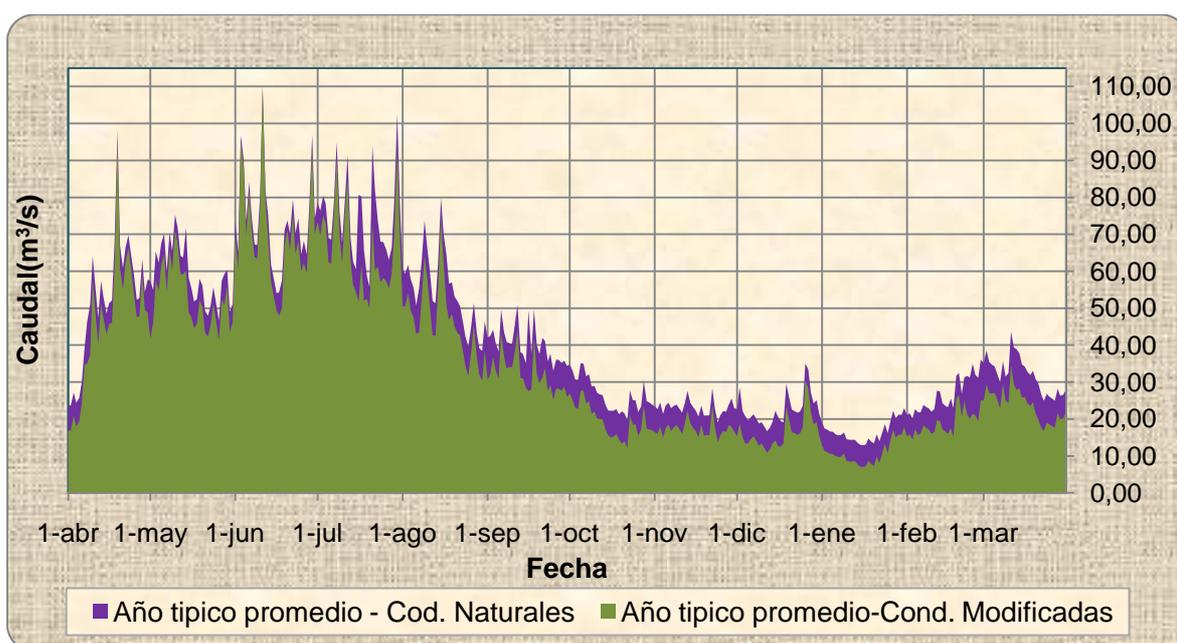
Los hidrogramas de un año típico promedio tanto para condiciones naturales como modificadas, prácticamente se superponen, esto sucede porque el caudal se ha reducido apenas un 3,5%, debido a la inexistencia de una demanda fuerte de agua. Como ejemplo, el caudal medio diario más alto para condiciones naturales y modificadas es 308,28 m³/s y 306,08 m³/s, en junio del 2007, respectivamente; y el caudal medio diario más bajo para condiciones naturales y modificadas es 1,52 m³/s y 1,42 m³/s, en febrero del 2004, respectivamente.

Los meses más húmedos son junio y julio; y el más seco enero por tanto posee un régimen pluvio-nival interandino sometido a la influencia del derretimiento de nieves y glaciares del Chimborazo.

4.1.1.4. Río Chambo

En la figura 4.7, se presenta la variabilidad de un año promedio y esta corresponde a un régimen pluvio-nival con una influencia predominante del régimen glacio-nival.

FIGURA 4.7: HIDROGRAMAS EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS



Los caudales medios diarios de un año hidrológico típico promedio se han reducido en 20,8% respecto a condiciones naturales. Al igual que el río Cebadas, los meses más húmedos son los meses de junio y julio, y el mes más seco es enero.

4.1.1.5. Río Pastaza

En la figura 4.8 se compara los hidrogramas determinados para condiciones naturales y condiciones modificadas justo después (D) de la presa Agoyán. En la figura 4.9 se comparan las modificaciones introducidas en la variabilidad hidrológica por concesiones antes (A) de la presa con aquellas introducidas complementariamente por la operación de la misma. Se puede apreciar en los hidrogramas, que el pico de caudales en los meses de junio - julio, ubica a este régimen entre los de tipo pluvio-nival interandino con influencia predominante del régimen glacio-nival.

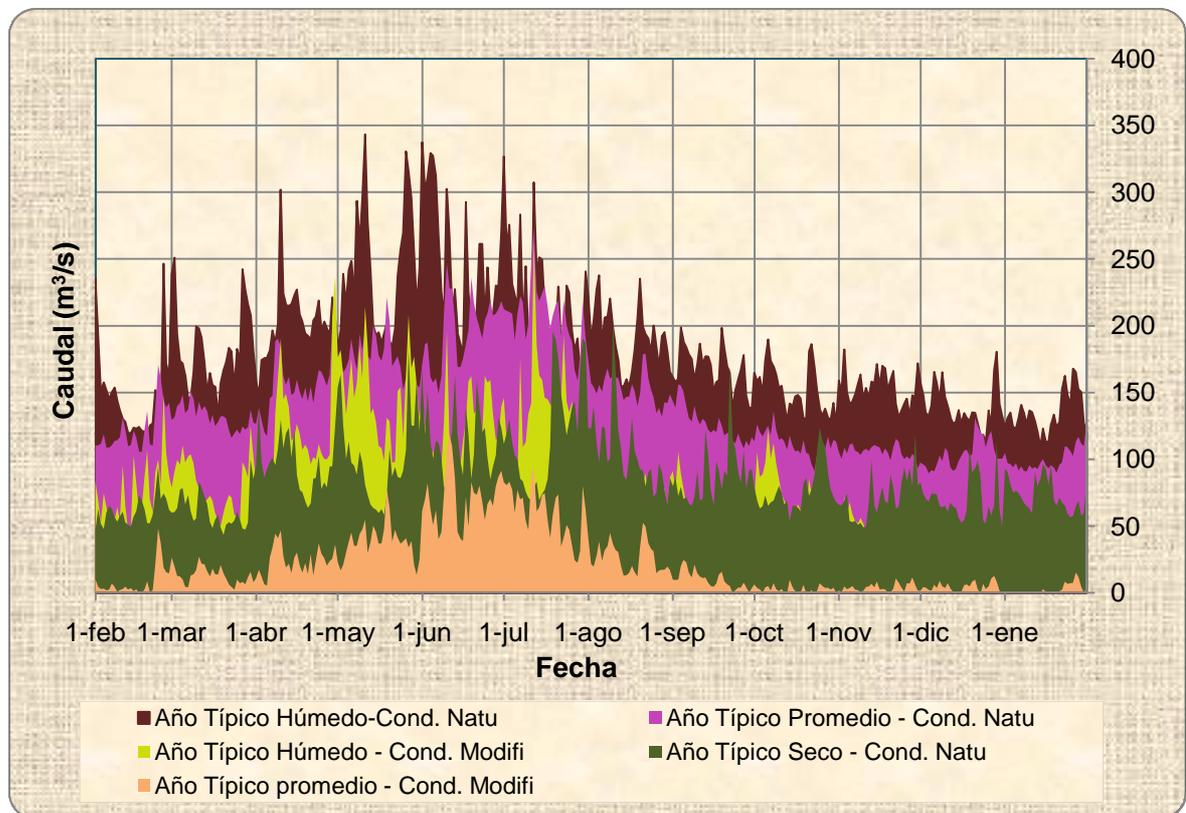
Para condiciones naturales, la media de los años 1982 y 1984 caracterizaron un año típico seco; los años 1983, 1985-1987, 1989-1999, 2001-2003, y 2005 un año típico promedio; y los años 1988, 2000, 2004, y 2006 un año típico húmedo. En condiciones modificadas después de la presa, únicamente se caracterizó la variabilidad de un año típico promedio y un húmedo. Para estas condiciones, los años promedios resultaron de 1989 a 2006, y años húmedos de 1982 a 1988. En condiciones modificadas antes de la presa años húmedos fueron 1986-1989, 1994, y 2000, y los restantes son años promedios.

En la figura 4.8, se puede apreciar que la presa Agoyán ha ocasionado que el río Pastaza este sometido a un período crítico (condiciones mínimas) en los meses de septiembre a febrero, incluso ha producido que el hidrograma de un año típico húmedo en condiciones modificadas se asemeje al hidrograma de un año típico seco en condiciones naturales.

Comparando los hidrogramas mostrados en la figura 4.8 y determinados para condiciones naturales y modificadas, después del sitio de interés, se ha estimado

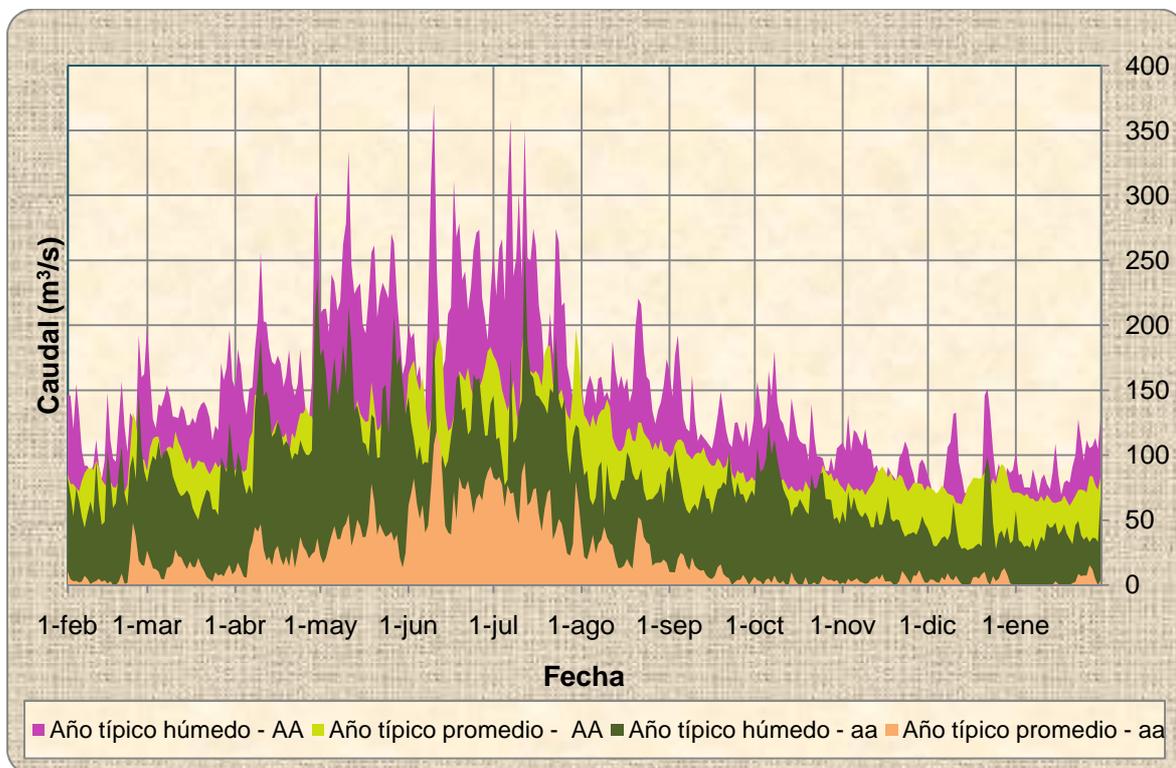
que el porcentaje medio de reducción de la magnitud de los caudales de un año típico promedio es 87,1% y la disminución de los caudales de un año típico húmedo es del 53,3%; mientras que reducciones medias de caudal del 25,4% y 17,9% para un año típico promedio y uno húmedo respectivamente se han calculado considerando modificaciones antes de la presa.

FIGURA 4.8: HIDROGRAMAS DE CAUDAL PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS DESPUÉS DE LA PRESA DE AGOYÁN



Por otra parte, comparando los hidrogramas bajo condiciones modificadas antes y después de la presa, mostrados en la figura 4.9, se ha estimado una disminución media de la magnitud de los caudales medios diarios para un año típico promedio del 83,1%, y para un año típico húmedo del 43,4%.

FIGURA 4.9: HIDROGRAMAS DE CAUDAL PARA CONDICIONES MODIFICADAS ANTES Y DESPUÉS DE LA PRESA DE AGOYÁN

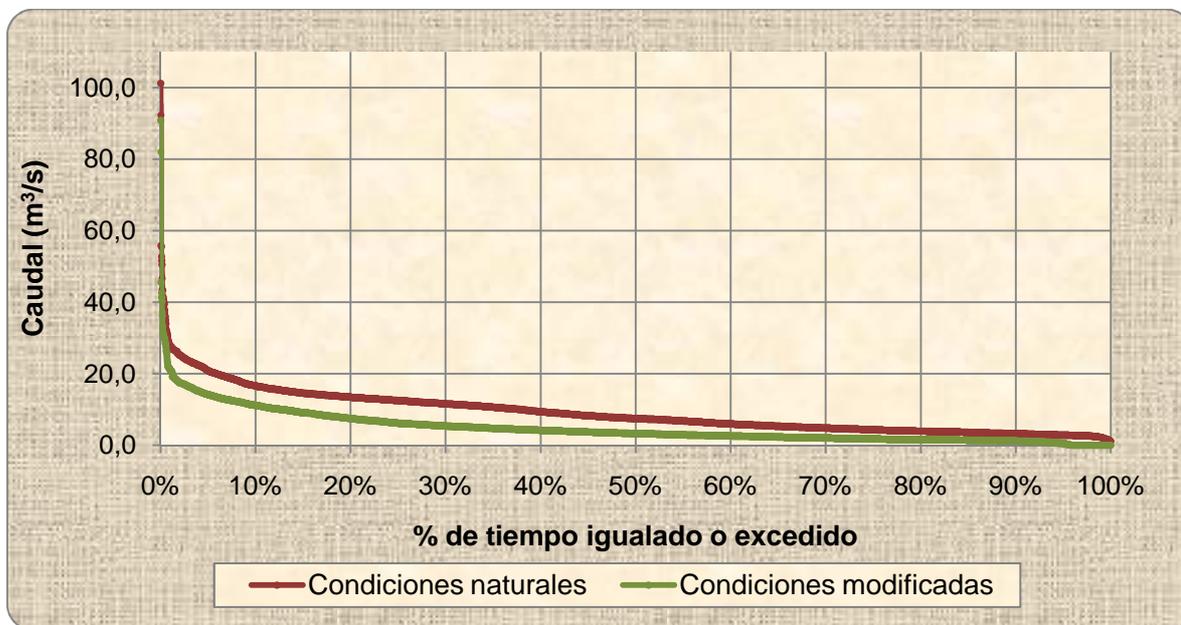


4.1.2. CURVAS DE DURACIÓN GENERAL

4.1.2.1. Río Cutuchi

De las curvas de la figura 4.10 se determina que: (1) el $Q_{90\%}$ estimado, asumiendo condiciones naturales de caudal, es de 3,21 m³/s y el $Q_{95\%}$ es de 2,79 m³/s y (2) considerando condiciones modificadas de caudal, estos valores son menores, el $Q_{90\%}$ es igual a 1,18 m³/s y el $Q_{95\%}$ 0,49 m³/s; es decir una reducción del 63,24% y 82,44%, respectivamente, respecto a condiciones naturales. Además, para condiciones modificadas, el caudal es igual a cero el 4,2% del tiempo del período de información analizado.

FIGURA 4.10: CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

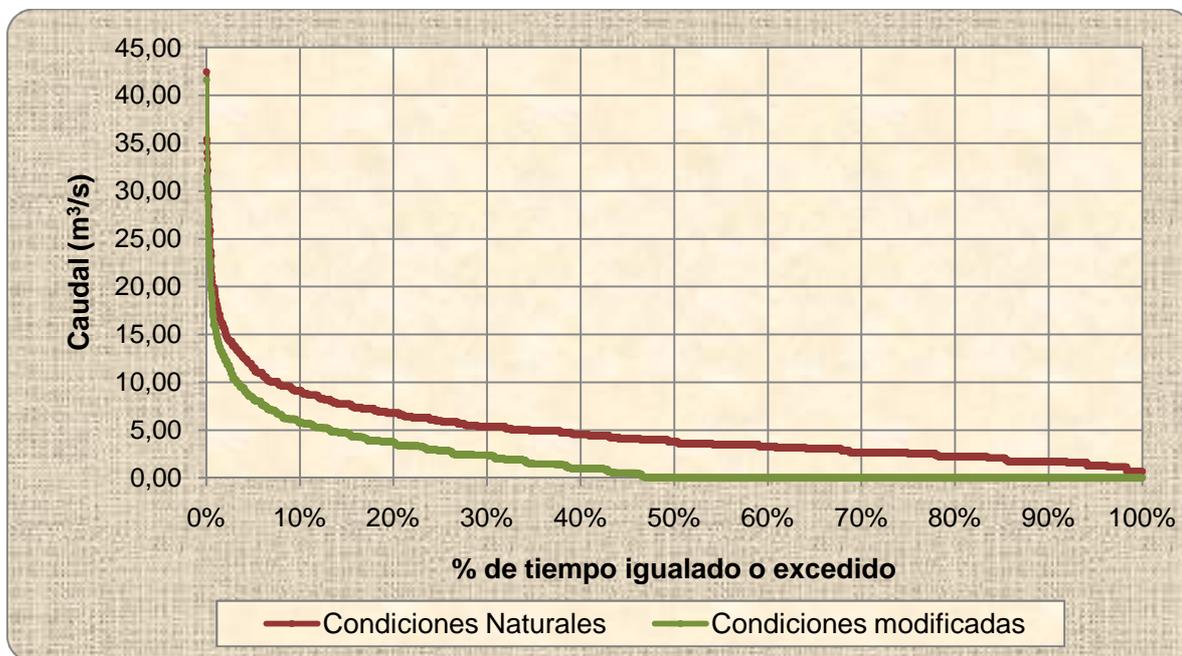


4.1.2.2. Río Ambato

A partir de las curvas de la figura 4.11, se calcula que: para condiciones naturales los valores de $Q_{90\%}$ y $Q_{95\%}$ son 1,73 y 1,26 m³/s, respectivamente; y para condiciones modificadas son iguales a 0 m³/s.

En condiciones modificadas, los caudales cero se presentan el 49,7% del tiempo analizado. En cambio, en condiciones naturales el 99,98% del tiempo el caudal es superior a 0,68 m³/s y el 64,1% al caudal concesionado para el proyecto LSA (3,06 m³/s), por tanto el 35,9% del tiempo no se puede cumplir con la concesión. Demostrándose de esta manera, que el régimen hidrológico del río Ambato, aguas abajo del proyecto LSA, ha sido alterado considerablemente.

FIGURA 4.11: CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

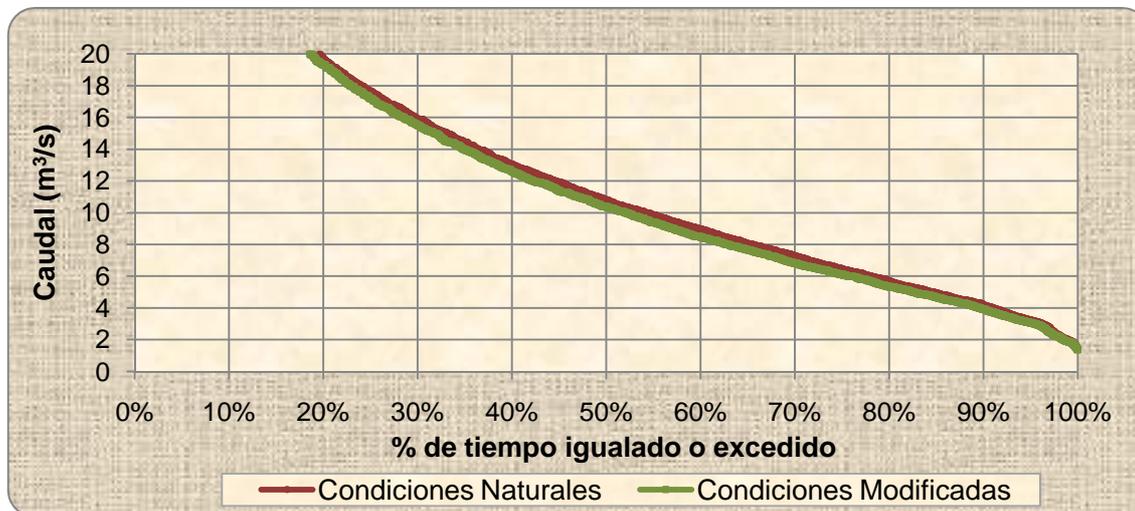


4.1.2.3. Río Cebadas

Los caudales mínimos establecidos utilizando las curvas de duración general de la figura 4.12 son los siguientes: para condiciones naturales $Q_{90\%}$ igual a 4,23 m^3/s y $Q_{95\%}$ 3,23 m^3/s ; y para condiciones modificadas $Q_{90\%}$ igual a 3,93 m^3/s y $Q_{95\%}$ 3,06 m^3/s .

Dado que las curvas para ambos escenarios son muy similares, de tal forma que parecen ser una sola, en la figura 4.12 se restringen a un % de tiempo para caudales menores de 20 m^3/s , y así poder apreciar la existencia de un desfase de las curvas.

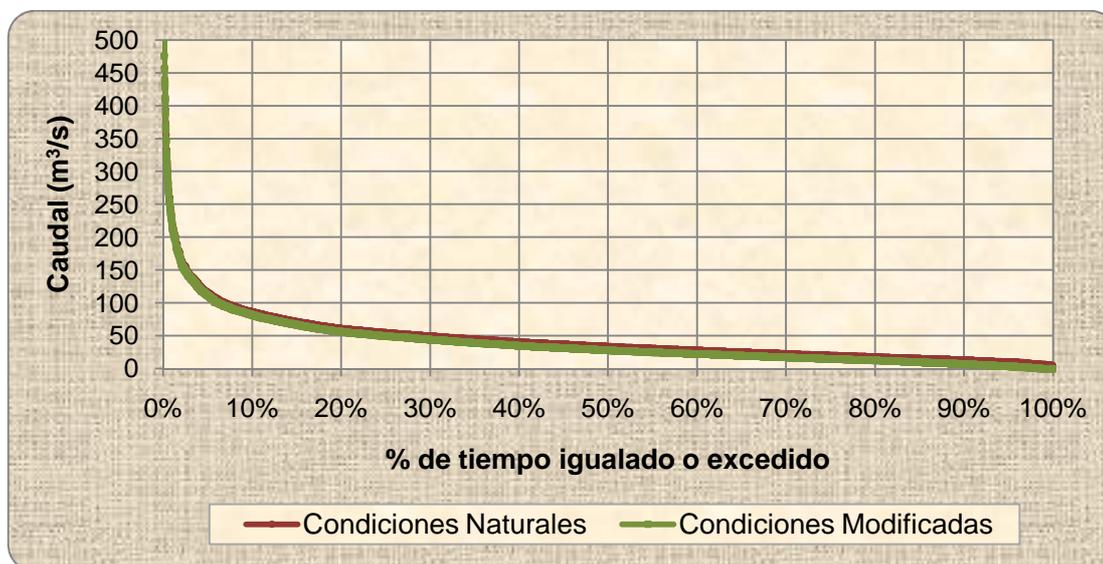
FIGURA 4.12: CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS



4.1.2.4. Río Chambo

En la figura 4.13 las curvas de duración general se limitan para un rango de caudales menores a 500 m³/s, para evidenciar la reducción de caudal.

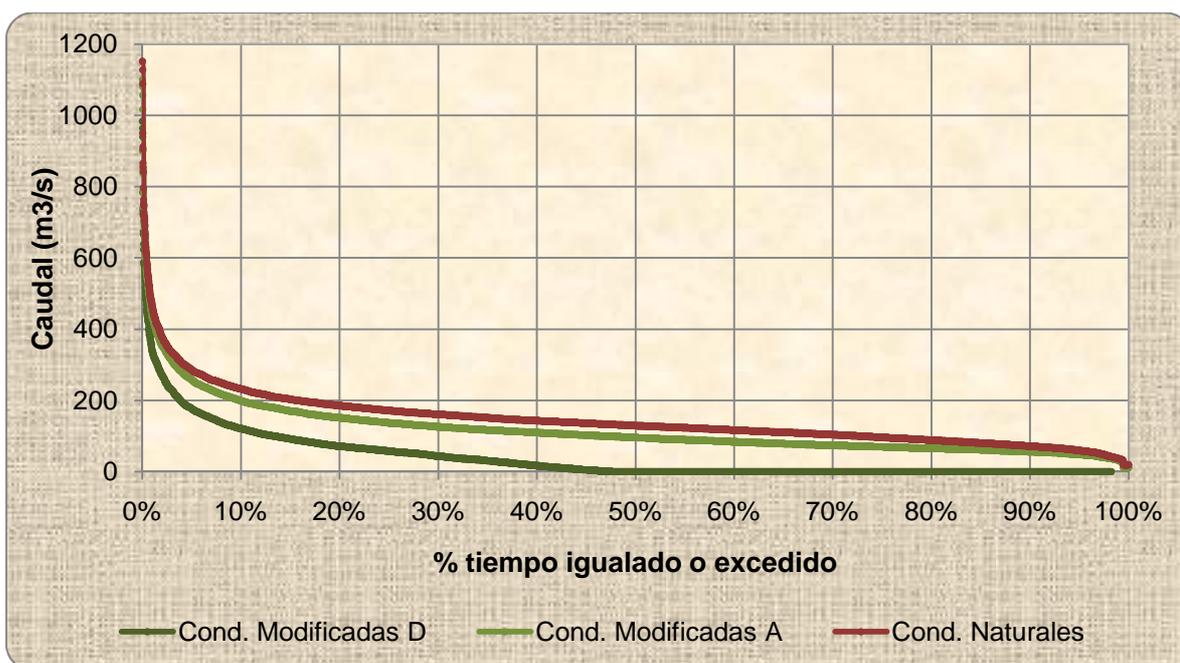
FIGURA 4.13: CURVAS DE DURACIÓN GENERAL EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS



4.1.2.5. Río Pastaza

De las curvas de a figura 4.14, para condiciones naturales de caudal los caudales mínimos $Q_{90\%}$ y $Q_{95\%}$ iguales 71,82 y 59,35 m^3/s , respectivamente; para condiciones modificadas, antes de la presa, $Q_{90\%}$ y $Q_{95\%}$ son 56,00 y 48,44 m^3/s , respectivamente; y después de la presa 0 m^3/s en ambos casos, condición mínima que se presenta el 52,4% del tiempo del período de información analizado.

FIGURA 4.14: CURVAS DE DURACIÓN GENERAL DE CAUDALES DETERMINADAS PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS ANTES Y DESPUES DE LA PRESA AGOYÁN



La figura 4.14 confirma el gran impacto que genera la presa Agoyán en el régimen hidrológico del río Pastaza, y deja ver que las condiciones modificadas antes de la presa no se aleja radicalmente de las condiciones naturales, e incluso los caudales no llega a ser cero.

4.1.3. RESULTADOS IHA

4.1.3.1. Río Cutuchi

La tabla 4.1, presenta los resultados del grupo # 2 de los parámetros IHA tanto para condiciones naturales como modificadas; se puede observar que no existe una amplia brecha entre los caudales extremos máximos en condiciones modificadas versus condiciones naturales, no superó el 28%, a diferencia de las condiciones extremas mínimas, donde la reducción varía de 50 % hasta 82,9%. Además, revisando las condiciones mínimas de caudal definidas utilizando una curva de duración general y el programa IHA, se aprecia que ambos guardan una similitud. El pico de caudal mínimo 2,97 m³/s estimado por el software se encuentra entre Q_{90%} y Q_{95%}.

TABLA 4.1: GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL TRAMO DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

Condición hidrológica	CN (m³/s)	CM (m³/s)	Caudal Reducido %
1-día mínimo	4,479	0,7664	82,9
3-día mínimo	4,578	0,8561	81,3
7-día mínimo	4,729	1,007	78,7
30- día mínimo	5,433	1,567	71,2
90- día mínimo	6,35	2,54	60,0
1- día máximo	29,5	25,72	12,8
3- día máximo	24,47	20,68	15,5
7- día máximo	20,21	16,42	18,8
30- día máximo	15	11,62	22,5
90- día máximo	12,26	8,879	27,9

CN= Condiciones naturales, CM= Condiciones modificadas

La tabla 4.2 muestra los resultados de los parámetros estadísticos EFC para condiciones naturales y modificadas, y la variación de cada parámetro en %. De la

tabla, se puede avizorar varios cambios en las características de los componentes de caudal ambiental: (1) una reducción general en la magnitud de los picos de los diferentes eventos de caudal, (2) un aumento de la frecuencia de los eventos de caudales mínimos, (3) una aumento de la frecuencia de los pulsos de caudal alto por la disminución del percentil 75 dado el predominio de caudales bajos, y (4) una reducción de las tasas de crecimiento y decrecimiento de los pulsos de caudal alto y un aumento de las tasas de las pequeñas y grandes inundaciones.

TABLA 4.2: PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUHI, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

<i>Parámetro EFC</i>	<i>Unid</i>	<i>CN</i>	<i>CM</i>	<i>Variación (%)</i>
Caudal Base -Febrero	m ³ /s	6,07	3,71	-39,0
Caudal Base - Marzo		7,25	3,66	-49,5
Caudal Base - Abril		8,40	4,59	-45,3
Caudal Base - Mayo		8,49	4,48	-47,2
Caudal Base - Junio		6,12	3,45	-43,7
Caudal Base - Julio		5,17	2,85	-45,0
Caudal Base - Agosto		4,28	2,22	-48,1
Caudal Base - Septiembre		4,47	2,03	-54,6
Caudal Base - Octubre		5,08	2,41	-52,5
Caudal Base - Noviembre		6,52	3,16	-51,5
Caudal Base - Diciembre		6,62	3,17	-52,1
Caudal Base - Enero		5,73	2,94	-48,7
Pico de caudal mínimo en un año hidrológico		m ³ /s	2,97	1,24
Frecuencia del caudal mínimo en un año hidrológico	#	6,73	10,91	62,2
Pico de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	m ³ /s	13,62	9,43	-30,8
Frecuencia de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	#	9,55	12,18	27,6
Tasa de crecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	3,34	2,60	-22,1
Tasa de decrecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	-2,21	-2,09	-5,7
Pico de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	33,97	30,08	-11,5
Frecuencia de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	#	0,73	0,82	12,5
Tasa de crecimiento de las pequeñas inundaciones	m ³ /s	2,45	2,94	19,8
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-1,59	-1,59	0,1
Pico de grandes inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	55,52	45,79	-17,5
Frecuencia de grandes inundaciones en un año hidrológico	#	0,09	0,09	0,0
Tasa de crecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	0,24	19,97	8203,5
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-0,34	-2,81	720,0

4.1.3.2. Río Ambato

De la tabla 4.3 se deduce que las magnitudes de los caudales mínimos consecutivos han soportado una reducción entre el 79,4 y 89,7%, y una menor alteración los caudales máximos consecutivos que se han reducido entre el 11,7 y 43,5%.

El pico de caudal mínimo para condiciones naturales, de la tabla 4.4, se encuentra en el intervalo de $Q_{90\%}$ y $Q_{95\%}$, y para condiciones modificadas coincide con $Q_{90\%}$ y $Q_{95\%}$.

TABLA 4.3: GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL TRAMO DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

<i>Condición hidrológica</i>	<i>CN (m³/s)</i>	<i>CM (m³/s)</i>	<i>Caudal Reducido %</i>
1-día mínimo	1,46	0,15	89,7
3-día mínimo	1,53	0,17	88,9
7-día mínimo	1,66	0,19	88,6
30- día mínimo	2,02	0,25	87,6
90- día mínimo	2,67	0,55	79,4
1- día máximo	28,6	25,26	11,7
3- día máximo	20,84	17,48	16,1
7- día máximo	15,72	12,29	21,8
30- día máximo	10,20	6,51	36,2
90- día máximo	7,91	4,47	43,5

Según la tabla 4.4, las modificaciones hidrológicas incluyen: (1) una reducción de los caudales base medios mensuales del 68,3% (media) y los picos de caudal mínimo, pulsos de caudal alto, pequeñas y grandes inundaciones en el orden del 100; 41,4; 7,3 y 1,9%, respectivamente; (2) un aumento de la frecuencia de los eventos de caudal mínimo; y (3) una disminución de la frecuencia y las tasas de crecimiento y decrecimiento de los eventos de pulsos de caudal alto, pequeñas y

grandes inundaciones, a excepción de la tasa de decrecimiento de las grandes inundaciones que aumenta.

TABLA 4.4: PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

<i>Parámetro EFC</i>	<i>Unid</i>	<i>CN</i>	<i>CM</i>	<i>Variación (%)</i>
Caudal base - Abril	m ³ /s	4,10	1,76	-57,2
Caudal base - Mayo		4,69	1,21	-74,2
Caudal base - Junio		4,97	1,44	-71,1
Caudal base - Julio		4,63	1,17	-74,7
Caudal base - Agosto		4,52	1,60	-64,7
Caudal base - Septiembre		3,47	0,98	-71,8
Caudal base - Octubre		3,51	0,98	-72,1
Caudal base - Noviembre		3,35	0,98	-70,7
Caudal base - Diciembre		3,38	1,46	-56,8
Caudal base - Enero		3,12	0,75	-76,1
Caudal base - Febrero		3,38	0,98	-71,0
Caudal base - Marzo		3,52	1,44	-59,1
Pico del caudal mínimo en un año hidrológico		m ³ /s	1,56	0,00
Frecuencia del caudal mínimo en un año hidrológico		7,89	16,00	102,8
Pico de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	m ³ /s	10,43	6,11	-41,4
Frecuencia de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	#	18,22	16,30	-10,5
Tasa de crecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	4,07	3,31	-18,8
Tasa de decrecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	-2,75	-2,45	-10,7
Pico de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	32,40	30,04	-7,3
Frecuencia de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	#	0,56	0,40	-28,0
Tasa de crecimiento de las pequeñas inundaciones	m ³ /s	12,74	8,18	-35,8
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-6,15	-5,36	-12,9
Pico de grandes inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	42,46	41,64	-1,9
Frecuencia de grandes inundaciones en un año hidrológico	#	0,11	0,10	-10,0
Tasa de crecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	4,52	1,18	-73,9
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-0,88	-0,96	8,6

4.1.3.3. Río Cebadas

Las modificaciones de las condiciones hidrológicas mínimas son mayores que de las condiciones máximas. La tabla 4.5 detalla reducciones de los valores de caudales mínimos de hasta el 11,43% y caudales máximos de hasta 1,36%.

A partir de la tabla 4.6 se determina que los parámetros EFC no han sufrido una variación considerable, incluso el comportamiento de las grandes inundaciones no ha variado.

TABLA 4.5: GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL SITIO ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

Condición hidrológica	CN (m³/s)	CM (m³/s)	Caudal Reducido %
1-día mínimo	3.15	2.79	11,4
3-día mínimo	3.29	2.93	10,9
7-día mínimo	3.51	3.15	10,3
30- día mínimo	4.43	4.07	8,1
90- día mínimo	6.11	5.75	5,9
1- día máximo	126.20	125.80	0,3
3- día máximo	87.70	87.34	0,4
7- día máximo	65.94	65.58	0,6
30- día máximo	37.09	36.73	1,0
90- día máximo	26.47	26.11	1,4

TABLA 4.6: PARÁMETROS EFC EN EL SITIO DE ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS, PARA CONDICIONES MODIFICADAS Y NATURALES

Parámetro EFC	Unid	CN	CM	Variación (%)
Caudal base - Abril	m ³ /s	10,69	10,63	-0,6
Caudal base - Mayo		13,12	12,69	-3,3
Caudal base - Junio		14,18	13,95	-1,6
Caudal base - Julio		16,08	15,53	-3,4
Caudal base - Agosto		13,24	13,19	-0,4
Caudal base - Septiembre		10,85	9,80	-9,7
Caudal base - Octubre		6,89	6,89	0,0
Caudal base - Noviembre		7,55	6,43	-14,8
Caudal base - Diciembre		6,71	6,37	-5,1
Caudal base - Enero		6,14	6,14	0,0
Caudal base - Febrero		7,20	6,78	-5,8
Caudal base - Marzo		8,82	8,19	-7,1

TABLA 4.6: CONTINUACIÓN

Pico del caudal mínimo en un año hidrológico	m ³ /s	3,54	3,34	-5,8
Frecuencia del caudal mínimo en un año hidrológico		4,23	4,69	10,9
Pico de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	m ³ /s	26,39	26,39	0,0
Frecuencia de pulsos de caudal alto en un año hidrológico		17,15	14,23	-17,0
Tasa de crecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	8,94	9,65	7,9
Tasa de decrecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	-4,50	-4,31	-4,2
Pico de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	144,60	143,80	-0,6
Frecuencia de pequeñas inundaciones en un año hidrológico		0,54	0,54	-0,3
Tasa de crecimiento de las pequeñas inundaciones	m ³ /s	14,94	14,94	0,0
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-6,81	-6,02	-11,7
Pico de grandes inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	257,50	257,40	0,0
Frecuencia de grandes inundaciones en un año hidrológico		0,08	0,08	-3,9
Tasa de crecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	48,90	48,90	0,0
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-17,30	-17,30	0,0

4.1.3.4. Río Chambo

De la tabla 4.7 se deduce reducciones de caudal de hasta 54,3% para condiciones mínimas y 6,5% para condiciones máximas.

TABLA 4.7: GRUPO # 2 DE LOS PARÁMETROS IHA EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

Condición hidrológica	CN (m³/s)	CM (m³/s)	Caudal reducido %
1-día mínimo	9,52	4,35	54,3
3-día mínimo	9,96	4,74	52,4
7-día mínimo	10,61	5,34	49,7
30- día mínimo	13,41	7,99	40,4
90- día mínimo	18,48	12,98	29,8
1- día máximo	381,6	376,3	1,4
3- día máximo	265,3	260	2,0
7- día máximo	199,4	194,2	2,6
30- día máximo	112,2	107	4,6
90- día máximo	80,05	74,89	6,5

La tabla 4.8 determina que: (1) el caudal base de noviembre decrece en mayor magnitud que el de octubre; (2) la magnitud del pico en un evento de caudal mínimo disminuye un 69,5%, mientras que la reducción de los picos de los restantes eventos no supera el 5%; (3) la frecuencia de los eventos de caudales mínimos y pulsos de caudal alto disminuye y aumenta, respectivamente y la frecuencia de las pequeñas y grandes inundaciones no varía; y (4) la tasa de crecimiento de los pulsos de caudal alto y pequeñas inundaciones aumenta, para pulsos de caudal alto la tasa de decrecimiento disminuye y la tasas de variación de las grandes inundaciones no cambian.

TABLA 4.8: PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

<i>Parámetro EFC</i>	<i>Unid</i>	<i>CN</i>	<i>CM</i>	<i>Variación (%)</i>
Caudal base - Abril	m ³ /s	32,32	25,86	-20,0
Caudal base - Mayo		39,69	33,28	-16,2
Caudal base - Junio		42,89	38,81	-9,5
Caudal base - Julio		48,62	43,04	-11,5
Caudal base - Agosto		40,06	34,52	-13,8
Caudal base - Septiembre		32,82	25,15	-23,4
Caudal base - Octubre		20,84	19,16	-8,1
Caudal base - Noviembre		22,82	15,56	-31,8
Caudal base - Diciembre		20,29	16,42	-19,1
Caudal base - Enero		18,58	14,53	-21,8
Caudal base - Febrero		21,77	16,56	-23,9
Caudal base - Marzo		26,68	19,65	-26,4
Pico del caudal mínimo en un año hidrológico	m ³ /s	10,69	3,26	-69,5
Frecuencia del caudal mínimo en un año hidrológico		4,23	3,39	-19,9
Pico de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	m ³ /s	79,82	76,25	-4,5
Frecuencia de pulsos de caudal alto en un año hidrológico		14,15	14,38	1,6
Tasa de crecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	27,04	29,18	7,9
Tasa de decrecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	-13,62	-14,25	4,6
Pico de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	437,30	430,3	-1,6
Frecuencia de pequeñas inundaciones en un año hidrológico		0,54	0,54	0,0
Tasa de crecimiento de las pequeñas inundaciones	m ³ /s	45,19	92,35	104,4
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-20,60	-18,2	-11,7
Pico de grandes inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	778,90	772,3	-0,9
Frecuencia de grandes inundaciones en un año hidrológico		0,08	0,08	4,0
Tasa de crecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	147,90	147,9	0,0
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-52,32	-52,32	0,0

4.1.3.5. Río Pastaza

Acorde a la tabla 4.9, los caudales de condiciones hidrológicas mínimas y máximas se han reducido hasta en un orden del 92,4 y 56,6%, respectivamente.

TABLA 4.9: PARÁMETROS IHA DEL GRUPO # 2 EN EL TRAMO DE LA PRESA DE AGOYAN - RÍO PASTAZA, PARA CONDICIONES NATURALES Y MODIFICADAS

Condición hidrológica	CN (m³/s)	CM (m³/s)	Caudal Reducido %
1-día mínimo	63,27	4,80	92,4
3-día mínimo	67,91	4,99	92,7
7-día mínimo	71,21	5,26	92,6
30- día mínimo	84,11	6,99	91,7
90- día mínimo	99,98	12,20	87,8
1- día máximo	647,00	522,60	19,2
3- día máximo	487,20	363,00	25,5
7- día máximo	375,50	253,70	32,4
30- día máximo	256,80	135,70	47,2
90- día máximo	205,70	89,30	56,6

La tabla 4.10 señala las siguientes alteraciones del régimen hidrológico, a partir de la comparación de condiciones naturales y modificadas: (1) una disminución media de los caudales bases de 80,42%; (2) una reducción del 100% del pico de un evento de caudal mínimo y un aumento de la frecuencia de estos eventos; (3) una disminución de los picos de los eventos de pulso de caudal alto, pequeñas y grandes inundaciones de hasta el 50%; (4) una disminución de la frecuencia de los eventos de pulsos de caudal alto, y ninguna variación de la frecuencia de los eventos de pequeñas y grandes inundaciones; y (5) un aumento de las tasas de crecimiento y decrecimiento de los caudales altos, a excepción de la tasa de crecimiento de las grandes inundaciones que disminuye.

**TABLA 4.10: PARÁMETROS EFC EN EL TRAMO DE LA PRESA DE AGOYAN
- RÍO PASTAZA, PARA CONDICIONES NATURALES Y
MODIFICADAS**

<i>Parámetro EFC</i>	<i>Unid</i>	<i>CN</i>	<i>CM</i>	<i>Variación (%)</i>
Caudal Base -Febrero	m ³ /s	112,00	23,50	-79,0
Caudal Base - Marzo		117,70	18,75	-84,1
Caudal Base - Abril		131,90	29,50	-77,6
Caudal Base - Mayo		135,00	20,50	-84,8
Caudal Base - Junio		135,30	24,50	-81,9
Caudal Base - Julio		146,50	27,00	-81,6
Caudal Base - Agosto		136,90	22,75	-83,4
Caudal Base - Septiembre		118,80	19,76	-83,4
Caudal Base - Octubre		109,90	30,00	-72,7
Caudal Base - Noviembre		110,70	21,50	-80,9
Caudal Base - Diciembre		97,92	24,00	-75,5
Caudal Base - Enero		105,30	20,50	-80,5
Pico del caudal mínimo en un año hidrológico		m ³ /s	61,77	0,00
Frecuencia del caudal mínimo en un año hidrológico	#	7,40	19,60	164,9
Pico de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	m ³ /s	212,50	106,50	-49,9
Frecuencia de pulsos de caudal alto en un año hidrológico	#	19,60	15,28	-22,0
Tasa de crecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	60,00	65,00	8,3
Tasa de decrecimiento de pulsos de caudal alto	m ³ /s	-40,75	-50,00	22,7
Pico de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	732,90	586,60	-20,0
Frecuencia de pequeñas inundaciones en un año hidrológico	#	0,52	0,52	0,0
Tasa de crecimiento de las pequeñas inundaciones	m ³ /s	112,70	206,20	83,0
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-39,77	-64,02	61,0
Pico de grandes inundaciones en un año hidrológico	m ³ /s	1157,00	1011,00	-12,6
Frecuencia de grandes inundaciones en un año hidrológico	#	0,08	0,08	0,0
Tasa de crecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	639,90	639,10	-0,1
Tasa de decrecimiento de pequeñas inundaciones	m ³ /s	-563,80	-677,50	20,2

4.2. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y BIOLÓGICAS

Los resultados de los aforos de campo y su relación con los grupos de invertebrados y peces en cada sitio de estudio se presentan en la tabla 4.11, misma que no se puede determinar para los ríos Pastaza y Palora por falta de datos.

TABLA 4.11: RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE AFOROS DE CAMPO Y DIVERSIDAD ACUÁTICA

<i>Río</i>	<i>Sitio de Aforo</i>	<i>AEA (m)</i>	<i>RVM (m/s)</i>	<i>CAF (m³/s)</i>	<i>Riqueza GMI</i>	<i>Grupo de peces</i>
Cutuchi	aa bocatoma del Proyecto LSA	13,50	0,13 – 0,88	2,91	6,00	- No se muestreó peces - Posible presencia de <i>Astroblepus sp.</i> , si se mejora la calidad de agua - Trucha en el río Cutuchi a los 3.041 msnm
	AA bocatoma del Proyecto LSA	17,00	0,10 – 1,51	6,79	6,67	
Ambato	AA del vertedero de excesos bocatoma AHP			7,70	11,75	No se registró peces nativos, posible presencia de trucha y <i>Astroblepus sp</i>
	aa del vertedero de excesos bocatoma AHP	25,5	0,34 – 1,15	7,70		
	Vertedero de excesos de la Bocatoma Darquea - Tilulum	25,0		6,76	3,75	
Cebadas	A 500 de la confluencia de los ríos Atillo y Yasipán	40	1,40	55,91	8,25	- No se registró peces nativos, posible presencia de trucha.
Chambo	AA bocatoma del proyecto CDA		0,12 – 0,84	21,42 (Q ₁)	18,25	- <i>Astroblepus sp.</i> (2 individuos) - Posible presencia de trucha
	Canal de captación proyecto CDA		1,07	4,87 (Q ₂)		
	aa bocatoma del proyecto CDA			16,55 (Q ₁ -Q ₂)	18,25	- <i>Astroblepus sp.</i> (1 individuo) - Posible presencia de trucha
Pastaza	Antes de la presa Agoyán			120*		
Palora	Sitio único	-	-	-	4,5	Loricariidae, <i>Chaetostoma</i> , <i>Prochilodus nigricans</i> , <i>Brycon cf. melanopterus</i> , Bagres, <i>Brycon</i>

AEA= Ancho del espejo de agua, RVM= rango de velocidades medias, CAF =Caudal aforado, GMI= Grupo de macroinvertebrados

FUENTE: Galárraga y Ordóñez, 2009; Encalada, 2009b; Rivadeneira, 2009b

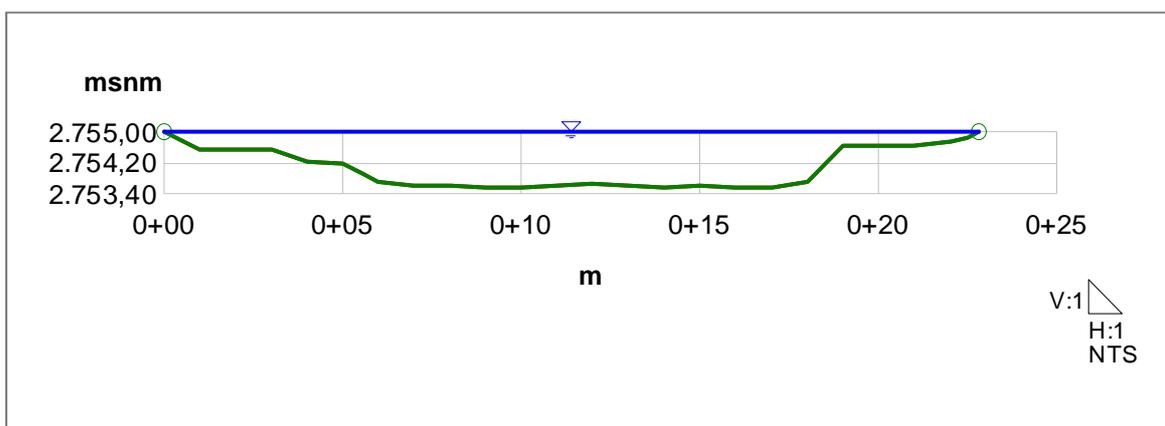
* Caudal medido por la estación limnimétrica Agoyán en Agoyán

4.2.1. RÍO CUTUCHI

De la tabla 4.11, se observa que aguas abajo de la bocatoma del proyecto de riego LSA, el caudal aforado fue $2,91 \text{ m}^3/\text{s}$; mientras que aguas arriba de la bocatoma el caudal fue $6,79 \text{ m}^3/\text{s}$, esto es un retiro de agua de $3,88 \text{ m}^3/\text{s}$ (57,1%); este caudal captado no superó el caudal legalmente concesionado para este proyecto ($4,0 \text{ m}^3/\text{s}$). Además, se observa una reducción de la riqueza de macroinvertebrados del 10%, presumiblemente, debido a la reducción de caudal.

La sección transversal editada en el programa FLOWMASTER se presenta en la figura 4.15, en la cual la elevación del nivel del agua está dibujada a los 2.755 msnm. Si la sección transversal transporta agua a su máxima capacidad, el caudal circulante sería $46,19 \text{ m}^3/\text{s}$, que es ligeramente superior al pico de grandes inundaciones en condiciones modificadas de caudal calculado por el IHA ($45,79 \text{ m}^3/\text{s}$).

FIGURA 4.15: SECCIÓN TRANSVERSAL LEVANTADA EN CAMPO A 20 M AGUAS ABAJO DE LA BOCATOMA DEL PROYECTO LSA Y EDITADA EN EL FLOWMASTER (RÍO CUTUCHI)



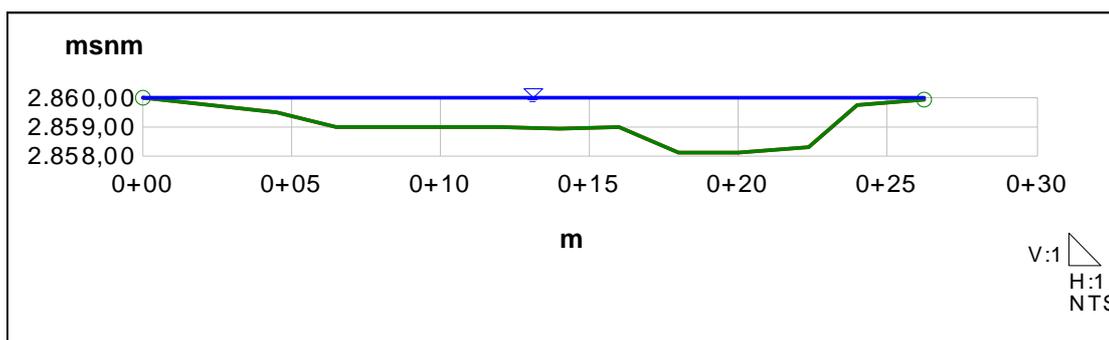
4.2.2. RÍO AMBATO

De la tabla 4.11, se puede apreciar que en el tramo de 11,64 km entre las bocatomas de los proyectos AHP y Darquea - Tilulum, existe una pérdida de

caudal de $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que equivale al 12,2%. En este mismo tramo, existe una reducción del 68,09% de la riqueza de grupos de macroinvertebrados.

La figura 4.18 representa gráficamente la sección transversal editada en el software FLOWMASTER como si está funcionara a su máxima capacidad de transporte (2.860 msnm), transportando una caudal de $38,75 \text{ m}^3/\text{s}$; sección que sería sobrepasada si se presentara un caudal pico de una gran inundación para condiciones modificadas ($41,64 \text{ m}^3/\text{s}$, tabla 4.4).

FIGURA 4.16: SECCIÓN TRANSVERSAL LEVATADA EN CAMPO A 50 M AGUAS ARRIBA DE LA BOCATOMA DEL PROYECTO AHP Y EDITADA EN EL PROGRAMA FLOWMASTER (RÍO AMBATO)

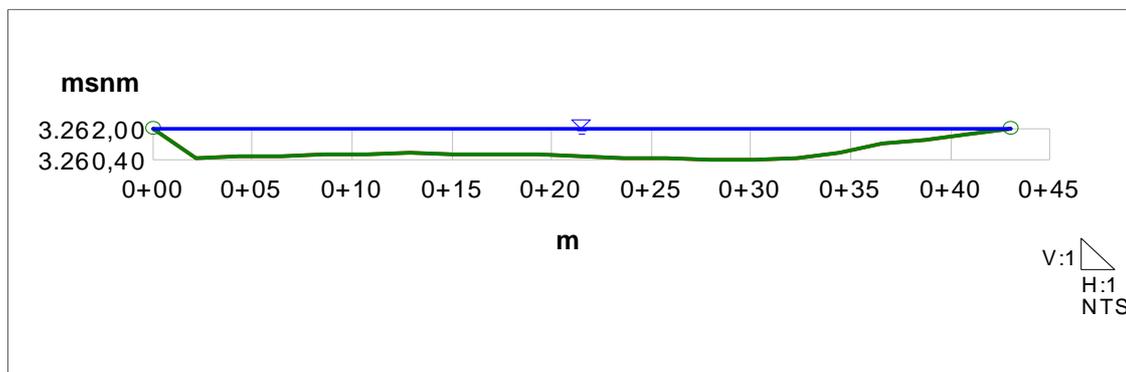


4.2.3. RÍO CEBADAS

De los ríos aforados sobre los 2.700 msnm , el río más caudaloso es el río Cebadas, cuyo caudal aforado, según la tabla 4.1, fue $55,91 \text{ m}^3/\text{s}$ que es igualado o excedido el 1,88% del tiempo en el período analizado acorde a la curva de duración general para condiciones modificadas.

La figura 4.17 muestra una sección regular, para la cual el máximo caudal que puede ser transportado es $150,74 \text{ m}^3/\text{s}$ y alcanza una profundidad máxima de $1,56 \text{ m}$.

FIGURA 4.17: SECCIÓN TRASVERSAL LEVANTADA EN CAMPO EN EL SITIO DE ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS



4.2.4. RÍO CHAMBO

De la tabla 4.1, el caudal captado de $4,87 \text{ m}^3/\text{s}$ es menor al caudal concesionado ($5 \text{ m}^3/\text{s}$), y representa un 22,7% del caudal aguas arriba de la bocatoma. Pese a esta reducción de caudal la riqueza de macroinvertebrados no ha cambiado, pero no así el número de peces registrados que si se ha reducido.

4.3. CATEGORIAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL

4.3.1. RÍO CUTUCHI

De acuerdo a la tabla 4.12, el EA del río Cutuchi después del proyecto LSA se ha evaluado como de categoría “E”, seriamente modificado, por las siguientes razones: variaciones del régimen hidrológico; una mala calidad del agua que preocupa a la sociedad y autoridades, y no ofrece usos recreativos. La tendencia del estado ambiental es negativa, únicamente desde la perspectiva biológica es positiva dado que la comunidad de macroinvertebrados son claves en la depuración de las aguas. La sensibilidad es media por la incidencia de la susceptibilidad baja de los macroinvertebrados a las condiciones actuales. La categoría de manejo ambiental recomendada es “C”, moderadamente modificado; el tratamiento de aguas servidas es un requerimiento clave para

alcanzar esta categoría, lo que resulta en beneficios para los componentes socio-económico, usos recreativos y biológicos.

TABLA 4.12: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUES DEL PROYECTO LSA - RÍO CUTUCHI

Componente	EA (A-F)	Tendencia (+/0/-)	Sensibilidad o Importancia	CMA recomendada (A-D)
Hidrológico	D	(-)	alta	C/D
Calidad del agua	E/F	(-)	alta	C
Biológico	E	(+)	baja	C
Socio-económico	F	(-)	alta	C
Usos recreativos	F	(-)	media	C
GENERAL	E	(-)	media	C

FUENTE: Anderson et al., 2009

4.3.2. RÍO AMBATO

Según la tabla 4.13, el EA del río Ambato después del proyecto AHP es de categoría “D”, mayormente modificado, debido a la persistencia de caudales mínimos en el período de septiembre a marzo, que ha ocasionado la restricción del uso del agua para consumo humano, abrevaderos, recreacionales, entre otros, la reducción de grupos de invertebrados y peces y la limitada valoración de la calidad de agua.

TABLA 4.13: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUES DEL PROYECTO AHP - RÍO AMBATO

Componente	EAA (A-F)	Tendencia (+/0/-)	Sensibilidad o Importancia	CMA recomendada (A-D)
Hidrología	E	(-)	alta	D
Calidad de agua	C	(-)	alta	B
Biología	C	(-)	alta	B
Social – económico	D	(-)	alta	C
Uso recreativo	D	(-)	media	C

GENERAL	D	(-)	alta	C
----------------	----------	------------	-------------	----------

FUENTE: Anderson et al., 2009

Como consecuencia del EA, la sensibilidad es alta desde todas las disciplinas del panel de expertos. La tendencia de cambio es negativa pues se presume un aumento de la demanda de agua. Finalmente, la categoría “C” (moderadamente modificada) se propone para su manejo; el cumplimiento de esta meta dependerá en gran medida de la recuperación del régimen hidrológico

4.3.3. RÍO CEBADAS

Se califica su estado ambiental como categoría “B” (escasamente modificado) debido a que existe una baja demanda de agua y pocos asentamientos humanos en la zona. La tendencia es negativa; según Realpe (2009) se planea construir una bocatoma para riego. Adicionalmente, al ser considerado un río de cabecera de la cuenca del río Pastaza, es de importancia y sensibilidad altas. Para finalizar, se propone que los esfuerzos se encaminen a conservar el estado actual.

TABLA 4.14: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL EN EL SITIO DE ESTUDIO DEL RÍO CEBADAS

Componente	EAA (A-F)	Tendencia (+/0/-)	Sensibilidad o Importancia	CMA recomendada (A-D)
Hidrológico	B	(-)	alta	B
Calidad del agua	A/B	(0)	alta	B
Biológico	B	(-)	alta	A
Socio-económico	B	(-)	alta	A/B
Usos recreativos	B	(-)	media	A/B
GENERAL	B	(-)	Alta	B

FUENTE: Anderson et al., 2009

4.3.4. RÍO CHAMBO

De la tabla 4.15, el estado ambiental del río Chambo después del proyecto CDA es “C” (moderadamente modificado), por las siguientes razones: (1) presencia de una obra ingenieril que no se extiende en toda la sección transversal y reconoce la variabilidad hidrológica; como se puede observar en la foto 4.1; y (2) en meses húmedos, la riqueza de grupos de macroinvertebrados indicadores de buena calidad de agua y el desarrollo de deportes como kayak y rafting no se ven afectados por la presencia del proyecto. La petición para la ampliación de la concesión a 5,8 m³/s, define una tendencia de cambio negativa. La importancia y sensibilidad alta radica en la sustentación de una población agrícola.

Se propone, finalmente, una categoría de manejo “B”, cuyo alcance radican en mejorar las tecnologías de riego para optimizar y reducir las fugas de agua en los sistemas de distribución y una gestión integral de la subcuenca.

TABLA 4.15: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUÉS DEL PROYECTO CDA - RÍO CHAMBO

Componente	EAA (A-F)	Tendencia (+/0/-)	Importancia o Sensibilidad	CMA Recomendada (A-D)
Hidrológico	C	(0/-)	Media	C
Calidad de Agua	B/C	(0)	Alta	B
Biología	C	(-)	Media	B
Socio-económico	C	(-)	Alta	B
Usos recreativos	C	(-)	Media	B
GENERAL	C	(-)	Alta	B

FUENTE: Anderson et al., 2009

4.3.5. RÍO PASTAZA

Como se indica en la tabla 4.16, se ha definido que el EA del río Pastaza después de la presa de Agoyán es de categoría “F” (crítico), después de hechas las

siguientes consideraciones: (1) condiciones mínimas de caudal extremas, (2) modificaciones de las secciones tanto transversalmente como longitudinalmente por la descarga de sedimentos, (3) un problema de contaminación moderado en meses húmedos (Encalada, 2009b), (4) la presa representa una barrera para el transporte de sedimentos y nutrientes (ciclo biogeoquímico) (A. Encalada, comunicación personal, noviembre 2009), y (5) un cauce de río seco limita el desarrollo de usos recreacionales. Los caudales de exceso se reducirá con el surgimiento de nuevas concesiones, por tanto es de tendencia negativa. De importancia y/o sensibilidad alta, por representar un sitio significativo en la económica nacional.

Se propone una categoría de manejo “C”, que se alcanzará mediante alternativas como trasvases de un cauce a otro, almacenamiento de caudales de exceso en meses húmedo, entre otras.

TABLA 4.16: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL DESPUÉS DE LA PRESA AGOYÁN

Componente	EAA (A-F)	Tendencia (+/0/-)	Importancia o Sensibilidad	CMA Recomendada (A-D)
Hidrológico	F	(-)	alta	D
Calidad del agua	F	(0)	Media	D
Biológico	E	(0/-)	Media	B
Socio-económico	F	(-)	Alta	C
Usos recreativos	F	(-)	Alta	C
GENERAL	F	(-)	Alta	C

FUENTE: Anderson et al., 2009

4.3.6. RÍO PALORA

Como se muestra en la tabla 4.17, el sitio de estudio en este río es de categoría “A” (natural), porque no existen concesiones registradas y los parámetros bióticos y química del agua relevan una excelente calidad.

Sitio de importancia alta por: (1) ser uno de los pocos ríos que aun conservan características prístinas, mismas que pueden ser objeto de conservación para investigaciones, como estudios de ciclos biogeoquímicos, y el monitoreo y registro de especies endémicas de flora y fauna, tanto terrestre como acuática (Encalada, 2009b), y (2) su valor paisajístico y turístico para las poblaciones humanas. Por lo anterior, se recomienda mantener el estado ambiental actual (“A”).

TABLA 4.17: DEFINICIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ESTADO Y MANEJO AMBIENTAL EN EL STIO DE ESTUDIO DEL RÍO PALORA

Componente	EAA (A-F)	Tendencia (+/0/-)	Importancia o Sensibilidad	CMA Recomendada (A-D)
Hidrológico	A	0	alta	A
Calidad del agua	A	(0)	alta	A
Biológico	A	(0/-)	alta	A
Socio-económico	B	(0)	Media/baja	A/B
Usos recreativos	A/B	(0)	alta	A/B
GENERAL	A	(-)	alta	A

FUENTE: Anderson et al., 2009

4.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES

Para una estimación confiable de caudales ambientales mediante la metodología aquí propuesta, debe resolverse: (1) el desconocimiento de la fenología de macroinvertebrados y peces, para lo cual se necesitará años de investigación para superar esta deficiencia, siendo recomendable identificar el bioindicador en la cadena trófica del cual depende la supervivencia de varias especies acuáticas de un cuerpo de agua; existe también la alternativa de aprovechar el conocimiento ecológico ancestral sobre especies acuáticas como se hizo para el río Patuca, en Honduras, para la determinación de caudales ambientales (Esselman y Opperman, 2010) ; y (2) la necesidad estudios en los que se evalúe las características hidráulicas versus deportes acuáticos.

En la tabla 4.18 se presenta estimaciones de caudales realizadas con el uso del FLOWMASTER en función de calados preferenciales no específicos para una etapa de vida de la familia Batidae (macroinvertebrado) y la especie *Astroblepus sp.*-pez- De ningún modo deben ser asumidos estos valores como resultados de la estimación de caudales ambientales.

TABLA 4.18: CAUDALES FAVORABLES PARA LA FAMILIA BATIDAE Y LA ESPECIE *Astroblepus sp.* DETERMINADOS CON EL USO DEL FLOWMASTER

<i>Río</i>	Batidae		<i>Astroblepus sp.</i>	
	Calado medio (m)	Caudal (m ³ /s)	Calado medio (m)	Caudal (m ³ /s)
Cutuchi	0,25* - 0,50*	1,72 - 6,66	0,50*	6,66
Ambato		1,10 - 5,28		5,28
Cebadas		2,07 - 12,81		

CAPÍTULO 5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ❖ Analizar dos escenarios opuestos, por un lado condiciones naturales y por otro condiciones modificadas, permite reconocer el valor hidrológico que se ha perdido al escoger un determinado sistema de gestión del recurso agua.
- ❖ Omitiendo el río Pastaza, el área de drenaje que satisface la mayor demanda de agua correspondiente al sitio evaluado en río Cutuchi, con un caudal concesionado de 16.871,9 (l/s); mientras que, omitiendo el río Palora para el cual no existe concesiones de caudal, el río Cebadas es el que menor presión hídrica soporta respecto a los demás sitios estudiados, con una demanda de 1.479,85 (l/s).
- ❖ Los resultados del programa IHA revelan al río Pastaza después de la presa Agoyán, como el de mayores alteraciones hidrológicas, seguido de mayor a menor por los ríos Ambato, Cutuchi, y Cebadas; orden que puede ser considerado para la priorización de la estimación de caudales ambientales. De los hidrogramas se deduce que pese a las concesiones de caudal aguas arriba de la presa Agoyán, el río Pastaza mantendría una modificación hidrológica moderada y no crítica (actual) por la operación de la presa.
- ❖ La presencia de la presa de Agoyán ha ocasionado que el tramo del río Pastaza inmediato a esta obra civil sea considerado de estado ambiental crítico "F", es decir con modificaciones casi irreversibles, mientras que el río

Palora fue calificado como prístino. El río Cutuchi debe su categoría seriamente modificado "E" a la mala calidad del agua, y los ríos restantes a alteraciones hidrológicas. Para los ríos Palora y Cebada se propone que se mantenga el estado ambiental actual, mientras que para los ríos restantes se propone la categoría "C" (moderadamente modificado) como categoría de manejo.

- ❖ En la presente investigación, la metodología *panel de expertos* estuvo sujeta a: (1) la escasa información de ecología acuática y de requerimientos para usos recreativos, (2) períodos continuos cortos de información hidrológica, y (3) la inaccesibilidad al cauce de ríos caudalosos.

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Estimar caudales para la dilución de contaminantes con el fin de cumplir límites permisibles establecidos en documentos legales, mismos que pueden considerarse en la estimación de caudales ambientales.
- ❖ En esta investigación, el software IHA constituyó una herramienta fácil de usar para la evaluación de alteraciones hidrológicas, sin embargo, necesita ser revisado a mayor detalle para aprovechar al máximo todas sus potencialidades.
- ❖ Levantar varias secciones transversales a lo largo del tramo de un río, con el fin de determinar caudales ambientales para un segmento de río y no para el punto de la sección transversal.
- ❖ Iniciar estudios sobre la fenología de grupos acuáticos sensibles a las variaciones de caudal, pero también de aquellos que sustentan la cadena trófica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acreman, M. y A. Ferguson. (2009). Environmental flows and the Europe Water Framework; *Freshwater Biology*, doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02181.x
- Anderson, E. (2009a). Aspectos Socioeconómicos y el Manejo de Recursos Hídricos. Memorias del Taller - Curso Caudales Ecológicos 13-15 Mayo 2009. Presentación PowerPoint, Quito.
- Anderson E. (2009b). Caudales ecológicos: Un concepto en desarrollo. Tercera Reunión Proyecto Piloto para la Determinación de Caudales Ecológicos en la Cuenca del río Pastaza (4 – 5 Mayo).Presentación PowerPoint, Quito.
- Anderson, E. (2009c). Lineamiento para la recomendación de categorías de manejo ambiental. Material para la reunión final del grupo de trabajo del Proyecto Piloto para la Determinación de Caudales Ecológicos en ríos de la Cuenca del Pastaza, Baños
- Anderson, E., C. Moreno, M. Ordóñez, A. Encalada, J. Rivadeneira, M. Terry, M. Realpe, O. Sánchez, A. Sánchez, M. Ayala y C. Romero. (2009). Evaluación del Estado y Categoría Ambiental. Proyecto Piloto para la Determinación de Caudales Ecológicos en ríos de la Cuenca del Pastaza, Ecuador.
- Andrade L. y Villacis O. (1986). Instructivo para procesamiento de datos y calculo hidrológico. EP, Quito
- Andrade, L. (1992). Método de cálculo de los gastos mínimos para el sur Ecuatoriano, *Politécnica*: Volumen XVII. pp.: 146 – 162.

- Bevitt R., W. Erskine, G. Gillespie, J. Harriss, P. Lake, B. Miners y I. Varley. (2009). Expert panel environmental flow assessment of various rivers affected by the Snowy Mountains Scheme. NSW Department of Water and Energy.
- Briceño, H. (2005). Caracterización Geoquímica de las aguas de la Cuenca Pastaza-Corrientes, Perú; Global Water for Sustainability Program; United States Agency International Development, Perú.
- Cartagena, J., M. Estrella, G. Andrade, y R. Proaño. (2008). Caracterización Hidro-química del río Pastaza en la estación H800 "Pastaza en Baños". Laboratorio de aguas y sedimentos - INAMHI.
- Castro, L., Y. Carvajal, y E. Monsalve. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental
- Dysnon, M., G. Bergkamp y J. Scanlon. (2003). Flow: The essentials of environmental flows. International Union for Conservation of Nature and Natural Resource, Suiza.
- Encalada, A. (2009a). Informe de la Fase I del Componente Ecológico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza, Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.
- Encalada, A. (2009b). Informe de la Fase II del Componente Ecológico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza – Ecuador; Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.
- Esselman, P. y J. Opperman. 2010. Overcoming information limitations for the prescription of an environmental flow regime for a Central American river. Ecology and Society, [//www.ecologyandsociety.org/vol15/iss1/art6/](http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss1/art6/)

French, R. (1985). Open – Channel Hydraulics. McGraw-Hill

Fundación Natura, Programa Global Water for Sustainability (GLOWS), The Field Museum of Natural History. (2009). Términos de Referencia: Componente Hidrología-Hidráulica. Proyecto Piloto para la Determinación de Caudales Ecológicos para ríos de la Cuenca del Río Pastaza.

Galárraga, R. (2009). Informe de la Fase I del Componente Hidrológico – Hidráulico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza, Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.

Galárraga, R. y M. Ordóñez. (2009). Informe de la Fase I del Componente Hidrológico – Hidráulico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza, Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.

García, D. y M. González. (1998). El concepto de Caudal Ecológico y Criterios para su Aplicación en los Ríos Españoles. Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. <http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/ejercicios.../jalon-tanago1998.pdf>

Gonzales, M. (s.a.). Régimen de Caudales. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología; Universidad Politécnica d Madrid. <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/ocw-marta-pdf/Tema10.pdf>

Gordon, N., T. McMahon, T., B. Finlayson. C. Gippel, C. y Nathan R. (2004). Stream Hydrology: An Introduction for Ecologist. Segunda Edición, Inglaterra.

Gunston H. (1998). Field Hydrology in Tropical Countries - A practical introduction. Intermediate Technology Publications.

HIDROAGOYAN S.A. (2009). Agoyán. http://www.hidroagoyan.com/web/guest/agoyan/central_agoyan

Hirji, R. y R. Davis. (2009). Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans, and Projects: Finding and Recommendations. The World Bank.

IEDECA. (2009). Informe Fase I del Componentes Socio-económico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza – Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2000). Análisis del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en el Ecuador, Ecuador.

Kendy, E. (2009). River Types; *Conserve on line*; <http://conserveonline.org/workspaces/eloha/documents/river-types-0>

Linsley, R.; M. Kohler y J. Paulus. (1977). Hidrología para Ingenieros. Segunda edición, Bogotá

Naciones Unidas (UN). (1977). Manual de instrucciones: Estudios Hidrológicos: Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano.

Ministry of Environment. (2008). Draft Guidelines for the Selection of Methods to Determine Ecological Flows and Water Levels: On line version.

Monsalve, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Segunda Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Moreno, C. (2008). Metodología y Determinación de Caudales Ambientales en la Cuenca del Río Pastaza. Proyecto de Titulación previa a la Obtención del

Título de Ingeniería Ambiental. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

Muñoz, B. y J. Almeida. (2008). Visión General de la infraestructura hidráulica en el subsector estatal de riego del Ecuador.

O'Keeffe, J. (2009). Methods for assessing environmental flows, Memorias del Taller - Curso Caudales Ecológicos 13-15 Mayo 2009. Presentación PowerPoint, Quito.

Pardo, I., M. Álvarez, J. Casas, J. Moreno, S. Vivas, N. Bonada, J. Alba, P. Jáimez, G. Moya, N. Prat, S. Robles, M. Suárez, M. Toro, M. Vidal. (2002). El Hábitat de los Ríos Mediterráneos. Diseño de un Índice de Diversidad de Hábitat. *Limnetica*; Volumen 21; pp: 115-133

Poff L., D. Allan, M. Bain, J. Karr, K. Prestegard, B. Richter, R. Sparks y Stromberg J.(1997). The natural flow regime : A paradigm for river conservation and restoration

Poff, N. ,B. Richter, A. Arthington, S. Bunn, R. Naiman , E. Kendy, M. Acreman, C. Aps, B. Bledsoe, M. Freeman, J. Henriksen, R. Jacobson, J. Kenne, D. Merritt, J. O'keeffe, J. Olden, K. Rogers, R. Tharme y A. Warner.(2009) The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*: doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x

Pourrut, P. y G. Gómez. (1996). Regímenes Hidrológicos Ecuatorianos. *El Agua en el Ecuador.* ORSTOM (actual IRD) y el Colegio de Geógrafos del Ecuador; pp: 103-109.

Rázuri, L., J. Rosales, E. Romero, L. Juárez, J. Hernández. (2007). Determinación de las disponibilidades de las disponibilidades hídricas en la zona de Santa

Rosa, sector La Hechicera del Estado de Mérida. Agricultura Andina:
Volumen 12, pp. 25-40.

Realpe, M. (2009). Informe Fase II del Componentes Socio-económico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza – Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago

Richter B., Baumgartner J., Powell J., y D. Braun (1996). A method for assessing hydrologic alteration within Ecosystems. Conservation Biology. Volume 10. pp. 1163 -1174

Richter B., Baumgartner J., Powell J., y D. Braun (1997). How much water does a river need?. Freshwater Biology. Volume 37, pp. 231-249

Richter, B., Mathews, R., Harrison, D., y R. Wigington. (2003). Ecologically sustainable water management: Managing river flows for ecological integrity. Ecological Applications, Volume 13, pp. 206-224

Richter B., Warner A., Meyer J., y Lutz K.; (2006); A collaborative and adaptive for developing environmental flow recommendations; River Research and applications. Volumen 22; pp. 297 – 318

Rivadeneira, J. (2009a). Informe Fase I del componente ictiológico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza – Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.

Rivadeneira, J. (2009b). Informe Fase II del componente ictiológico. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza, Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.

- Rojas L. (2008). Diseño y Propuesta de un Sistema de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua en la Zona Suroriental de la Subcuenca Alta del Río Chambo, Proyecto de Titulación presentada como requisito parcial para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador.
- Rosero, D.; Girard, V.; Calvez, R.; Gordillo, M. y Fossati, O.(2009). Proyecto para Definir Caudales Ecológicos en ríos del Sistema Papallacta.
- Roura, J. (2004). Balance Hídrico de la Cuenca del Río Pastaza para el periodo 1965-2000. INAMHI
- Sánchez, A. (2009a). Concesiones de Derechos de aprovechamiento de aguas otorgadas en la Cuenca del Río Pastaza. Presentación PowerPoint. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza – Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.
- Sánchez, A. (2009b). Muestreo de la calidad de agua en la Cuenca del Río Pastaza. Presentación PowerPoint. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza – Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.
- Saunders, T., Anderson, E. y Celi, J. (2007). The Status and Trends of Water Quality in the Upper Pastaza River Basin, Global Water for Sustainability Program, Florida International University. Ecuador
- Téllez P. (s.a.). Caudales Ecológicos: Herramientas para el manejo sostenible del agua. Global Freshwater Team – The Nature Conservancy. Presentación PowerPoint

- Terry, M. (2009a). Usos Recreacionales en la Cuenca del Río Pastaza. Presentación PowerPoint. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza, Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.
- Terry, M. (2009b). Informe de los Estudios de Campo Mayo a Septiembre de 2009. Presentación PowerPoint. Proyecto Piloto para la determinación de caudales ecológicos para ríos de la Cuenca del Pastaza, Ecuador. Fundación Natura, GLOWS y The Field Museum of Natural History de Chicago.
- The Nature Conservancy. (2009). Manual del usuario de Indicadores de Alteración Hidrológica, Versión 7.1.
- Tharme R. (2009). Introducción a los Indicadores de Alteración Hidrológica. Taller - Curso Caudales Ecológicos, 13-15 Mayo 2009. Presentación PowerPoint
- Tharme, R. (2003). A Global Perspective On Environmental Flow Assessment: Emerging Trends In The Development And Application Of Environmental Flow Methodologies For Rivers. Volumen 19, pp. 397–441, South África.

ANEXOS

ANEXO N°1
SOFTWARE IHA

ANEXO 1.1: RESUMEN DE LOS PARAMETROS IHA

Grupo de parámetros IHA	Parámetros hidrológicos	Influencias en los ecosistemas
1. Magnitud de las condiciones hidrológicas mensuales	<p>Valor de la media o la mediana para cada mes calendario</p> <hr/> <p><i>Subtotal 12 parámetros</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> · Disponibilidad del hábitat para organismos acuáticos · Disponibilidad de humedad del suelo para las plantas · Disponibilidad de agua para los animales terrestres · Disponibilidad de alimentos/ cobertura para mamíferos con pelo · Confiabilidad del abastecimiento de agua para los animales terrestres · Acceso de los depredadores a los sitios de anidación · Influye en la temperatura del agua, los niveles de oxígeno y la fotosíntesis en la columna de agua
2. Magnitud y duración de las condiciones hidrológicas extremas anuales	<p>Mínimos anuales, media de 1 día</p> <p>Mínimos anuales, medias de 3 días</p> <p>Mínimos anuales, medias de 7 días</p> <p>Mínimos anuales, medias de 30 días</p> <p>Mínimos anuales, medias de 90 días</p> <p>Máximos anuales, media de 1 día</p> <p>Máximos anuales, medias de 3 días</p> <p>Máximos anuales, medias de 7 días</p> <p>Máximos anuales, medias de 30 días</p> <p>Máximos anuales, medias de 90 días</p> <p>Cantidad de días con caudal cero</p> <p>Índice de flujo de base: caudal mínimo de 7 días/caudal medio anual</p> <hr/> <p><i>Subtotal 12 parámetros</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> · Equilibrio de organismos competitivos, ruderales y tolerantes a las presiones · Creación de sitios para la colonización de plantas · Estructuración de los ecosistemas acuáticos por factores abióticos vs. bióticos · Estructuración de la morfología del canal del río y las condiciones físicas del hábitat · Estrés de la humedad del suelo en las plantas · Deshidratación en los animales · Estrés anaeróbico en las plantas · Volumen del intercambio de nutrientes entre los ríos y las planicies de inundación · Duración de las condiciones de presión tales como bajo nivel de oxígeno y concentración de químicos en los ambientes acuáticos · Distribución de las comunidades de plantas en lagos, estanques y planicies de inundación · Duración de los caudales altos para la eliminación de residuos, aeración de los lechos de desove en los sedimentos del canal
3. Momento de las condiciones hidrológicas extremas anuales	<p>Fecha juliana de cada máximo anual de 1 día</p> <p>Fecha juliana de cada mínimo</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Compatibilidad con los ciclos de vida de los organismos · Predictibilidad/evitabilidad del estrés en los organismos

Grupo de parámetros IHA	Parámetros hidrológicos	Influencias en los ecosistemas
	anual de 1 día <hr/> <i>Subtotal 2 parámetros</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Acceso a hábitats especiales durante la reproducción o para evitar la depredación · Indicios para el desove de los peces migratorios · Evolución de las estrategias de los ciclos biológicos, mecanismos de comportamiento
4. Frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos	Cantidad de pulsos bajos en cada año hidrológico Media o mediana de la duración de los pulsos bajos (días) Cantidad de pulsos altos en cada año hidrológico Media o mediana de la duración de los pulsos altos (días) <hr/> <i>Subtotal 4 parámetros</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Frecuencia y magnitud del estrés de la humedad del suelo sobre las plantas · Frecuencia y magnitud del estrés anaeróbico sobre las plantas · Disponibilidad de hábitats en las planicies de inundación para organismos acuáticos · Intercambios de nutrientes y de materia orgánica entre el río y las planicies de inundación · Disponibilidad de minerales del suelo · Acceso a sitios de alimentación, descanso y reproducción para las aves acuáticas · Influye en el transporte de las cargas del fondo, la textura de los sedimentos del canal y la duración de las perturbaciones del sustrato (pulsos altos)
5. Tasa y frecuencia de los cambios de las condiciones hidrológicas	Tasas de ascenso: Media o mediana de todas las diferencias positivas entre valores diarios consecutivos Tasas de descenso: Media o mediana de todas las diferencias negativas entre valores diarios consecutivos Cantidad de inversiones hidrológicas <hr/> <i>Subtotal 3 parámetros</i> <hr/> TOTAL 33 PARÁMETROS	<ul style="list-style-type: none"> · Estrés de la sequía en las plantas (niveles decrecientes) · Atrapamiento de los organismos en las islas, planicies de inundación (niveles crecientes) · Estrés por la desecación de los organismos de baja movilidad en el borde de la corriente (<i>varial zone</i>)

FUENTE: The Nature Conservancy, 2009

ANEXO 1.2: RESUMEN DE LOS PARÁMETROS DE LOS COMPONENTES DEL CAUDAL AMBIENTAL (EFC)

Tipo de EFC	Parámetros hidrológicos	Influencias en los ecosistemas
1. Caudales bajos mensuales	<p>Valores de la media o la mediana de los caudales bajos durante cada mes calendario</p> <hr/> <p><i>Subtotal 12 parámetros</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> · Proporcionan hábitat adecuado para los organismos acuáticos · Mantienen temperaturas del agua, oxígeno disuelto y química del agua apropiados · Mantienen el nivel freático en las planicies de inundación, y la humedad del suelo para las plantas · Proporcionan agua potable para los animales terrestres · Mantienen los huevos de peces y anfibios en suspensión · Permiten a los peces moverse a áreas de alimentación y desove · Apoyan organismos hiporreicos (que viven en sedimentos saturados)
2. Caudales extremadamente bajos	<p>Frecuencia de los caudales extremadamente bajos durante cada año hidrológico o estación</p> <p>Valores de la media o la mediana de eventos de caudal extremadamente bajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Duración (días) · Pico del caudal (caudal mínimo durante el evento) · Momento (fecha juliana del pico del caudal) <hr/> <p><i>Subtotal 4 parámetros</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> · Permiten el reclutamiento de ciertas especies de plantas en las planicies de inundación · Eliminan especies invasoras introducidas de las comunidades acuáticas y riparias · Concentran las presas en áreas limitadas para beneficiar a los depredadores
3. Pulsos de caudal alto	<p>Frecuencia de los pulsos de caudal alto durante cada año hidrológico o estación</p> <p>Valores de la media o la mediana de eventos de pulso de caudal alto:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Duración (días) · Pico del caudal (caudal máximo durante el evento) · Momento (fecha juliana del pico del caudal) · Tasas de crecimiento y decrecimiento <hr/> <p><i>Subtotal 6 parámetros</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> · Modelan las características físicas del cauce del río, incluidos remansos y rápidos · Determinan el tamaño de los sustratos del lecho de las corrientes (arena, guijarros, pedruscos) · Impiden la invasión de vegetación riparia en el cauce · Restauran las condiciones de calidad normal del agua después de caudales bajos prolongados, arrastrando productos de desechos y contaminantes · Airean los huevos en gravillas de desove, impiden la sedimentación · Mantienen condiciones adecuadas de salinidad en los estuarios
4. Inundaciones pequeñas	<p>Frecuencia de las pequeñas inundaciones durante cada año hidrológico o estación</p> <p>Valores de la media o la mediana de eventos de pequeñas inundaciones:</p>	<p>Se aplica a pequeñas y grandes inundaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Proporcionan indicios de migración y desove a los peces · Provocan una nueva fase en el ciclo biológico (por ej., insectos) · Permiten que los peces desoven en las

Tipo de EFC	Parámetros hidrológicos	Influencias en los ecosistemas
	<ul style="list-style-type: none"> · Duración (días) · Pico del caudal (caudal máximo durante el evento) · Momento (fecha juliana del pico del caudal) · Tasas de crecimiento y decrecimiento <hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/> <p style="text-align: center;"><i>Subtotal 6 parámetros</i></p>	<p>planicies de inundación, proporcionando áreas de cría para los peces juveniles</p> <ul style="list-style-type: none"> · Proporcionan nuevas oportunidades de alimentación a los peces y aves acuáticas · Recargan el nivel freático de las planicies de inundación · Mantienen la diversidad de los tipos de bosque en las planicies de inundación mediante inundaciones prolongadas (es decir, diferentes especies de plantas tienen tolerancias diferentes) · Controlan la distribución y la abundancia de las plantas en las planicies de inundación · Depositán nutrientes en las planicies de inundación
5. Grandes inundaciones	<p>Frecuencia de las grandes inundaciones durante cada año hidrológico o estación Valores de la media o la mediana de eventos de grandes inundaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Duración (días) · Pico del caudal (caudal máximo durante el evento) · Momento (fecha juliana del pico del caudal) · Tasas de crecimiento y decrecimiento <hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/> <p style="text-align: center;"><i>Subtotal 6 parámetros</i></p> <hr style="width: 50%; margin: 10px auto;"/> <p style="text-align: center;">TOTAL 34 PARÁMETROS</p>	<p>Se aplica a pequeñas y grandes inundaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Mantienen el balance de especies en las comunidades acuáticas y riparias · Crean sitios para el reclutamiento de plantas colonizadoras · Dan forma a los hábitats físicos de las planicies de inundación · Depositán grava y piedras en las áreas de desove · Empujan material orgánico (alimentos) y desechos de madera (estructuras de hábitat) al cauce · Eliminan especies invasoras e introducidas en las comunidades acuáticas y riparias · Esparcen semillas y frutas de plantas riparias · Impulsan movimientos laterales del cauce del río, formando nuevos hábitats (cauces secundarios, meandros abandonados) · Proporcionan a las plántulas acceso prolongado a la humedad del suelo

FUENTE: The Nature Conservancy, 2009

ANEXO 1.3: ETAPAS DEL USO DEL IHA

Tharme (2009), manifiesta que el uso del programa abarca cuatro etapas básicas:

1. Importación de datos hidrológicos

IHA puede importar datos diarios desde tres tipos de formato diferentes: 1) Datos hidrológicos descargados de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos; 2) Datos de un archivo con formato .dat usado en versiones anteriores; y 3) Datos de un archivo de texto en el cual la primera columna contiene la fecha y la segunda contiene el valor de caudal. Las columnas deben estar limitadas por una coma, espacio, punto y coma o tabulador

FIGURA 1: VISUALIZACIÓN DE LA VENTANA DEL EDITOR DEL ARCHIVO DE DATOS HIDROLÓGICOS DEL SOFTWARE IHA

FlowDate	Flowrate in cms	Julian Day
01/01/1997	1.53	1
02/01/1997	1.53	2
03/01/1997	1.06	3
04/01/1997	1.06	4
05/01/1997	1.53	5
06/01/1997	1.53	6
07/01/1997	1.53	7
08/01/1997	1.53	8
09/01/1997	1.06	9
10/01/1997	1.06	10
11/01/1997	1.06	11
12/01/1997	1.06	12
13/01/1997	1.06	13
14/01/1997	1.06	14
15/01/1997	1.06	15
16/01/1997	2	16
17/01/1997	2.47	17
18/01/1997	2.47	18
19/01/1997	2.47	19
20/01/1997	2	20
21/01/1997	1.53	21

El último formato es el formato más fácil de comprender y utilizar en cualquier parte del mundo que se utiliza este software. Sin bien no se puede importar datos desde archivos Excel, los datos de Excel guardados en formato .csv - un archivo de texto delimitado por comas - se ajusta al tercer formato mencionado.

Después de importarse el archivo de datos hidrológicos aparece un editor de datos de archivo - ver figura 1 -, se debe guardar con un nombre único para que se pueda acceder a él desde un proyecto. Los archivos pueden ser guardados, borrados, cerrados y exportados.

2. Creación y manejo de proyectos

Cada proyecto está vinculado a un archivo de datos hidrológicos, y puede contener varios análisis. Cada proyecto tiene configuraciones que son iguales para todos los análisis del proyecto. Si se selecciona dos archivos de datos se podrá usar el proyecto sólo para comparar los dos archivos, no se tendrá la opción de analizar dos períodos o un solo período.

FIGURA 2: VISUALIZACIÓN DE LA VENTANA DEL PROYECTO, DESDE LA CUAL SE ACEDE A LAS PESTAÑAS DEFINICIÓN DEL PROYECTO Y LISTA DE ANÁLISIS DEL PROYECTO DEL PROYECTO IHA

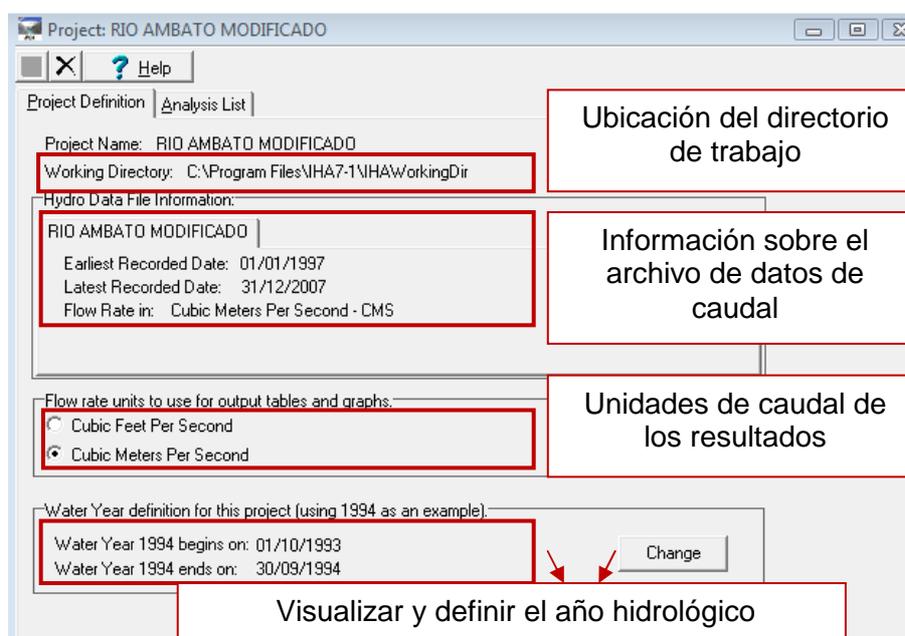
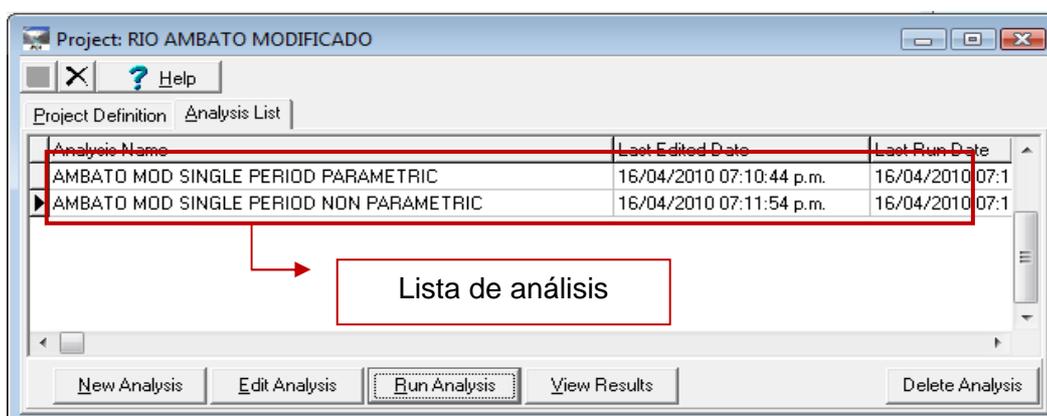


FIGURA 2: CONTINUACIÓN



La ventana del proyecto tiene dos pestañas. La pestaña *Definición del proyecto* contiene las configuraciones generales para todos los análisis del proyecto, algunas de ellas pueden estar sujetas a cambios. . La pestaña *Lista de análisis* muestra los análisis asociados con este proyecto, y los botones de esta pestaña pueden ser usados para crear un nuevo análisis, editar, ejecutar, borrar y ver los resultados del análisis seleccionado.

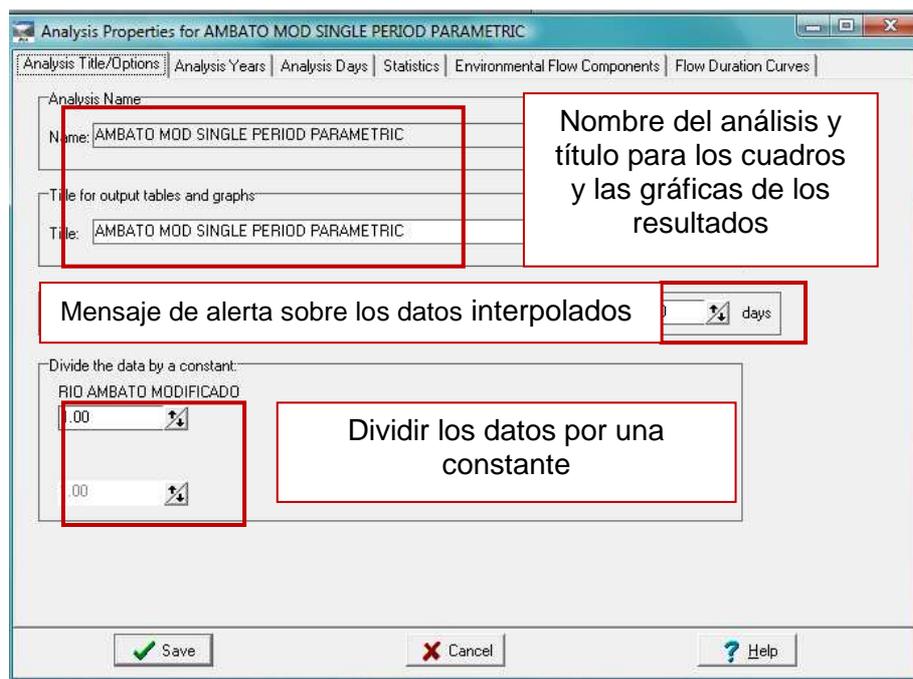
3. Estructuración y manejo un análisis

Parámetros y configuraciones están contenidos en cada análisis, cuyo manejo direccionará el análisis de los datos que el usuario requiere que el software realice. Se puede acceder a todas ellas abriendo la ventana *Propiedades del Análisis*. En esta ventana se encuentran las pestañas: Título del análisis/Opciones, Años del análisis, Días del análisis, Estadísticas, Componentes del caudal ambiental y Curvas de duración general (FDC, por sus siglas en inglés)

La pestaña *Título del Análisis/Opciones* permite definir el nombre del análisis, el título de los cuadros y gráficos de los resultados, la cantidad mínima de días interpolados que puede provocar la aparición de un mensaje de alerta, y una o dos constantes - conocidas como factores de normalización - para dividir los valores de los datos hidrológicos antes de calcular las estadísticas de caudal. Un uso posible de estos factores radica en la comparación de datos de cuencas

hidrológicas de diferente tamaño, a fin de que los caudales sean comparables (Ver Figura 3).

FIGURA 3: VISUALIZACIÓN DE LA VENTANA DE PROPIEDADES DEL ANÁLISIS Y CARACTERÍSTICAS DE LA PRIMERA PESTAÑA TÍTULO DEL ANÁLISIS/OPCIONES



La figura 4 muestra la pestaña *Años del Análisis* que aparece si se analiza solo un archivo de datos hidrológicos. Esta pestaña permite elegir entre un análisis de un solo período o de dos períodos y definir los años hidrológicos que se usarán en el análisis, para ello el usuario debe desplazar las barras deslizantes.

La pestaña *Días del Análisis* exhibe el año hidrológico definido para el proyecto, y permite limitar el período de tiempo que se usa para generar los parámetros IHA y definir dos estaciones para usar con parámetros EFC no mensuales.

La pestaña *Estadísticas* permite especificar si se usa estadísticas paramétricas o no paramétricas y definir los umbrales de pulso alto y bajo y los límites de las categorías de RVA (Ver figura 5).

FIGURA 4: VISUALIZACIÓN OPCIONES MOSTRADAS AL SELECCIONARSE LA PESTAÑA AÑOS DEL ANÁLISIS

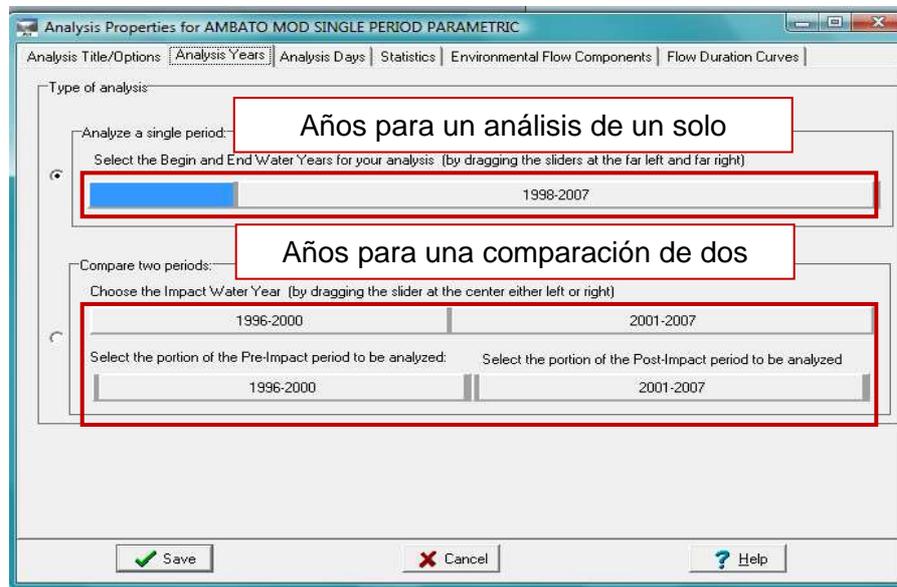
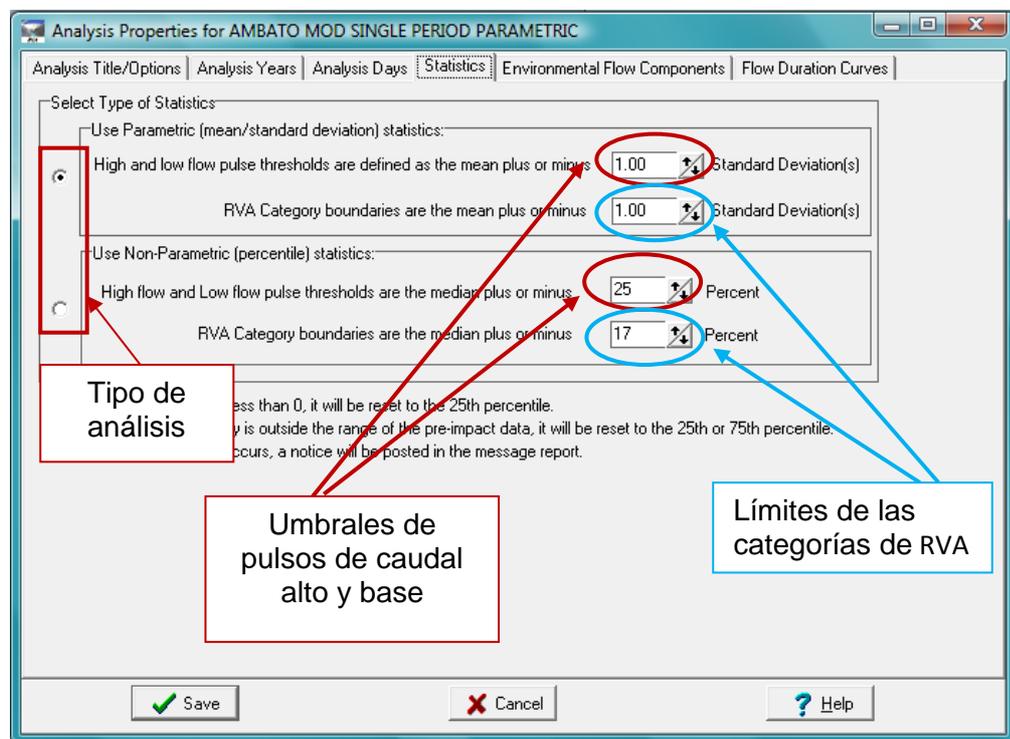
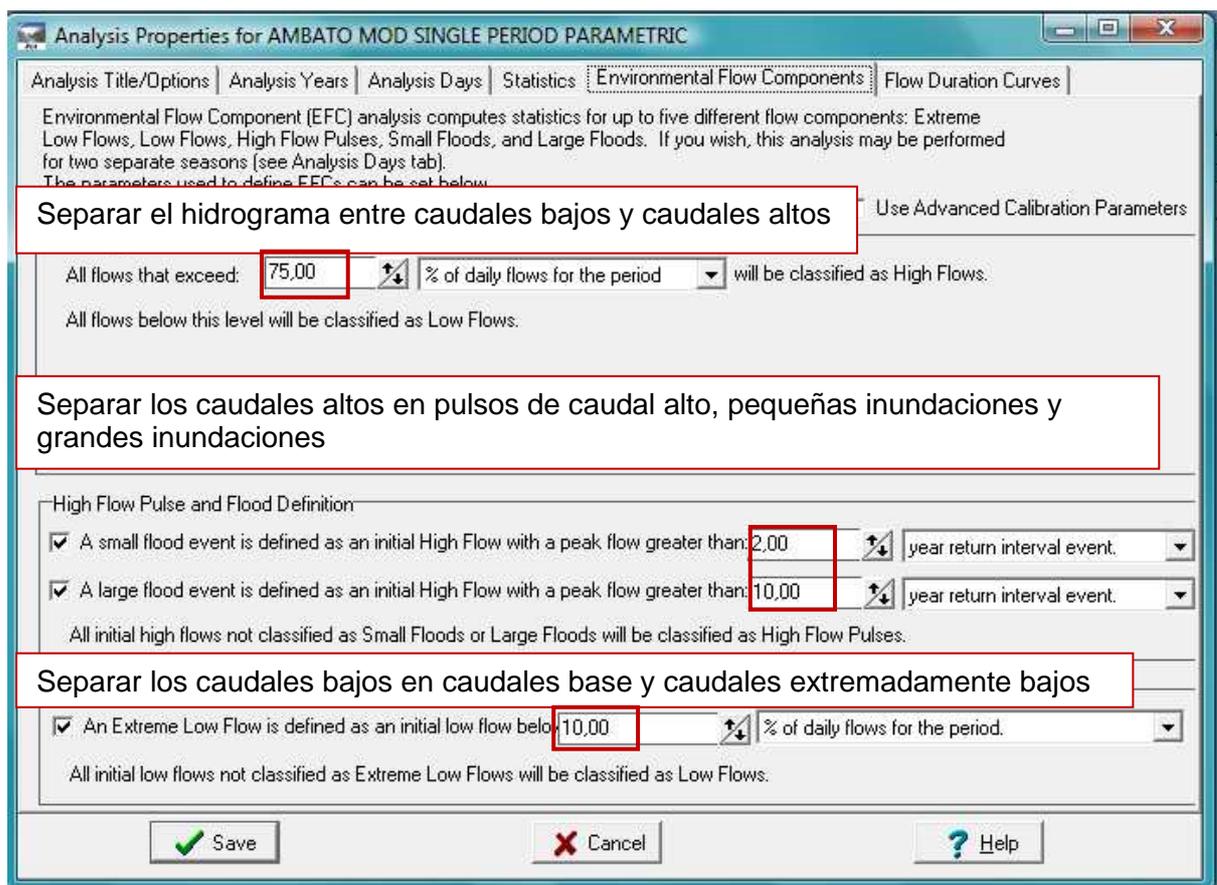


FIGURA 5: VISUALIZACIÓN DE LAS OPCIONES AL SELECCIONARSE LA PESTAÑA ESTADÍSTICAS.



La pestaña *Componentes de caudal ambiental* permite calibrar los parámetros del algoritmo que define los componentes del caudal ambiental. El algoritmo sigue tres pasos predeterminados por el software. Primero separa el hidrograma diarios entre caudales bajos y caudales altos. Seguidamente separar los caudales altos en tres clases - pulsos de caudal alto, inundaciones pequeñas e inundaciones grandes -. Finalmente, separa los caudales bajos en dos clases - caudales base y caudales extremadamente bajos -. Los valores predeterminados de los parámetros numéricos usados para el algoritmo EFC, se muestran en la figura 6; el usuario puede definir otros valores y seleccionar casillas de opciones según como desea que funcione el algoritmo.

FIGURA 6: VISUALIZACIÓN DE LAS OPCIONES AL SELECCIONARSE LA PESTAÑA COMPONENTES DE CAUDAL AMBIENTAL



La pestaña *Curvas de Duración General* permite seleccionar años individuales de análisis en cada período o archivo de datos. Los gráficos generados por el programa incluyen la FDC anual y cada una de las FDC mensuales.

4. Ejecutar un análisis y visualización de los resultados

Después de guardar un análisis, se lo puede ejecutar haciendo clic en el botón *Ejecutar Análisis* en la pestaña *Lista de Análisis*. Aunque, si se selecciona cualquier opción del botón *Ver resultados* el análisis se ejecuta automáticamente, lo mismo sucede cuando se hace clic en la ventana de un cuadro o gráfico que se mantiene abierta mientras se cambia las configuraciones del análisis.

Los resultados de IHA están disponibles como tablas y gráficos. Los resultados se generan haciendo clic en el botón *Ver Resultados*. La tabla 3.8 muestra las tablas para cada tipo de análisis.

Los tipos de gráficos disponibles son: datos anuales de los 33 parámetros IHA, datos anuales de los 34 parámetros EFC, alteración hidrológica, promedios mensuales para los períodos anteriores y posteriores al impacto, datos diarios, curvas de duración general de caudales. Todos los gráficos se generan en los casos en el que se analice dos períodos. Para un análisis de un periodo no están disponibles los gráficos sobre promedios mensuales para períodos anteriores y posteriores, y alteración hidrológica.

ANEXO N°2

INFORMACIÓN DE CAMPO SISTEMATIZADA POR EL

ECÓLOGO DEL COMPONENTE BIOLÓGICO PARA LOS

SITIOS INVESTIGADOS

ANEXO 2.1: VARIABLES FÍSICO-QUÍMICO MEDIDAS EN LOS SITIOS DE ESTUDIO DE LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA.

<i>Fecha</i>	<i>Río</i>	<i>Sitio</i>	<i>Descripción</i>	<i>OD (mg/L)</i>	<i>pH</i>	<i>Conduc. (μS/cm)</i>	<i>Temp. ($^{\circ}$C)</i>	<i>IHF (máx. 100)</i>	<i>QBR (máx. 100)</i>	<i>Riqueza Macroinvertebrados</i>
20/07/09	Cutuchi	aa	Bocatoma LSA	6,88	7,54	660	14,3	37	20	6,67
20/07/09	Cutuchi	AA	Bocatoma LSA	6,88	7,86	637	15,2	36	20	6,00
21/07/09	Ambato	aa	Bocatoma AHP	8,42	8,39	159,1	12,8	43	25	3,75
21/07/09	Ambato	AA	Bocatoma AHP	8,85	8,21	158,3	12,2	75	65	11,75
22/07/09	Cebadas	único	Sitio único	8,2	8,28	108,3	11,7	70	70	8,25
23/07/09	Chambo	aa	Bocatoma CDA	7,3	8,35	172,1	13,8	64	35	18,25
23/07/09	Chambo	AA	Bocatoma CDA	n	8,31	176,7	12,1	61	45	18,25
24/07/09	Pastaza	aa	Presa Agoyán, ventana 1, unión río Blanco	n	7,71	281,7	17,4	57	70	n
24/07/09	Pastaza	AA	Presa Agoyán, abajo del puentes San Francisco - Baños	n	7,66	344	15,0	61	55	n
25/07/09	Palora	único	Cerca del poblado de Arapicos	n	6,82	17,9	18,11	73	95	4,50

Fuente: Encalada, 2009b

AA: aguas arriba, aa: aguas abajo, n: no se muestreo

ANEXO 2.2: MATRIZ DE DATOS PUROS DE INVERTEBRADOS ACUÁTICOS MUESTREADOS EN LA CUENCA DEL PASTAZA

Fecha			20-Jul-09	21-Jul-09																	
Rio			Cutuchi	Ambato																	
Sitio			arriba	arriba	abajo	abajo	abajo	abajo	ref	ref	ref	ref	ref	arriba	arriba	arriba	arriba	abajo	abajo	abajo	abajo
Muestra			1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Orden	Familia	Genero	Cu.u.1	Cu.u.2	Cu.d.3	Cu.d.1	Cu.d.2	Cu.d.3	Cu.r.1	Cu.r.2	Cu.r.3	Cu.r.4	A.u.1	A.u.2	A.u.3	A.u.4	A.d.1	A.d.2	A.d.3	A.d.4	
Gastropoda						2		1											1		
Bivalvo												1							1		
Hydracarina																					
Hirundinea			5	11	4	2									1						
Planariidae									4	2	1	2	14								
Hyalellidae			14	11	10	4	2	3													
Oligochaeta	grande								2	1			7				7	1			1
Oligochaeta	pequena		3	12	5	6	2	4													
Coleoptera	Elmidae adult	Austrelmis							1	1	4	2	16	8			1				
		Microcyloepus																			
	Elmidae larvae								6	2	3	2	34		2	18					
	Hydrophilidae																				
	Scirtidae												1								
	Driopidae												3								
	Ptilodactylidae												1								
	Gyrinidae						1														
Ephemeroptera	Baetidae	Camelobaetidius																			
	Baetidae	Andesiops							8	10	4	2	86	28	3	31	32	19	1	10	
	Leptohyphidae																				
	Leptophlebiidae																				
Trichoptera	Hydrobiosidae	Genero x											1	1							
	Hydroptilidae												1				1				
	Limnephilidae									2	1	1	2				1				
	Calamoceratidae												1								
	Leptoceridae												1		1	1	2	1	1	1	1
	Helicopsychidae									1					1						
	Hydropsychidae											1									
	Odontoceridae																				
Plecoptera	Grypterygidae	Claudioperla											7	3	1	8					
	Perlidae	Anacroneuria																			
Diptera	Chironomidae								18	2	4	5	1			1	1				2
	Chironominae		30	25	12	4	12	11													
	Tipulidae								2				3				3				
	Athericidae			2		1	1	1													
	Simuliidae								4	3	5	8	32	1	5	6	1				
	Ceratopogonidae								9	1			4		24						
	Blepharoceridae												2	2							
	Limoniidae											2	1								
	Empididae									1						1					
	Tabanidae										1						1				
	Muscidae		1		1			1													
	Psychodidae		1	4	3	3	3	2													

Fecha			22-Jul-09								
Rio			Atillo	Atillo	Atillo	Atillo	Cebadas	Cebadas	Cebadas	Cebadas	
Sitio			único								
Muestra			1	2	3	4	1	2	3	4	
Orden	Familia	Genero	At.1	At.2	At.3	At.4	At.1	At.2	At.3	At.4	
Gastropoda											
Bivalvo											
Hydracarina							1				
Hirundinea			1	1	3						
Planariidae					7	6					1
Hyalellidae			2	18	2						
Oligochaeta	grande		20	15	61	77	2	2			12
Oligochaeta	pequena		8	15	18	29					
Coleoptera	Elmidae adult	Austrelmis	2	4	1	5		1			2
		Microcyloepus		1							
	Elmidae larvae			5	6	7	2	5	2		6
	Hydrophilidae					1					2
	Scirtidae										
	Driopidae										
	Ptilodactylidae										
	Gyrinidae										
Ephemeroptera	Baetidae	Camelobaetidius	1		5	1					
	Baetidae	Andesiops	1	1			4	24	21		20
	Leptohyphidae										1
	Leptophlebiidae										
Trichoptera	Hydrobiosidae	Genero x	1	1		1		2	1		2
	Hydroptilidae			5	1						
	Limnephilidae				3			1			1
	Calamoceratidae										
	Leptoceridae						1				
	Helicopsychidae										
	Hydropsychidae										
	Odontoceridae										
Plecoptera	Grypopterygidae	Claudioperla		2	2	1					
	Perlidae	Anacroneuria									
Diptera	Chironomidae			2		1		1			
	Chironominae										
	Tipulidae				3			1			
	Athericidae				2	5					
	Simuliidae				1		1		4		1
	Ceratopogonidae										2
	Blepharoceridae						2	17	13		2
	Limonidae										
	Empididae										
	Tabanidae										
	Muscidae										

Fecha			23-Jul-09	25-Jul-09	25-Jul-09	25-Jul-09	25-Jul-09								
Rio			Chambo	Palora	Palora	Palora	Palora								
Sitio			arriba	arriba	arriba	arriba	abajo	abajo	abajo	abajo	abajo	único	único	único	único
Muestra			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Orden	Familia	Genero	Ch.u.1	Ch.u.2	Ch.u.3	Ch.u.4	Ch.d.1	Ch.d.2	Ch.d.3	Ch.d.4	Pa.1	Pa.2	Pa.3	Pa.4	
Gastropoda				1											
Bivalvo															
Hydracarina															
Hirundinea			1	4		1	1	4		1					
Planaridae															
Hyalellidae															
Oligochaeta	grande		2	5	1	1	3	5	1	1					
Oligochaeta	pequena		1	1			1	1							
Coleoptera	Elmidae adult	Austrelmis	3	3	3	4	3	3	3	4					
		Microcyloepus													
	Elmidae larvae		7	7	3	2	7	7	8	2					
	Hydrophilidae														
	Scirtidae		1		8	1	1		8	1					
	Driopidae														
	Ptilodactylidae														
	Gyrinidae					1			1	1					
Ephemeroptera	Baetidae	Camelobaetidium	20	12	8	12	19	25	8	13	4	1			1
	Baetidae	Andesiops													
	Leptohiphidae										1				2
	Leptophlebiidae										2	3	1		3
Trichoptera	Hydrobiosidae	Genero x													
	Hydroptilidae		2	2	2	1	2	2	2	1					
	Limnephilidae														
	Calamoceratidae														
	Leptoceridae		1	1		1	1	3		1				1	1
	Helicopsychidae		2	2			2	2							
	Hydropsychidae			3	4	2		3	6	2					
	Odontoceridae										1				
Plecoptera	Gryopterygidae	Claudioperla													
	Perlidae	Anacroneuria	5	2	4	2	3	2	4	2	1	1	2		2
Diptera	Chironomidae		3	3	4	1	3	3	4	1				2	
	Chironominae														
	Tipulidae		1	2	1	2	2	3	1	2					
	Athericidae														
	Simuliidae		6	4	4	8	6	4	4	8				2	
	Ceratopogonidae														
	Blepharoceridae		2	2	2	2	1	2	1	2					
	Limoniidae														
	Empididae		3		1	2		3	1	1					
	Tabanidae				1	1			1	1					
	Muscidae														
	Psycodidae														

ANEXO N°3**LISTA DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS SOLICITADAS****AL INAMHI Y NÚMERO DE MESES POR AÑO DE****CAUDALES MEDIOS DIARIOS PARA CADA UNA DE****ELLAS**

**ANEXO 3.1: LISTA DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS SOLICITADAS AL
INMAHI**

Código	Nombre de la estación
H775	Pumacunchi en Latacunga
H776	Cunuyacu en Latacunga
H774	Cutuchi en Latacunga
H773	Alaquez aj Cutuchi
H763	Qda. Mula Corral aj. Calamaca
H764	Calamaca dj Q. Huarcusacha
H801	Ambato en Ambato
HB33	Ambato en Manzanahuaico
H783	Ozogoche en Los Lagos
H790	Cebadas aj Guamote
H786	Guamote aj Cebadas
H787	Alao en Hda. Alao
H772	Pumacunchi en H. Patococha
H854	Cutuchi en Caspi
H839	Muyo aj Pastaza
H812	Ulba aj Pastaza
H781	Verde aj Pastaza
H798	Pastaza aj Encanto
H800	Pastaza en Baños
H817	Patate dj Ambato
H792	Cutuchi aj Yanayacu
H788	Puela aj Chambo
H826	Chambo an Hda. Cahuaji
HB27	La Unión

aj: antes de la junta

dj: después de la junta

**ANEXO 3.2: NÚMERO DE MESES POR AÑO DE CAUDALES MEDIOS
DIARIOS DISPONIBLES PARA CADA ESTACIÓN HIDROLÓGICA**

	H-763	H-764	H-772	H-773	H-774	H-775	H-776	H-781	H-783	H-786	H-787	H-788	H-790	H-792	H-798	H-800	H-801	H-812	H-817	H-826	H-839	
1976										12												
1977										12												
1978										12												
1979										12												
1980										12												
1981										12												
1982			10	12	9	12	12	11	12	12	12	12	12	12	11	12	12				12	
1983			12	12	9	11	12	12		6	12	12	12	5	12	12	12				12	
1984			12	12	1	12	12	12	1		12	11	12	9	12	12	11				12	
1985			12	8		12	12	11			11	12	12	12	12	12	12				12	4
1986									1		12	10	12	10	11	10	10				12	12
1987											12	12	12	11	11	12	12				12	12
1988		1									12	11	12	6	11	12	12				12	12
1989		12						11			12	7	12	2	12	9	8				12	12
1990		10						12			12	12	11	12		8	5					
1991		12						11			9	12	8	12			4					
1992		12						12			12	12	9	12								
1993								12	4		10	12	11	12								5
1994								11	11		12	12	12	12		5						12
1995								11	8		11	12	12	12		5						7
1996								6	11		11	12	12	12		12						12
1997		12							12		11	12	12	12								11
1998	12	12							11		12	12	12	12								5
1999	12	12							11		11	10	12	12								
2000	10	9							12		11	6	12	12								
2001	12	12							9		12	5	12	12								
2002	12	12							12		11	1	12	10								
2003	5	12							12		10	12	12	11								
2004	8	12							12	1	9	12	9	10								
2005	12	12							12	12	12	12	12	10								
2006	12	12							12	12	11	12	12	12							2	
2007	12	12							12	12	12	12	12	10				12	12			

FUENTE: INAMHI

ANEXO N°4

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA SALIDA DE CAMPO

**A. VERTEDERO DE EXCESOS DEL PROYECTO DE RIEGO LATACUNGA
– SALCEDO – AMBATO. JULIO 2009**



**B. VISTA PANORÁMICA AGUAS ABAJO DE LA BOCATOMA DEL
PROYECTO DE RIEGO LATACUNGA – SALCEDO – AMBATO. JULIO
2009**



C. VISTA PANORÁMICA AGUAS ARRIBA DE LA BOCATOMA DEL PROYECTO DE RIEGO LATACUNGA - SALCEDO - AMBATO. JULIO 2009



D. VISTA PANORÁMICA DE LA BOCATOMA DARQUEA - TILULUM. JULIO 2009



E. LIMPIEZA DE LOS DERIPIADORES EN LA BOCATOMA AMBATO - HUACHI - PELILEO. JULIO 2009



F. VISTA AGUAS ARRIBA DE LA BOCATOMA AMBATO - HUACHI - PELILEO. JULIO 2009



G. AFORO AGUAS ABAJO DEL VERTEDERO DE EXCESOS DEL PROYECTO AMBATO – HUACHI – PELILEO. JULIO 2009



H. ZONA RIBEREÑA DEL RÍO CEBADAS - SITIO DE LEVANTAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL. OCTUBRE 2009



I. VISTA AGUAS ABAJO DE LA BOCATOMA DEL PROYECTO CHAMBO DESARROLLO AGRÍCOLA. JULIO 2009



J. CANAL DE DESVIACIÓN DEL PROYECTO CHAMBO DESARROLLO AGRÍCOLA. JULIO 2009



**K. RÍO PASTAZA EN LA ESTACIÓN H800 - BAÑOS DE AGUAS SANTA.
JULIO 2009**



**L. PRESA DE AGOYÁN – APORTE DE LA QUEBRADA SANTA ROSA.
NOVIEMBRE 2009**

