

I. INTRODUCCION

El agua que recorre los sistemas hídricos de los Andes hacia su vertiente occidental es el recurso con mayores usos destinados a suplir las necesidades de riego, energía eléctrica y consumo humano. La planificación y administración de los recursos hídricos ha considerado la distribución del agua, de acuerdo a las necesidades humanas supliendo las demandas del desarrollo de la población.

La temática de aseguramiento del recurso para el futuro al aplicar el concepto de la planificación de los recursos hídricos relaciona finalmente a la hidrología con la ecología al integrarlos en la temática de la Hidroecología. La historia ha identificado que las presiones humanas a las que se someten los cuerpos de agua y las variaciones del clima, superan la capacidad natural de los ecosistemas para regenerar el recurso y autodepurarse.

La relación entre las condiciones ecológicas de las cuencas y el nivel de agua es una consideración para la evaluación del estado de salud de los ríos. El acercamiento hacia la perspectiva de restauración de los ecosistemas, puede resumirse en la concepción del caudal ambiental concebido como caudal ecológico de los cuerpos de agua.

La ausencia en la aplicación de los criterios ecológicos sobre el diseño y la concepción de los proyectos han rezagado del campo de la ingeniería al caudal ecológico. A medida que pasa el tiempo, la apreciación ecológica para la concepción de los proyectos de infraestructura viene a ser emergente. Como una medida de prevención para mantener los cuerpos de agua, el establecer y respetar un caudal ecológico puede ayudar a restaurar las cuencas y reducir la pérdida económica que el déficit hídrico ocasiona.

La concepción del caudal ecológico ayudaría a preservar los ecosistemas hídricos que se encuentran intervenidos de diferentes formas por el hombre.

La falta de información hidroecológica ha desembocado en la omisión de consideraciones importantes para la conservación de los ecosistemas acuáticos y terrestres. La necesidad de forjar un precedente de investigación para la definición de la metodología para determinar el

caudal ecológico de los ríos Pita y San Pedro, nace de las condiciones que se deben tomar en cuenta para el manejo de las cuencas urbanas, las mismas que poseen usos muy diferentes a las cuencas ubicadas en áreas no pobladas.

Los estudios realizados para la definición de un caudal ecológico han recorrido Europa y Estados Unidos desde 1962 hasta la actualidad, y aún no se ha podido concretar un método estándar para su definición. Esta situación ocurre principalmente por las diversas condiciones que presentan los ecosistemas acuáticos y terrestres en cada latitud.

Los mayores acercamientos dirigidos a definir las relaciones entre los niveles de flujo y la presencia de fauna béntica han logrado concertar que la fauna béntica está asociada a las velocidades de la corriente de los cuerpos de agua en donde habitan. (*Dyson et al. 2003*) Los modelos para la definición del caudal ecológico desde Stalnaker, 1962 y Tennant 1979 hasta Extence *et al.* 1999, demuestran la necesidad de conectar la información hidrológica caracterizada por la estadística de los datos hidrológicos con la abundancia ecológica de los organismos.

La fauna béntica presente en las masas de agua de los ríos Pita y San Pedro aún no ha sido descrita en su totalidad. El acercamiento en cuanto a la relación física y química de la calidad del agua y varios indicadores biológicos de la misma, han formado parte de una idea para desarrollar el diseño de una metodología para el caudal ecológico en estos dos ríos.

La aplicación del caudal ecológico dejaría de lado todos los criterios anteriores como el caudal sanitario o de saneamiento, o del 10% de la curva de duración. Ya que el caudal ecológico no solo esta en función de caudal sino también toma en cuenta la participación de los organismos acuáticos y sus funciones dentro de los ecosistemas acuáticos.

1.1 Antecedentes

El FONAG es un mecanismo económico financiero, permanente y estable que utiliza los rendimientos del patrimonio para invertirlos en actividades y proyectos de rehabilitación, conservación y mantenimiento de las cuencas hídricas que abastecen de agua para las

necesidades humanas y productivas del Distrito Metropolitano de Quito y sus áreas de influencia.

El FONAG, además, está orientado a liderar procesos y consensos para que a través del diálogo y de la toma adecuada de decisiones se logre una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, en donde la participación activa, responsable y solidaria de la ciudadanía conlleve a un manejo sustentable y sostenido del recurso.

El FONAG aprobó la propuesta de la consultora ambiental Daniela Rosero del proyecto “Determinación del Caudal Ecológico de los ríos Pita y San Pedro en las infraestructuras de captación para generación eléctrica de las centrales de los Chillos y Guangopolo” el cual es realizado por el estudiante Roberto Rosero.

Este estudio se lo realizó con la intención de recuperar la cuenca del río Guayllabamba la cual se encuentra afectada por varios factores antrópicos.

El apoyo del FONAG para la realización del proyecto es de vital importancia proporcionando información bibliográfica y contribuyendo económicamente al desarrollo del mismo.

El caudal ecológico en el Ecuador ha sido considerado como un requerimiento ambiental para la operación y funcionamiento de proyectos de agua potable e hidroelectricidad. La mayoría de iniciativas de restauración ambiental ejecutadas en el Ecuador no han considerado al caudal ecológico como la principal herramienta para la recuperación del estado natural de las cuencas.

Es necesario partir de la premisa, de que el caudal ecológico al que se va a llegar no será el caudal que existe actualmente en los cuerpos de agua con poca o ninguna intervención humana, sino, será el caudal que dadas las condiciones béticas del río, defina el nivel de descarga necesario para mantener estable la calidad del agua y con ello la vida en el río. Para esto es imprescindible definir cuál es la comunidad, cuya composición, estructura y funcionamiento se pretende mantener (García de Jalón, 1990).

El Consejo Nacional de Recursos Hídricos a través de la *Gestión de los Recursos Hídricos en el Ecuador: Políticas y Estrategias*, establece un criterio del 10% del caudal medio anual conocido también como Caudal Sanitario, como parte de los Balances hídricos en el Diagnóstico de los Recursos Hídricos.

Entre las estrategias del CNRH se contempla la protección de los recursos hídricos para lo cual se propone establecer una normativa referente a los caudales ecológicos, la cual dejaría de lado al criterio de caudal sanitario (CNRH, 2002).

1.2 Área de Estudio

El área de estudio se ubica en la Provincia de Pichincha. La zona de trabajo ha sido escogida en relación con la posibilidad de ejercer una gestión directa por parte de los usuarios y actores principales (Empresa Eléctrica Quito, Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable Quito, Municipio de Rumiñahui, Distrito Metropolitano de Quito y la poblaciones del Valle de los Chillos y Quito) de los recursos que proveen los ríos Pita y San Pedro al ingresar a la zona urbana de los municipios. Las subcuencas de estudio son cuencas urbanas con ecosistemas bajo presión y altamente intervenidos.

La zona de estudio se indica en el siguiente mapa en escala de 1:50000. Los ríos en estudio conforman la cuenca alta del río Guayllabamba y comprenden un área de drenaje de 1334 km². (Ver mapa N.-2, Anexo 3)

En las partes altas de la zona de páramo en donde nacen los ríos Pita y San Pedro forman una red densa de cursos hídricos que ingresan al área de la Hoya de Quito.

1.2.1 Río Pita

El río Pita nace al sureste de los deshielos del Cotopaxi a la cota de 4533 msnm con el nombre de Pedregal. Este río atraviesa todo el valle de los Chillos y casi al pie del Ilaló se une con el San Pedro.

En el río Pita aguas arriba esta sometida a poca intervención humana por lo cual la contaminación orgánica es baja.

En la parte baja, el agua que es conducida hacia la Central Los Chillos presenta características hidráulicas muy diferentes a las que presenta aguas arriba. Ver fotografía.



Canal de la toma de la Empresa Eléctrica Quito

1.2.2 Río San Pedro

Nace al suroeste de la hoya a una cota de 4387 msnm, atraviesa el valle de Machachi, llega al valle de los Chillos donde cerca de Sangolquí recibe pequeños afluentes y poco antes de Conocoto recibe las aguas del Capelo. Su principal afluente es el río Pita

El río San Pedro cruza por el poblado de San Rafael en donde llega a la captación que ingresa al túnel que lo conduce hacia el reservorio de Guangopolo. Las condiciones del río son diferentes debido al aporte de contaminación orgánica de los poblados por donde recorre el río hasta la captación. Ver Fotografía.

En este punto la referencia para el análisis de vida acuática es importante y facilita el análisis para las consideraciones aguas abajo, a pesar de existir una fuerte presencia de contaminación por desechos sólidos.



Río San Pedro en Tabaoda

1.2.3 Unión del río Pita con el río San Pedro

En este tramo se puede observar la gran cantidad de contaminación orgánica que trae con su caudal el río San Pedro y la importancia del caudal de río Pita el cual apoya con su caudal para un lavado de nutrientes entre estos dos. Estos dos ríos se unen a una cota de 2500 msnm. Ver Fotografía.



Unión de los ríos Pita y San Pedro

1.3 Problemática Actual

En la cuenca alta del río Guayllabamba los usos de los ríos están dirigidos a consumo humano, hidroeléctrico y en menor escala a riego. Las captaciones de los ríos Pita y San Pedro están destinadas principalmente para generación eléctrica, a pesar de que la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Quito, EMAAP - Q tiene una concesión en el río Pita ubicada después de la junta con el río El Salto a 3870 msnm, también existe un túnel que desvía el cauce del río Pita para desembocar en lo que luego se conoce como el río Santa Clara. Al igual que en el río Pita se han observado dos captaciones en el río San Pedro, a la altura de la parroquia de Amaguaña, destinadas para consumo humano. Finalmente los ríos son captados en su totalidad en las Centrales de los Chillos y Guangopolo. Ver figura N.- 6, Anexo 1.

Los cuerpos de agua que están intervenidos por las captaciones de las obras de infraestructura, han sufrido una desviación en su dinámica natural. El uso del recurso para la generación eléctrica es una de las principales amenazas para la pérdida total del ecosistema aguas abajo y su posterior disminución aguas arriba.

Las condiciones de referencia de los ríos aguas arriba de las captaciones pueden ser valoradas de acuerdo a la calidad del agua (Ríos & Prat, 2003) y con ello definir el caudal ecológico que debe existir en el río a pesar de las intervenciones que alteran su régimen natural. Debido a que se capta la totalidad del cauce, únicamente en el río Pita en la central Los Chillos en época de lluvias se puede observar un excedente que pasa por un vertedero de excesos hacia el cauce natural permitiendo el lavado de nutrientes y el desarrollo de cierta vida acuática, mientras que durante la época seca este paso permanece seco. Ver Fotografía N.- 1, Anexo 2.

El caso del río San Pedro es alarmante debido a que una vez que se capta todo el caudal del río, el cauce queda seco y el único aporte de agua para la presencia de un flujo base aguas abajo de la captación, lo ofrecen las descargas de aguas negras de las urbanizaciones aledañas. En la toma de San Rafael el río pasa a través de un túnel hasta un pequeño reservorio que luego transporta el cauce en un canal abierto y finalmente al túnel que llega al reservorio de Guangopolo.

El estado de los ríos es ya un indicativo de la baja calidad del agua, esto sumado a la pérdida del recurso dan como resultado condiciones alarmantes como el caso de la Unión de los ríos Pita y San Pedro. Es por condiciones como esta que la necesidad de implementar un caudal ecológico preliminar o precedente pueden ayudar a empezar el trabajo de recuperación y restauración de los ecosistemas.

En la unión de los dos ríos, el aporte del caudal del río Pita determina las condiciones de velocidad que permiten que el río San Pedro se lave de los nutrientes y minerales que aportan los poblados cercanos y que causan la baja calidad del mismo. Sin embargo, en la parte baja de la unión de los ríos luego de la captación del río San Pedro existe un gran aporte de aguas servidas que alimentan finalmente el cauce del río en su destino hacia el valle de Tumbaco, en esta zona la calidad del agua no permite la vida de ningún organismo indicador de un buen estado.

Durante el desarrollo del proyecto se pudo observar una fuerte presencia de contaminantes orgánicos (Ver Tabla N.- 3 y 4 Muestreo Físico – Químico) en especial dos nutrientes

importantes (P,N) que son indicativos de baja calidad del agua y que están asociados a descargas de aguas negras y la presencia de heces de ganado.

Los parámetros de sulfatos y nitratos (Ver Tabla N.- 3 y 4 Muestreo Físico – Químico) fueron los mejores indicadores de la fuerte presencia de materia orgánica en descomposición que se acumula en los ríos, especialmente en la parte baja o luego de las captaciones en donde la falta del flujo no permite la disolución de estos nutrientes y fomenta la generación de gases de mal olor.

1.4. Estado de la cuenca

La investigación se ha desarrollado de una manera periódica en la que se han podido registrar dos temporalidades muy marcadas por las condiciones climáticas.

El primer periodo responde a la época seca, que comprende desde junio a septiembre del 2005. Las condiciones de fin del verano se marcan claramente a partir del mes de octubre en la que empiezan a aparecer fuertes lluvias acompañadas de granizo y bajas temperaturas del agua.

En la segunda temporalidad corresponde a la época de lluvias, registrada desde octubre del 2005 hasta mayo del 2006, las bajas temperaturas del agua y del ambiente en la mañana y en la tarde han favorecido al escurrimiento superficial que ha eliminado las acumulaciones de materia orgánica de las márgenes de los dos ríos.

Las subcuencas de los ríos San Pedro y Pita han sido por años herramientas de uso para suplir las necesidades de la creciente población, sin embargo la ejecución de este proyecto pone en evidencia la imperiosa obligación de considerar a la cuenca como un sujeto de planificación.

Este trabajo esta relacionado con el valor del caudal ecológico que debe existir en los ríos bajo estudio y que no puede responder únicamente a una cantidad de agua. Las condiciones

aguas arriba de las captaciones de los ríos son igualmente importantes que las condiciones aguas abajo.

Al identificar los focos de contaminación y las captaciones ilegales se puede asegurar que el caudal ecológico sea la respuesta a la recuperación que se anhela para la Hoya de Quito.

La mayoría de quebradas que comprenden el sistema de la Hoya de Quito se encuentran en mal estado debido a la presencia de basura y el aporte de descargas de aguas servidas. (Fotografías N.- 13 y 14, Anexo 2)

1.4.1 Fuentes de contaminación

En la cuenca alta del río San Pedro se ubican la mayor cantidad de fuentes fijas de contaminación especialmente en las áreas de mayor población. El Cuadro No. 1 presenta una lista de todos los barrios y urbanizaciones ubicadas en la subcuenca del río San Pedro, estos poblados se encuentran dentro de los Cantones Rumiñahui y Mejía que cuentan con instalaciones de alcantarillado combinado pero no cuentan con un sistema de tratamiento final que permita eliminar las descargas con características de calidad dentro de los parámetros permisibles de la Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador.

Cuadro N.- 1 Poblados asentados a lo largo del río San Pedro.

Poblado	Quebrada / Río	Subcuenca
Roble Antiguo	Río Capelo	<i>Río San Pedro</i>
Los Bohíos		
Las Orquídeas		
Urb. Capelo		
Las Retomas		
Jardines de Capelo		
Coop. Juan de Salinas		
Mutualista Pichincha		
18 de Septiembre		

Urb. Asociación de Profesores de la Facultad de Medicina	Q. San José
El Purun Urb. San Pedro El Triangulo San Rafael Urb. Chiriboga Valle Verde	Río San Pedro
La Leticia	Q. de las Lanzas
San Guillermo El Ejido Cotogchoa El Manzano El Milagro Gasolinera El Oso Fabrica Funymaq Fabrica Ecuacobre Fabrica Alimesa Fabrica La Jugosa	Q. Suruhuaycu
La Libertad Turucucho Mushunan Los Cisnes Molinos de Viento La Serrana Manantial San Nicolás Sangolquí	Río San Nicolás
Salcoto Cachaco	<i>Río Cachaco</i>

Aurelio Naranjo La Esperanza Ministerio de Defensa Nacional Club de Oficiales Yaguachi La Tola 31 de Mayo		
Los Pirineos Luz de América San Fernando San Francisco de Jijon Club Los Chillos Fabrica Enkador Dinacop Selva Alegre 8 de Diciembre Balcón del Valle El Colibrí Olmedo Andrade	Río Santa Clara	

Fuente: Municipio de Rumiñahui, 2005

El área de peor estado junto con la ausencia total de agua en el cauce, esta después de la captación de San Rafael. Desde la captación de San Rafael hasta la unión con el río Pita, el río San Pedro es un cauce casi perdido que tiene una alta incidencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos (animales muertos, aguas servidas, material fecal de ganado y desechos sólidos). Ver fotografía N.- 25, Anexo 2

1.4.1.1 Descargas Líquidas

Este es un factor muy importante para entender la calidad del agua de uno de los ríos más importantes del país. El río San Pedro recoge una serie de efluentes líquidos provenientes de

poblados, casas dispersas, urbanizaciones e instalaciones de alcantarillado del Municipio de Rumiñahui, Mejía y del Distrito Metropolitano de Quito.

Las descargas líquidas se pueden dividir en efluentes domésticos e industriales, a pesar de que de manera conjunta son liberados a cuerpos receptores que desembocan en la mayoría de casos en el río San Pedro y en ciertos casos en el río Pita.

Actualmente, Sangolquí cuenta con 13 zonas de alcantarillado cuyo destino final son los ríos Pita y San Pedro. El Cuadro No. 2 presenta los subsistemas de alcantarillado con su respectivo cuerpo receptor.

Cuadro N.- 2. Subsistemas de alcantarillado y cuerpos a los que desembocan.

Zonas de Alcantarillado	Cuerpo Receptor
Subsistema No. 1	Quebrada San José Río Capelo
Subsistema No. 2	Río Capelo Río San Pedro
Subsistema No. 3	Río Pita Río San Pedro Río Santa Clara
Subsistema No. 4	Río Santa Clara Río San Pedro
Subsistema No. 5	Río Pita Río Santa Clara
Subsistema No. 6	Río San Pedro Río Cachaco Río San Nicolás
Subsistema No. 7	Río Pita
Subsistema No. 8	Río Pita
Subsistema No. 9	Río Capelo

	Quebrada Santa Isabel
Subsistema No. 10	Río Capelo Quebrada Santa Isabel
Subsistema No. 11	Río Cachaco Río San Nicolás Río Santa Clara Río Sambache Quebrada Chicaucu
Subsistema No. 12	Río San Nicolás Río La Merced
Subsistema No. 13	Río San Pedro Quebrada Yanahuaico Quebrada Las Lanzas

Fuente: Municipio de Rumiñahui, 2005

Los sitios de descargas de casas dispersas y urbanizaciones se han identificado como se presentan en la Figura No. 1, Anexo 1. Estos lugares aportan con descargas puntuales con diferentes tiempos de duración. Las condiciones de los ríos en las zonas de descargas de contaminantes son bastante malas y la acumulación en el fondo del lecho del río genera gases de mal olor cuando el nivel del agua baja.

Estos efluentes no reciben ningún tratamiento adecuado para el tipo y las características de los compuestos presentes en ellos, no necesariamente por parte de las mismas industrias que quizás cumplen con la normativa vigente, sino del efluente que una vez combinado con las aguas lluvias y servidas egresan del sistema sin ser tratadas en una planta de tratamiento residual.

Como se puede observar en la Figura No. 2, Anexo 1 la ubicación de las industrias dentro del área del Valle de los Chillos que compete al Distrito Metropolitano de Quito es amplia y

por esta razón los entes reguladores no pueden ejercer un control estricto sobre todas las industrias.

Esta información fue obtenida de la Jefatura de Ambiente de la Administración Zonal del Valle de Los Chillos, la cual permite identificar el nivel de control que se esta ejerciendo y que al parecer es aún deficiente. Las industrias presentadas en la Figura No. 2, Anexo 1 son aquellas que se encuentran registradas y estos fueron los establecimientos de los cuales se observó descargas.

Se han identificado dos fuentes específicas de contaminación orgánica del agua y que corresponden al funcionamiento de mataderos de animales y áreas de faenamiento. Estas instalaciones no poseen permisos ni regulaciones por parte de ninguna autoridad. Los cuatros sitios registrados en donde se ha observado la descarga de aguas contaminadas con material orgánico están ubicadas en San Pedro de Taboada y Fajardo y no pertenecen a las instalaciones del Camal Metropolitano de Quito. Estos sitios conocidos como camales eliminan sus aguas de forma directa hacia las quebradas cercanas que finalmente alimentan al río San Pedro. Como se puede observar en el a Figura N.- 3, Anexo 1 los cuatro camales identificados están dentro de la jurisdicción de Rumiñahui y se ubican en casas.

Otro foco de contaminación orgánica a gran escala es el que producen los lixiviados del inadecuado relleno sanitario de Cashapamba. (Ver Figura N.- 4 Anexo 1) Este lugar no posee las condiciones adecuadas de funcionamiento de un relleno sanitario, por lo cual se conoce como el botadero de Cashapamba. Este sitio colinda con el río Pita en donde el río lleva un caudal base que se alimenta de los lixiviados producidos por la lluvia en contacto con la basura depositada.

1.4.1.2 Desechos sólidos

Desde la perspectiva de la conservación de los ecosistemas de manera integrada, no se puede dejar de lado la afectación hacia el suelo lo que conlleva a la degradación de la vegetación y la perdida de fauna. Durante esta fase del estudio se registraron largos periodos con ausencia de escurrimiento superficial, a pesar de haber registrado eventos de lluvia.

Se han registrado algunas quebradas que por estar cercanas a poblados y asentamientos de casas dispersas han pasado a ser escombreras y depósitos de basura ilegales. El caso del botadero de Cashapamba, fue registrado debido a que es designado por el mismo Municipio de Rumiñahui como el sitio de disposición final de desechos, sin ningún previo tratamiento. De igual manera se registraron dos lugares más ubicados en Amaguaña y Fajardo, estos lugares están muy relacionados con los puentes que cruzan el río. Ver Fotografías N.- 11, 13, 14 y 15, Anexo 2.

En la Figura N.- 4, Anexo 1 se ha referenciado geográficamente el basurero a cielo abierto y las quebradas en donde se ha registrado basura. Finalmente, al ingresar a la zona urbana de la subcuenca del río San Pedro se encuentran una serie de barrios y casas asentadas dentro del área de protección de las quebradas y ríos, estas zonas se han ubicado en los principales ríos que alimentan al río San Pedro en donde han proliferado los conjuntos habitacionales. (Ver fotografía N.- 8, Anexo 2).

Al mismo tiempo, la basura presente en la zona urbana de la subcuenca del San Pedro y Pita se ha reducido en gran medida, gracias a las protecciones presentes en los puentes y áreas por donde las personas solían transitar para ir a depositar la basura.

La Figura No. 5, Anexo 1 presenta las urbanizaciones, conjuntos habitacionales, casas y recintos que generan descargas a los ríos principales presentados en la red hidrográfica del río Pita y San Pedro.

1.4.2. Captaciones de caudal

La presencia de captaciones clandestinas e ilegales (Ver Figura N.- 6, Anexo 1) son la principal razón para que no exista un caudal ecológico que se mantenga de forma natural luego de abastecer a la captación o concesión otorgada por la Junta de Aguas respectiva y que demanda la Empresa Eléctrica Quito, en este caso.

En el río San Pedro las captaciones para riego son pocas y se han podido identificar específicamente en las Haciendas por donde cruzan las quebradas que abastecen al río

principal. No existen captaciones para agua potable excepto las que ocupan la Parroquia de Amaguaña proveniente de la Q. Taxourcu y las que utiliza el Municipio de Rumiñahui, estas finalmente abastecen al río San Pedro, luego de lo cual, las quebradas funcionan como un colector sanitario que lleva las aguas negras de la zona de Amaguaña hacia el río San Pedro en la parte baja.

En el caso del río Pita existen una serie de captaciones para las haciendas ubicadas aguas arriba de la captación de Molinuco y que causan serios problemas a la Central Los Chillos debido al bajo nivel de agua que se encuentra en el cauce que finalmente llega a la captación de Molinuco. El proyecto de agua potable Pita – Tambo de la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable extrae del río Pita en la zona de Rumipamba un caudal aproximado de $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$, y luego de esta captación existe un túnel subterráneo que lleva aproximadamente $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ hacia el nacimiento del río Santa Clara. Estas dos captaciones son las más representativas, sin embargo el Municipio de Rumiñahui solo tiene conocimiento de la captación concesionada a la EMAAP – Q.

A lo largo del río Pita hasta el límite cantonal se han registrado cerca de 16 captaciones ilegales construidas con saquillos de arena o diques de material vegetal y rocas que desvían el cauce del río hacia las haciendas cercanas de la zona. (Cuadro N.- 3) Estas captaciones no son permanentes y varían de acuerdo a las limpiezas que realiza la Empresa Eléctrica Quito. Esta condición resulta en la sequía total del cauce de exceso que se estima durante esta época por parte de la EEQ, que debe cerrar las compuertas de paso debido al bajo nivel del cauce que llega hasta la captación de Molinuco.

La captación para la central Los Chillos cuenta con dos captaciones compuestas por un canal superior y el principal en la parte inferior. El canal superior conocido como canal nuevo, conduce el agua durante los meses de lluvia hacia el reservorio en Santa Rosa de Cashapamba (Fotografía N.- 17, Anexo 2). El canal inferior o antiguo, capta el cauce total del río, especialmente durante los meses secos y tiene un tiempo de vida superior a los 40 años. (Ver Fotografía N.-5, Anexo 2).

El principal problema identificado por parte de la Empresa Eléctrica Quito, para ejecutar el caudal ecológico, ha sido alcanzar un caudal de generación que permita suplir las demandas

energéticas y financieras que tiene la empresa. Esto se debe en gran parte a la innumerable cantidad de captaciones que existen en los ríos San Pedro y Pita, aguas arriba de las captaciones de San Rafael y Molinuco de la Empresa Eléctrica Quito.

Las captaciones que se han registrado a lo largo de los ríos, no están contempladas como concesiones legales y tampoco ocurren de forma permanente. Frente a este problema, se han realizado recorridos, con las mismas características de los recorridos que realizan los personeros de la Empresa Eléctrica Quito en el río Pita, en donde se han georeferenciado las captaciones en los dos ríos de estudio. Además para conocer los rangos de extracción de caudal que ocurren en los ríos y responder técnicamente a los valores tan bajos de caudal registrados en las captaciones de las centrales hidroeléctricas, se han aforado los caudales de las acequias, canales, trasvases y captaciones registradas.

Esta información corresponde a aforos puntuales realizados durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2005. La información no ha presentado grandes picos de crecidas, entre los datos registrados en estos ríos afluentes, sin embargo si se tuvo en cuenta los eventos de crecidas producto de las fuertes lluvias. El Cuadro No. 3 presenta los valores de caudal de cada uno de los ríos y las zonas de extracción con sus caudales correspondientes.

Cuadro N.- 3. Caudales extraídos de los río Pita y San Pedro antes de las captaciones de las Centrales Hidroeléctricas de Los Chillos y Guangopolo.

Subcuenca del río Pita		
Identificación	Coordenadas UTM	Caudal de Extracción (m ³ /s)
Captación 1 Sistema Pita – Tambo (EMAAP – Q)	0785110;9945818	2.5
Captación 2 Trasvase Santa Clara	0786767;9949232	0.54
Captación 3	0783886;9945026	0.042
Captación 4	0787754;9950914	0.007
Captación 5 Cotogchoa (Municipio de Rumiñahui)	0790150;9957657	0.21

Captación 6 Los Chillos (Municipio de Rumiñahui)	0788713;9959574	0.015
Captación 7 Cashapamba (Municipio de Rumiñahui)	0787583;9950845	0.014
Subcuenca del Río San Pedro		
Captación 1 San Pedro – Capelo (Municipio de Rumiñahui)	0783818;9969364	0.023
Captación 2 Fajardo	0783202;9965291	0.022
Captación 3	0782551;9967584	1.5
Captación 4	0776287;9956767	1.1
Captación 5	0781387;9960943	0.008
Captación 6	0782962;9962621	0.02
Captación 7	0783462;9964572	0.09
Captación 8	0782620;9967482	0.007
Captación 9	0783989;9969262	0.2

Fuente: EMAAP, Municipio de Rumiñahui, 2005.

En la Figura No. 6, Anexo 1 se puede observar las captaciones registradas en los puntos de estudio, en donde se ha dado gran atención a las áreas ubicadas aguas arriba de las captaciones de las centrales. De igual manera se puede observar los caudales de cada uno de los cuerpos de agua y como varían de acuerdo a las extracciones.

Las áreas de influencia que reciben los caudales extraídos de manera ilegal y clandestina tienen diferentes usos y su destino final cambia de acuerdo a ello. Las alcantarillas y colectores llevan el agua extraída de un lugar a otro y no necesariamente reingresa al mismo sistema hídrico.

Esto sucede específicamente en el río Pita en donde el agua del trasvase de Santa Clara y la toma del proyecto Pita – Tambo son utilizadas por la ciudad de Quito y Sangolquí, en donde su destino final son los ríos San Pedro y Machangara, respectivamente. A pesar de estar hablando de la cuenca del río Guayllabamba, el concepto del reingreso al mismo sistema, en este caso el río Pita en si, fortalece el concepto del caudal ecológico y los requisitos técnicos que para el efecto necesita la Empresa Eléctrica Quito, en función de hacer efectiva esta solución ambiental.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

El siguiente trabajo tiene como objetivo general:

- Determinar el caudal ecológico de los ríos Pita y San Pedro en las infraestructuras de captación para generación eléctrica de las centrales de los Chillos y Guangopolo.

2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos a alcanzar son los siguientes:

- Definir una metodología para determinar el caudal ecológico en los ecosistemas intervenidos de las cuencas urbanas.
- Inventariar las captaciones de agua que ocurren en los ríos así como los focos de contaminación directa.
- Determinar el caudal ecológico estacional que se debe mantener en los ríos Pita y San Pedro en las infraestructuras de captación para generación eléctrica, sobre la base de un modelo conceptual.
- Referenciar geográficamente las condiciones de la calidad de los ríos y su relación con el flujo de los cauces.
- Generar cartografía actualizada sobre las condiciones de los ríos utilizando información geográfica de campo.

III. MARCO TEORICO

3.1. Caudal Ecológico

Existen varias definiciones de caudal ecológico de acuerdo a las experiencias de países que han sufrido la degradación de sus cuencas. Para el siguiente estudio se citarán algunas definiciones:

La conceptualización aceptada sobre caudal ecológico es aquella que lo define como *“la cantidad de agua que permite asegurar, conservar y mantener los ecosistemas naturales acuáticos, la producción de las especies de interés deportivo o comercial así como la conservación y mantenimiento de los ecosistemas ribereños y los aspectos estéticos del paisaje y de otros de interés científico y cultural”* (Davis & Hirji, 2003).

Se podría definir el caudal ecológico como: *“El agua reservada para preservar valores ecológicos; los hábitats naturales que cobijan una riqueza de flora y fauna, las funciones ambientales como purificación de aguas, amortiguación de los extremos climatológicos y hidrológicos, los parques naturales y la diversidad de paisajes.”* (Michiel Verweij, 2001).

El Ministerio de Agricultura de Perú lo define como: *“El caudal ecológico es la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat del río y su entorno en buenas condiciones, considerando las necesidades de las poblaciones humanas, animales y vegetales, así como los requerimientos físicos para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones tales como la de flujo de dilución, capacidad de conducción de sólidos, recarga de acuíferos, mantenimiento de las características estéticas y paisajísticas del medio.”* (http://www.minag.gob.pe/hidro_hidro_prob.shtml. Ministerio de Agricultura de Perú, 2005)

El caudal ecológico es para las personas el caudal que debería existir en los ríos, a pesar de cualquier uso al que sean sometidos los recursos hídricos (CNRH, 2005).

Para el desarrollo de un régimen de flujo de caudales ecológicos se deben considerar como mínimo los caudales de crecida, caudales de lavado de nutrientes y el caudal para mantener

la cadena alimenticia (Petts and Maddock, 1994). El caudal mínimo aceptable para la especies riofílicas puede derivarse de la combinación de las tolerancias de las especies con la velocidad y el caudal (Brunke *et al.* 2001). Estas necesidades se resumen en el caudal ecológico que mantiene una velocidad de lavado de nutrientes que a la vez permite la repoblación de las especies que suelen encontrarse en regímenes de caudal con dicha velocidad.

La mayor parte de los invertebrados bénticos son lo suficientemente hidrodinámicos o presentan adaptaciones de comportamiento o especializaciones morfológicas (búsqueda de refugios, presencia de ventosas, lastres, etc.) como para desplazarse sobre el sustrato evitando, con relativa facilidad y dentro de unos límites razonables, ser arrastrados aguas abajo por efecto de la corriente (Statzner, 1988). El alto grado con el que pequeñas variaciones de velocidad pueden limitar la distribución de los organismos, se ha visto sorprendentemente reflejado con los estudios de Statzner & Holm, (1982, 1989).

Las condiciones de los ríos de altitud que tienen relativa cercanía a las montañas y que esta intervenidos por la centrales hidroeléctricas pueden conservar su caudal ecológico en función del conocimiento de la distribución longitudinal de los organismos acuáticos (Cereghino *et al.* 2002). La base de la metodología aplicada emplea la distribución longitudinal de organismos con los que se ha identificado el caudal para su desarrollo ecológico.

Cabe decir que todas las definiciones citadas tienen el mismo propósito el cual es mantener y preservar los recursos hídricos y con esto mejorar el paisaje y la calidad de vida de los ecosistemas acuáticos.

Este estudio ha sido realizado asumiendo como caudal ecológico el criterio de Davis & Hirji.

3.2 Relación con los Ecosistemas

El caudal ecológico es para los ecosistemas el medio de regulación de las variaciones que experimenta el medio, ya sea por efectos humanos como naturales. La respuesta del

ecosistema ocurre cuando los objetivos del caudal ecológico se están alcanzando. El ecosistema puede adaptarse lentamente a cualquier cambio en el caudal y las especies indicadoras claves serán las responsables de hacer evidentes los beneficios.

El caudal ecológico es para el ecosistema lo que el agua de un canal lo es para sus usuarios. La base del ciclo hidrológico la establecen los caudales naturales ya que el transporte de masas de agua líquida se hace en mayor cantidad y durante más tiempo a través de los ríos. El hábitat físico en un sistema de drenaje requiere la presencia del agua en los cauces como medio conductor de minerales y nutrientes hacia las zonas bajas. La limpieza de sedimentos en las márgenes permite el crecimiento de nueva cobertura vegetal que a su vez reduce la erosión. Los cauces que no cuentan con un caudal natural suficiente para mantener el equilibrio entre las funciones físicas de los ríos y el agua subterránea, están destinados a desaparecer y secar el área circundante de la cuenca que depende del río. El caudal ecológico es la solución para evitar la pérdida de los ecosistemas acuáticos ya que evita la disminución del nivel freático y permite que el agua se mantenga a lo largo del cauce principal en la cuenca.

3.2.1 Hidrología de ríos

Los ríos responden a diferentes factores ambientales que determinan el régimen de escurrimiento superficial. Con la implementación de un caudal ecológico se podrá evitar la pérdida del agua del cauce principal.

El régimen de corrientes de agua destaca el hecho de que un caudal mínimo puede ser alcanzado apenas durante un cierto tiempo, en caso de que el periodo de estiaje sea más extenso los caudales estarán mas próximos al mínimo, lo mismo se puede decir del caudal máximo (Monsalve, 1995). Frente a esto el caudal ecológico es la medida para mantener los caudales mínimos sujetos a la realidad ambiental y exigencias del medio natural, a pesar del estiaje estacional.

3.2.2 Calidad del Agua

La calidad del agua es uno de los factores ambientales más importantes a ser considerados en la definición del caudal ecológico. Las condiciones del agua causan un efecto directo sobre las características físicas y químicas de los sedimentos en el lecho del río. La calidad del agua debe responder a índices de calidad calibrados para la zona de acuerdo a las condiciones específicas. Los índices de calidad facilitan el reconocimiento de la fauna acuática existente y que obedece a una calidad del agua determinada. Una vez que se conoce el índice de calidad del agua se puede definir el caudal ecológico para la fauna acuática de los ríos o puntos de los ríos en estudio.

Las cuencas urbanas al estar sometidas a la presencia de poblados y posibles descargas líquida, tienen variaciones en la calidad del agua por lo general de forma altitudinal asociada a la presencia de asentamientos humanos. El caudal ecológico debe ser definido con la ayuda de los índices de calidad del agua para lo cual es importante conocer las características físicas y químicas básicas de los cuerpos de agua en el área de estudio y de los principales ríos en los que se va a definir el caudal ecológico.

3.2.3 Flora

El caudal ecológico es la condición ambiental para que la flora, específicamente en las riberas de los ríos, se mantenga en buen estado. La cobertura vegetal en la ribera de los ríos depende exclusivamente de la presencia de agua que aporte nutrientes y fomente la revegetación al mismo tiempo que evite la erosión. La flora en un ecosistema es un regulador de la absorción, transporte y aporte de nutrientes, minerales y sedimentos presentes en el agua y que se depositan en el fondo del río, al no existir el caudal ecológico la flora no existiría y sería muy difícil el control de sedimentos. (Jacobsen, 1998).

3.2.4 Fauna

La fauna acuática (peces, macroinvertebrados) específicamente, depende exclusivamente del caudal ecológico. La presencia de un volumen de agua definido por las necesidades de la fauna acuática establece el precedente del caudal a mantener en los ríos para lograr la supervivencia de las especies y el equilibrio de todas las funciones ecológicas.

El caudal ecológico está definido para la protección de una comunidad de la fauna acuática, en el caso de peces o macroinvertebrados el caudal ecológico puede favorecer a un grupo una vez que favorece al otro, debido a la interrelación ecológica existente.

La fauna acuática en los ríos se mantiene o desaparece como respuesta a la presencia de un volumen de agua definido por el caudal ecológico. Las condiciones de calidad del agua definen ciertas características para un tipo de fauna acuática que será el grupo o comunidad a proteger mediante el establecimiento del caudal ecológico. Todos estos factores demuestran como el caudal ecológico se relaciona con los ecosistemas. (Jacobsen, 1998).

3.2.5 Relación con la población

Los aspectos técnicos necesarios para mantener las funciones físicas y ecológicas de los ríos, pueden ser considerados como responsabilidad exclusiva de las autoridades, sin embargo la problemática ambiental es una evidencia de la percepción de la comunidad acerca del impulso político que se requiere para definir el caudal ecológico.

Las demandas de la población por un ambiente saludable y un paisaje en buenas condiciones están relacionadas directamente con el caudal ecológico. El contexto ambiental que se requiere para su aplicación debe ser impulsado por la población a través de la necesidad de variables asociadas a la calidad de vida.

3.2.6 Paisaje

El caudal ecológico está directamente relacionado con el paisaje como elemento de la percepción visual del estado de un río, la cuenca y el ambiente en general. El paisaje que cuenta con un caudal ecológico en sus ríos, brinda el valor ambiental agregado que da el vivir en un ambiente sano. El ecosistema fluvial transporta el escurrimiento superficial de una cuenca sobre el medio físico compuesto de flora y fauna que regulan los procesos y dan como resultado un paisaje agradable, esta es la percepción externa que resulta de un equilibrio en los procesos ecológicos que no se ven.

3.2.7 Salud e higiene

Los ecosistemas son reguladores de las condiciones ambientales, el estado en que se encuentren los ecosistemas afectan directamente a variables ambientales como la calidad del aire y la presencia de insectos, bacterias y hongos. Al existir un caudal ecológico la corriente del flujo evita que se acumulen los nutrientes y se produzcan focos de posibles infecciones. El caudal ecológico facilita la limpieza de las márgenes de los ríos y elimina la materia orgánica e inorgánica que aquí se deposita. La recreación y el turismo se relacionan con el caudal ecológico ya que es la condición base para el desarrollo de estas actividades.

3.2.8 Relación con la Infraestructura

Definir un caudal ecológico afecta directamente a las obras de infraestructura. En la actualidad se acepta en todas partes que para gestionar el agua de manera sostenible y equitativa se necesita una nuevas ideas acerca de la infraestructura del agua, encuadrada dentro de un marco mas amplio de gestión integrada de recursos hídricos (Dyson, 2003).

Los mecanismos de paso de caudales de las obras de infraestructura suelen modificar la concepción de los caudales ambientales como un servicio más al que atender. Mejorar las descargas río abajo puede ser una simple cuestión de levantar una compuerta, sin embargo la gestión de los recursos hídricos debe contemplar los costos limitados para definir la viabilidad de una obra de infraestructura para mantenerla, re – equiparla o cesar sus operaciones.

3.2.9 Generación Hidroeléctrica

En el caso de las centrales hidroeléctricas, que son obras que por lo general se implantaron sin el criterio hidroecológico respectivo, es crítico conocer que el funcionamiento y operación se ven en detrimento por la aplicación del caudal ecológico. Al mismo tiempo las obras de infraestructura relacionadas con la hidroelectricidad son los principales lugares para aplicar políticas del caudal ecológico. La facilidad de conocer los efectos inmediatos en la hidroelectricidad esta en el tiempo y la condiciones específicas de cada lugar o zona en un río.

Las licencias ambientales para operar una central hidroeléctrica contemplan las decisiones para definir el caudal ecológico. La operación de presas para la generación hidroeléctrica debe establecer el caudal ecológico de acuerdo a lo estipulado por la Comisión Mundial de Presas en el año 2000. (Dams, 2000).

3.2.10 Abastecimiento de Agua Potable

Las obras de infraestructura de los sistemas de captación de agua para abastecimiento y consumo humano cambian el régimen de los caudales por la extracción y el efecto de la disminución del agua subterránea. A diferencia de las obras de infraestructura de las centrales hidroeléctricas, el agua que sale de los ríos para consumo humano no regresa al ambiente en cantidad o calidad.

En los casos en los que la infraestructura de agua potable realiza trasvases de un río a otro, el efecto es a gran escala. El caudal ecológico en los ríos que se extrae el total del caudal natural debe introducirse paralelamente con medidas de remediación del ecosistema perdido.

3.2.11 Abastecimiento de agua para riego

El riego es el principal consumidor de agua superficial por lo tanto la aplicación del caudal ecológico afectaría al sector agrícola.

3.3 Marco Legal

En el Ecuador no existe una normativa ambiental referente al caudal ecológico. El criterio asumido en los primeros proyectos de hidroelectricidad y agua potable que han considerado el tema de caudal ecológico han basado sus resultados en la estimación hidrológica del 10% del caudal medio anual conocido como Caudal Sanitario o de Saneamiento antiguamente, en el mejor de los casos y el 10% del caudal de diseño en el peor de los casos.

Existen informes no publicados que han hecho algún acercamiento hacia el caudal ecológico pero no poseen la suficiente información en calidad y cantidad para realizar un análisis funcional de los ecosistemas y definir el caudal ecológico.

Las experiencias de la aplicación de caudales ecológicos que han resultado en la degradación de la cuenca tampoco han sido publicadas de forma técnica, sin embargo los resultados visibles y la apreciación de la comunidad ha demostrado la incorrecta aplicación del criterio de caudal ecológico por responder a necesidades de un proyecto específico que deja de lado la integridad del ecosistema.

3.4 Caudal sanitario o de saneamiento

El caudal sanitario o de saneamiento es un termino que ha sido desplazado en su totalidad por el caudal ecológico o ambiental ya que antiguamente no se tomaban en cuenta las condiciones bénticas o de calidad del agua sino que solo se dejaba pasar el 10% del caudal medio anual en el mejor de los casos o el 10% del caudal de diseño en el peor de los casos.

3.5 Condiciones de referencia de los Ecosistemas

Término que se utiliza para indicar el estado ambiental en que se encuentra una zona determinada.

3.6 Fauna Béntica

Conjunto de organismos que viven en los fondos acuáticos. (Diccionario de la Real Academia Española, 22da edición, 2001).

IV. METODOLOGIA

Para la definición del caudal ecológico existen varias metodologías que dependen su aplicación de las condiciones de referencia de los mismos, como las siguientes:

- LIFE.- Lothic Index for Flow Evaluation. (Extence *et al.* 1999).
- EPT.- Índice de Calidad que significa la abundancia relativa de los taxa: *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*. (Carrera & Fierro, 2001)
- CECO.- Demanda Ecológica de Oxígeno. (Serban, 2004).
- IFIM.- Instream Flow Incremental Methodology. (Stalnaker, 1994).

Cuadro N.- 4 Comparación de metodologías.

Método	Enfoque	Parámetros y variables
LIFE	El Método LIFE está basado en la derivación de datos y métodos de registro establecidos, que incorporan estrategias de muestreo consideradas adecuadas para evaluar el impacto de las variaciones del caudal en la poblaciones de fauna béntica.	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de flujo - Categoría velocidad de flujo - Numero de taxa - Abundancia de organismos
EPT	La técnica consiste en extraer del grupo total de las muestras el número de especies de estos órdenes de macroinvertebrados y determinar en función del número total de organismos registrados la abundancia de EPT que significan una calidad de agua para cada rango.	<ul style="list-style-type: none"> - Calidad de agua - Abundancia de organismos, abundancia relativa de los taxa: <i>Ephemeroptera</i>, <i>Plecoptera</i> y <i>Trichoptera</i>. - Nutrientes
CECO	Este método se conoce como la correlación entre el caudal ecológico requerido con el caudal mínimo mensual con 95% de ocurrencia frente a las	<ul style="list-style-type: none"> - Oxígeno Disuelto - Caudal promedio mensual - Caudal promedio anual - Caudal ecológico mensual

	<p>condiciones de concentración de oxígeno disuelto registradas durante el período.</p> <p>La fauna acuática puede reducir debido a la ausencia de oxígeno disuelto por los bajos caudales cuando la velocidad del río es muy lenta.</p>	
IFIM	<p>Sugiere el análisis de las variaciones de las características físicas sobre un grupo objetivo de fauna acuática (Stalnaker, 1994).</p> <p>Estas variaciones pueden ser identificadas basándose en el historial hidrológico únicamente, para lo que se aplica un modelo del hábitat PHABSIM (Physical Habitat Simulation Model), en donde la dinámica del flujo histórico del sitio y el impacto de las variaciones del flujo pueden ser determinadas. Sin embargo, este método es muy costoso y demanda varios recursos técnicos.</p>	- Varían de acuerdo al hábitat en el que se va a desarrollar el proyecto.

Para este estudio se analizaron varios métodos para ver ventajas y desventajas de la aplicación de cada uno determinando que el Método LIFE es el más indicado por presupuesto y por facilidad de obtención de información.

4.1 Método LIFE

El Método LIFE (por sus siglas en inglés Lothic Index for Flow Evaluation), es un índice asociado al método de biomonitoreo que permite integrar variables ecológicas e hidrológicas.

El Método LIFE está basado en la derivación de datos y métodos de registro establecidos, que incorporan estrategias de muestreo consideradas adecuadas para evaluar el impacto de las variaciones del caudal en la poblaciones de fauna béntica (macroinvertebrados) (Extence *et al.* 1999). Muchos invertebrados de agua dulce tiene requerimientos precisos para cierta velocidad de corriente o ciertos rangos de caudal y algunas taxas pueden ser indicadores ideales para hacer prevalecer las condiciones del flujo (Brooks, 1990).

El flujo puede ser expresado en varias formas y las comunidades de macroinvertebrados que colonizan los ríos pueden responder a diversos aspectos del régimen de flujo (Richter *et al.* 1997). Las variaciones del caudal pueden estar altamente influenciadas por un número desconocido de cuerpos tributarios subterráneos, esto podría determinar la presencia o ausencia de ciertos organismos (Extence *et al.* 1999).

El método se ha diseñado para basarse en datos de monitoreo analógico de macroinvertebrados, Se elaboró un índice de sensibilidad percibida a la velocidad del agua mediante la asignación de un puntaje de 1 a 6 todos los taxa registrados. Para una muestra, el puntaje para cada taxón observado se modifica sobre la base de su abundancia y luego se calcula el puntaje agregado. El sistema funciona con datos tanto de especies como a nivel familiar (Dyson, 2003).

Tabla N.- 1 Categoría para la velocidad del flujo.

Categoría	Grupos de Flujo
I	Rápido
II	Moderado / rápido
III	Lento / vago
IV	Corriente /estancado
V	Estancado
VI	Seco

Tabla N.- 2 Categoría por abundancia de organismos. (fs)

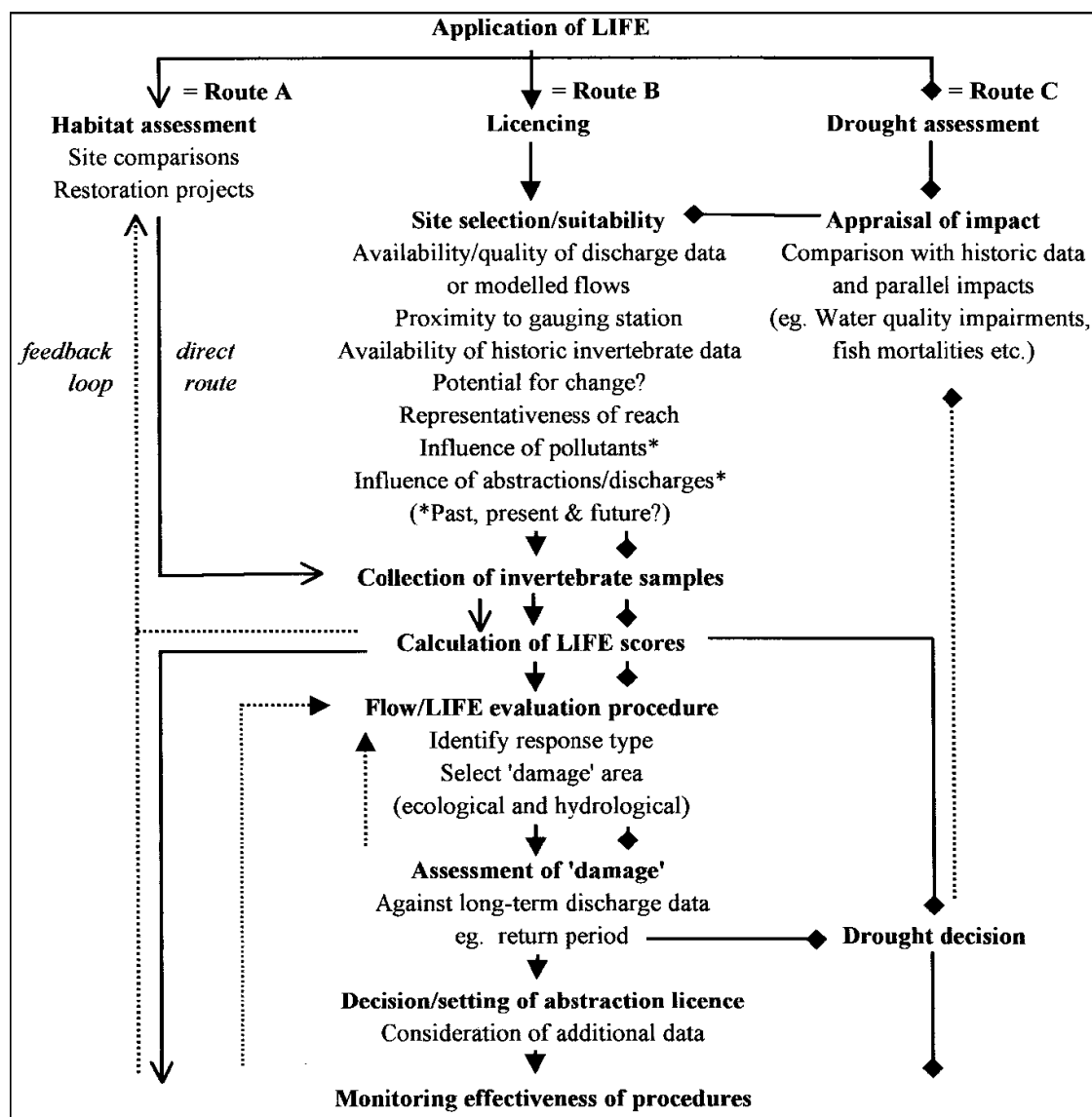
Categoría	Abundancia Estimada
A	1-9
B	10-99
C	100-999
D	1000-9999
E	10000+

A partir de esto se aplica el Índice de Flujo basado en la suma de los valores de los taxones en toda la muestra • fs y dividido para el número de taxa usados n .

$$LIFE = \frac{\sum fs}{n}$$

4.1.1 Ventajas de la aplicación del Método LIFE

Cuadro N.- 5 Aplicación del Método LIFE



(Extence *et al.* 1999, pag. 561).

4.1.2 Efectos sobre el hábitat físico

La aplicación de los resultados del método puede causar efectos positivos a gran escala ya que considera que el caudal relacionado con una población de macroinvertebrados al cual se le atribuye una velocidad de corriente, se somete a las variaciones de caudal naturales y que tienen lugar en las diferentes estaciones. Esto permite que se produzcan fenómenos de lavado del lecho en donde ocurre arrastre de nutrientes y sedimentos. El cauce del río se define de acuerdo al caudal de flujo y a las eventuales crecidas e inundaciones para una zona específica.

4.1.3 Efectos en los Ecosistemas

El método LIFE considera de forma integral la relación existente entre las variables bióticas y las abióticas. Las condiciones de referencia de los ecosistemas se someten a un sin número de factores que no pueden ser resumidos en dos variables. Sin embargo el conjunto de relaciones ecológicas en el agua ocurren como resultado directo de las variaciones del régimen de caudales. Los efectos de establecer un caudal y una velocidad de flujo que responde a la ecología de la fauna béntica son positivos para los ecosistemas intervenidos o no, que deben someterse a conservación o restauración ambiental.

4.1.4 Efectos en la generación hidroeléctrica

La aplicación del método LIFE puede causar un efecto positivo sobre la actual gestión que ejecuta la empresa de generación hidroeléctrica. El registro de caudales debe llevarse de una manera rutinaria y periódica para conocer de forma directa las variaciones del caudal y poder relacionarlas con las condiciones ambientales de los ríos antes de las captaciones. El método LIFE puede demostrar que bajo la misma campaña de registro de caudales y sin aumentar los costos se pueden analizar parámetros para definir y aplicar el caudal ecológico.

4.1.5 Efectos en el suministro de agua potable

El suministro de agua puede obtener beneficios del método LIFE que le permitirá conocer de una forma integral las condiciones ambientales de los cauces y el agua de las fuentes que se abastece para la distribución de agua potable. El método LIFE brinda una base de datos de bio - monitoreo que debe ser parte de las estrategias de control de la calidad del agua para abastecimiento público.

4.2 Metodología de Campo

El diseño del muestreo de campo tiene la finalidad de conocer de manera directa las variaciones del caudal de forma diaria y asociarlas con cualquier cambio que pueda alterar el régimen hidrológico y las condiciones bióticas. Para esto fue necesario registrar diariamente el caudal de los ríos a través de aforos puntuales en áreas con características hidráulicas conocidas, a estos puntos se los ha identificado como estaciones de muestreo dentro de los tramos de estudio, como se mencionaran posteriormente.

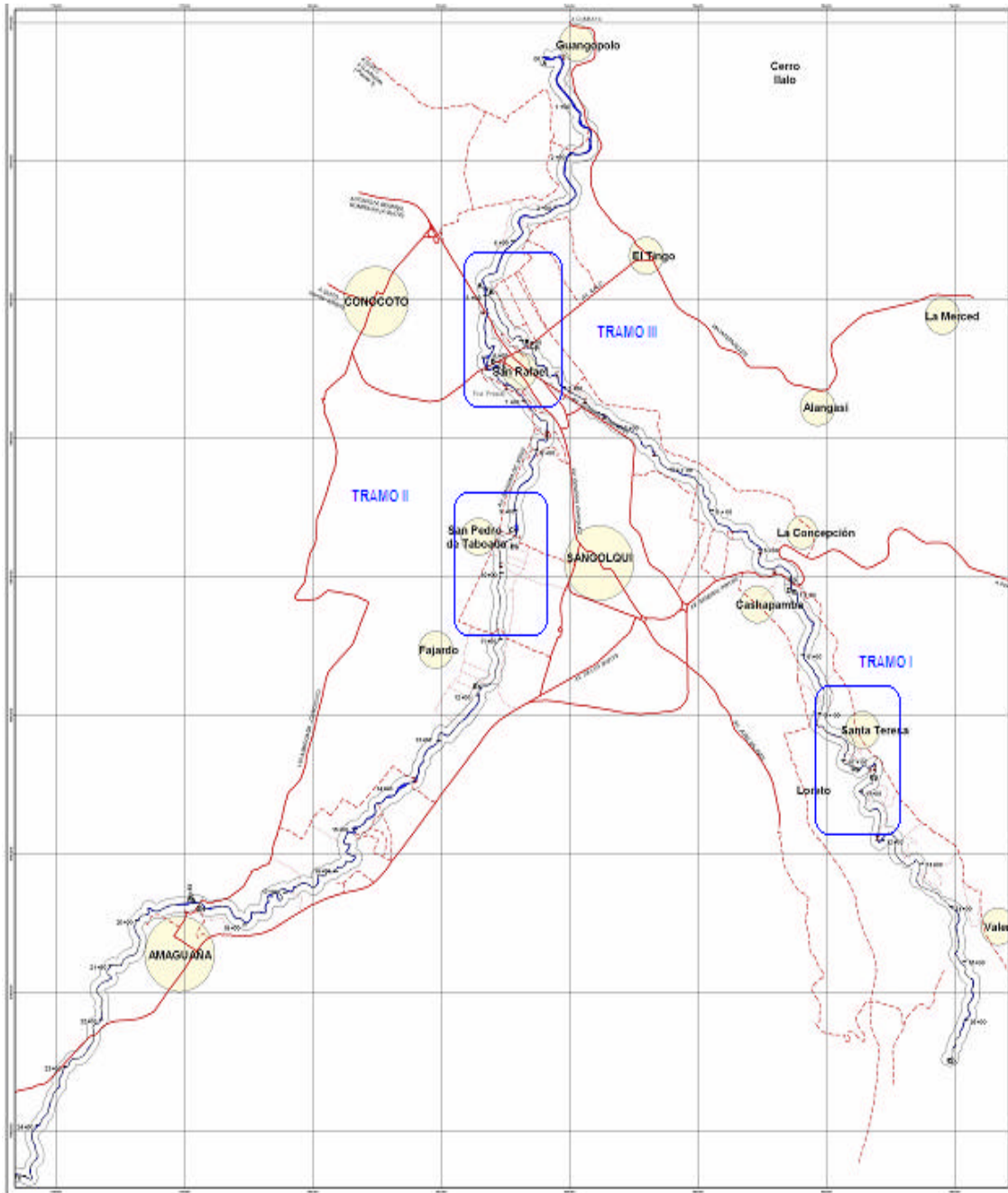
La presencia de captaciones de caudal y la identificación de focos de contaminación son los componentes eje sobre el cual se fortalecerá la implementación de los resultados de la investigación.

En los meses de octubre a diciembre ocurren cambios en las precipitaciones locales atribuibles a las masas de aire acumuladas en el sur del país y que ascienden a medida que disminuyen los vientos del verano (INAMHI, 2003). El registro de precipitaciones de las estaciones de Izobamba e Iñaquito en el período de 1957 – 2004, correspondiente al período durante el que la Empresa Eléctrica Quito lleva el registro de caudales del río San Pedro, permitirá estimar de acuerdo a un balance hídrico el nivel de aporte de la lluvia a los eventos de crecida y con ello al lavado de nutrientes.

En función de obtener información de trabajo que permita tomar acciones directas sobre los recursos hídricos, el estudio ha establecido niveles de recuperación natural que ocurren por el aumento en los caudales de captación cuando existe un exceso. El análisis del estudio ha dividido la subcuenca del río Pita y la subcuenca del río San Pedro hasta la zona de unión de

los dos ríos. La finalidad de conocer el comportamiento de los ríos de forma separada servirá para hacer un pronóstico más cercano de lo que ocurrirá en la zona baja de la cuenca como resultado de los cambios en la parte alta de la cuenca.

4.2.1 Tramos de Muestreo



Fuente: Carrera de la Torre, 2004.

- Tramo I Río pita
- Tramo II Río San Pedro
- Tramo III Unión de los ríos Pita y San Pedro

4.2.1.1 Río Pita Tramo I

El Punto de muestreo en el río Pita esta localizado en la toma de Molinuco. La captación de Molinuco abastece con su caudal a la central Hidroeléctrica Los Chillos. En este tramo se encuentra una área de interés ecológico, conocida como la Chorrera del Pita. Este tramo se escogió gracias a las excelentes características de referencia para las condiciones ecológicas de buena calidad. La zona está sometida a poca intervención humana aguas arriba de la toma de la Empresa Eléctrica Quito y la contaminación orgánica es baja.

Esta zona ha sido identificada como el Tramo I. En este tramo las condiciones permiten realizar un análisis desde la zona del río en donde no hay ninguna intervención ni captaciones, hasta la parte baja luego de la captación. Después del canal que conduce el agua hacia la Central Los Chillos el cauce del río tiene características hidráulicas muy diferentes a las que presenta aguas arriba. La presencia de un pequeño flujo base en la parte baja permite la presencia de una velocidad de corriente.

4.2.1.2 Río San Pedro Tramo II

En el poblado de San Rafael se encuentra la captación del río San Pedro que ingresa al túnel que lo conduce hacia el reservorio de Guangopolo. En este tramo las condiciones son diferentes debido al aporte de contaminación orgánica de los poblados por donde recorre el río hasta la captación. En este tramo el análisis esta dirigido a permitir el paso de un flujo de agua directo abriendo la compuerta del vertedero de excesos.

El Tramo II comprende desde la zona de San Pedro de Taboada en donde el río tiene ya un nivel de carga orgánica representativo, hasta la captación en la Toma de San Rafael. El Punto de muestreo esta localizado en San Pedro de Taboada. En este tramo la referencia para el análisis de vida acuática es importante y facilita el análisis para las consideraciones aguas abajo, a pesar de existir una fuerte presencia de contaminación por desechos sólidos.

4.2.1.3 Unión del Río Pita con el río San Pedro Tramo III

Este sitio de muestreo es de gran interés para conocer qué cantidad de agua debe dejarse fluir por el cauce del río Pita.

Este tramo está ubicado en las cercanías de San Rafael y se accede por el camino de la vía al Tingo, los poblados cercanos aportan una carga orgánica representativa y las descargas al cuerpo de agua se observan fácilmente desde instalaciones cercanas.

4.3. Muestreo Físico – Químico

En los puntos de muestreo se registraron parámetros físico-químicos como pH, conductividad, oxígeno disuelto, contaminantes orgánicos como nitratos, nitritos, fosfatos y sulfatos estos datos fueron tomados mensualmente con la Sonda Portátil HACH, la calibración del equipo se la realizó de manera mensual debido a las variaciones en las concentraciones de materia orgánica y la presencia de iones de sales.

4.4. Muestreo Biológico

La metodología consiste en tomar muestras de macroinvertebrados, de manera cuantitativa mediante una red Surber (15 cm x 15 cm), dentro de 1 m² de área en el sitio mas representativo del río. (Roldán, 2000). Para procesar las muestras se limpiaron y almacenaron con formol, en el laboratorio se utilizó un microscopio estereoscópico con aumentos 2x y 3x, se identificó los macroinvertebrados a nivel de familia y se registró su abundancia, el análisis de las muestras fue realizado en el laboratorio de biología de la Universidad Católica por la Entomóloga Ana Troya. En los dos tramos de estudio se clasificó los taxa de acuerdo a su abundancia en categorías como indica el Índice LIFE y el rango de velocidad al que pertenecen de acuerdo a la valoración de los rangos de flujo (Extence *et al.* 1999).

4.5. Aforo

De acuerdo a la los requerimientos de información para conocer el caudal ecológico y afianzar los datos hidrológicos, fue necesario modificar el registro de caudales semanales a caudales diarios durante un periodo de muestreo que se pueda relacionar con los datos del Índice Lótico para Evaluación de Caudales LIFE. Para este efecto se ha tomado como medida de trabajo el periodo Mayo 2005 – Junio 2006 con un total de 360 días de datos diarios de caudal en los tres tramos de estudio. Para conocer el nivel del río y la velocidad del cauce de una manera eficaz, se utilizaron variables hidráulicas de gran importancia en la definición del caudal. El perímetro mojado y el radio hidráulico se registraron con una cinta métrica mientras que para la profundidad promedio se utilizó una regla metálica. La velocidad de la corriente se determino mediante el método del flotador y se escogió una distancia de 10 m en la cual se midió el tiempo de recorrido del flotador en cuatro lecturas. (WMO, 1994)

El registro diario del caudal se realizó en horas de la mañana entre las 07:00 y 09:00, el punto exacto se registró mediante un GPS. La extensión de los tramos varia para cada sitio: 350 m para el río Pita que incluye el río antes de la captación del canal superior, hasta 10 m después del canal principal de conducción; para el río San Pedro la extensión del tramo es de 1700 m desde el sector de San Pedro de Taboada hasta 50 m abajo de la captación de San Rafael y para la junta de los dos ríos el tramo es de 200 m.

Para conocer el comportamiento de los datos y la posible asociación con los parámetros estadísticos: caudal mínimo, máximo, medio, percentil y el caudal con 95% de probabilidad de ocurrencia, fue necesario establecer las curvas de distribución para cada punto. Dentro del análisis de los datos, también se elaboraron las curvas de duración como un soporte para estimar el *caudal mínimo minimorum*, que ocurre específicamente durante la época de los meses secos.

4.6 Trabajo de Oficina

Aquí se obtuvo y se procesó toda la información bibliográfica recopilada para la elaboración del presente trabajo.

Se adquirieron shapes de mapas de la zona proporcionados por el FONAG, para modificarlos de acuerdo a las necesidades, también con la información proporcionada durante el periodo de muestreo el FONAG realizó mapas de calidad de agua, físico-químico y bentos.

V. RESULTADOS

5.1 Muestreo

Durante doce meses de duración del proyecto se han registrados datos hidrológicos y biológicos en los ríos Pita y San Pedro, específicamente en las obras de infraestructura de los sistemas de generación hidroeléctrica. La información recopilada diariamente ha sido analizada en el tiempo y sobre la base de los aspectos ambientales con la finalidad de presentar técnicamente los beneficios de la implementación del caudal ecológico.

En el trabajo de campo se han registrado datos diarios del nivel del agua en los ríos Pita y San Pedro y paralelamente se han analizado de forma quincenal muestras de bentos (macroinvertebrados) de las zonas de los ríos que no son afectadas por las captaciones, es decir aguas arriba de las captaciones.

En los puntos de estudio se han identificado las variaciones estacionales en las épocas de invierno y verano además se ha podido identificar claramente las variaciones mensuales del caudal y finalmente se han registrado variaciones hidroecológicas de los ríos como consecuencia de los fenómenos anteriores. Los cambios ocurren específicamente en la medida en que el agua del río ingresa al canal principal y el cauce adquiere diferente morfología, sin agua y con ausencia de fauna acuática.

Para responder a las necesidades de definir el caudal ecológico en las obras de infraestructura para generación hidroeléctrica, de forma específica para los ríos Pita y San Pedro. A continuación se presentan las tablas e informes de resultados

5.1.1 Muestreo Físico-Químico Río Pita

Tabla N.- 3 Parámetros físicos y químicos registrados en el río Pita

Mes	NO ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₄ (ppm)	PO ₄ (ppm)	pH	T (°C)	Conductividad (uS/cm)	OD (ppm)
1	1.67	<0.033	10.0	0.6	6.7	12.9	65.34	7.34
2	1.75	<0.033	10.0	0.6	7.3	12.8	55.45	7.45
3	1.85	<0.033	11.0	0.5	6.9	12.6	57.86	7.72
4	1.36	<0.033	10.0	0.7	7.1	12.5	68.95	7.44
5	1.45	<0.033	9.0	0.5	7.3	12.7	65.45	7.94
6	1.34	<0.033	9.0	0.5	6.8	13.1	73.24	8.12
7	1.31	<0.033	10.0	0.5	6.7	13.2	67.36	8.18
8	1.2	<0.033	12.0	0.5	7.2	12.8	68.35	7.89
9	1.55	<0.033	8.0	0.3	6.8	12.7	59.56	7.93
10	2.01	<0.033	8.0	0.6	7.1	13.2	55.28	7.55
11	1.88	<0.033	12.0	0.5	7.4	12.9	59.71	7.61
12	2.06	<0.033	11.0	0.7	7.3	12.7	62.85	7.07

No se encontraron concentraciones de nitritos NO₂ superiores al nivel mínimo de detección: 0.033 ppm.

5.1.2 Muestreo Físico-Químico Río San Pedro

Tabla N.- 4 Parámetros físicos y químicos registrados en el río San Pedro.

Mes	NO ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₄ (ppm)	PO ₄ (ppm)	pH	T (°C)	Conductividad (uS/cm)	OD (ppm)
1	3.63	0.277	30.0	5.6	7.9	15.3	555.3	5.34
2	4.12	0.211	26.0	5.1	8.1	15.2	564.6	4.35
3	5.06	0.244	25.0	3.7	8.0	15.7	573.4	5.98
4	4.12	0.197	24.0	5.9	8.1	15.3	578.2	4.32
5	4.45	0.284	26.0	3.1	7.7	15.1	570.1	6.11
6	3.21	0.182	28.0	4.5	7.9	14.9	564.4	6.45
7	3.88	0.201	30.0	5.4	8.4	14.8	550.8	6.05
8	4.65	0.186	25.0	3.6	8.2	14.8	559.7	5.66
9	4.11	0.191	32.0	4.3	8.2	14.6	564.3	5.34
10	5.78	0.211	33.0	3.3	7.7	14.6	567.2	5.82
11	5.81	0.256	26.0	5.6	8.1	14.7	578.3	5.34
12	6.13	0.277	27.0	6.2	8.0	14.5	564.2	5.33

5.2 Río Pita

5.2.1 Aforo Río Pita

CUADRO 1									
Fecha	Q(m³/s)	Fecha	Q(m³/s)	Fecha	Q(m³/s)	Fecha	Q(m³/s)	Fecha	Q(m³/s)
25-May-05	1,45	14-Jul-05	1,45	2-Sep-05	1,72	22-Oct-05	1,65	11-Dec-05	1,88
26-May-05	1,55	15-Jul-05	1,70	3-Sep-05	1,71	23-Oct-05	1,68	12-Dec-05	2,22
27-May-05	1,63	16-Jul-05	1,69	4-Sep-05	1,76	24-Oct-05	1,63	13-Dec-05	2,12
28-May-05	1,56	17-Jul-05	1,68	5-Sep-05	1,65	25-Oct-05	1,67	14-Dec-05	1,84
29-May-05	1,53	18-Jul-05	1,66	6-Sep-05	1,69	26-Oct-05	1,72	15-Dec-05	1,87
30-May-05	1,45	19-Jul-05	1,55	7-Sep-05	1,63	27-Oct-05	1,65	16-Dec-05	2,65
31-May-05	1,51	20-Jul-05	1,52	8-Sep-05	1,58	28-Oct-05	1,65	17-Dec-05	2,34
1-Jun-05	1,56	21-Jul-05	1,48	9-Sep-05	1,59	29-Oct-05	1,67	18-Dec-05	2,11
2-Jun-05	1,62	22-Jul-05	1,46	10-Sep-05	1,65	30-Oct-05	1,56	19-Dec-05	2,05
3-Jun-05	1,65	23-Jul-05	1,45	11-Sep-05	1,68	31-Oct-05	1,57	20-Dec-05	1,89
4-Jun-05	1,65	24-Jul-05	1,44	12-Sep-05	1,78	1-Nov-05	1,68	21-Dec-05	1,95
5-Jun-05	1,67	25-Jul-05	1,40	13-Sep-05	1,59	2-Nov-05	1,72	22-Dec-05	1,91
6-Jun-05	1,71	26-Jul-05	1,38	14-Sep-05	1,55	3-Nov-05	1,68	23-Dec-05	1,98
7-Jun-05	1,63	27-Jul-05	1,38	15-Sep-05	1,61	4-Nov-05	1,65	24-Dec-05	1,99
8-Jun-05	1,65	28-Jul-05	1,39	16-Sep-05	1,65	5-Nov-05	1,66	25-Dec-05	1,93
9-Jun-05	1,67	29-Jul-05	1,40	17-Sep-05	1,84	6-Nov-05	1,61	26-Dec-05	1,86
10-Jun-05	1,59	30-Jul-05	1,39	18-Sep-05	1,56	7-Nov-05	1,63	27-Dec-05	1,83
11-Jun-05	1,61	31-Jul-05	1,37	19-Sep-05	1,59	8-Nov-05	1,64	28-Dec-05	1,97
12-Jun-05	1,68	1-Aug-05	1,35	20-Sep-05	1,61	9-Nov-05	1,68	29-Dec-05	1,91
13-Jun-05	1,73	2-Aug-05	1,38	21-Sep-05	1,64	10-Nov-05	1,68	30-Dec-05	1,89
14-Jun-05	1,65	3-Aug-05	1,39	22-Sep-05	1,67	11-Nov-05	1,60	31-Dec-05	1,76
15-Jun-05	1,75	4-Aug-05	1,40	23-Sep-05	1,72	12-Nov-05	1,65	1-Jan-06	1,72
16-Jun-05	1,78	5-Aug-05	1,41	24-Sep-05	1,84	13-Nov-05	1,68	2-Jan-06	1,70
17-Jun-05	1,78	6-Aug-05	1,46	25-Sep-05	1,64	14-Nov-05	1,73	3-Jan-06	1,65
18-Jun-05	1,88	7-Aug-05	1,45	26-Sep-05	1,53	15-Nov-05	1,82	4-Jan-06	1,65
19-Jun-05	1,82	8-Aug-05	1,44	27-Sep-05	1,63	16-Nov-05	1,88	5-Jan-06	1,59
20-Jun-05	1,55	9-Aug-05	1,43	28-Sep-05	1,73	17-Nov-05	1,85	6-Jan-06	1,63
21-Jun-05	1,76	10-Aug-05	1,45	29-Sep-05	1,78	18-Nov-05	1,92	7-Jan-06	1,67
22-Jun-05	1,85	11-Aug-05	1,38	30-Sep-05	1,79	19-Nov-05	1,94	8-Jan-06	1,58
23-Jun-05	1,84	12-Aug-05	1,42	1-Oct-05	1,58	20-Nov-05	1,98	9-Jan-06	1,61
24-Jun-05	1,78	13-Aug-05	1,65	2-Oct-05	1,75	21-Nov-05	1,91	10-Jan-06	1,63
25-Jun-05	1,82	14-Aug-05	1,45	3-Oct-05	1,72	22-Nov-05	1,92	11-Jan-06	1,75
26-Jun-05	1,65	15-Aug-05	1,55	4-Oct-05	1,65	23-Nov-05	1,93	12-Jan-06	1,71
27-Jun-05	1,81	16-Aug-05	1,56	5-Oct-05	1,70	24-Nov-05	1,91	13-Jan-06	1,73
28-Jun-05	1,75	17-Aug-05	1,36	6-Oct-05	1,71	25-Nov-05	1,89	14-Jan-06	1,74
29-Jun-05	1,81	18-Aug-05	1,45	7-Oct-05	1,70	26-Nov-05	1,88	15-Jan-06	1,78
30-Jun-05	1,82	19-Aug-05	1,57	8-Oct-05	1,45	27-Nov-05	1,89	16-Jan-06	1,83
1-Jul-05	1,56	20-Aug-05	1,59	9-Oct-05	1,70	28-Nov-05	1,91	17-Jan-06	1,89
2-Jul-05	1,59	21-Aug-05	1,65	10-Oct-05	1,69	29-Nov-05	1,93	18-Jan-06	1,67
3-Jul-05	1,61	22-Aug-05	1,63	11-Oct-05	1,68	30-Nov-05	1,94	19-Jan-06	1,72
4-Jul-05	1,80	23-Aug-05	1,61	12-Oct-05	1,71	1-Dec-05	2,15	20-Jan-06	1,77
5-Jul-05	1,78	24-Aug-05	1,58	13-Oct-05	1,68	2-Dec-05	2,14	21-Jan-06	1,62
6-Jul-05	1,79	25-Aug-05	1,47	14-Oct-05	1,65	3-Dec-05	1,87	22-Jan-06	1,67
7-Jul-05	1,45	26-Aug-05	1,49	15-Oct-05	1,62	4-Dec-05	1,87	23-Jan-06	1,71
8-Jul-05	1,75	27-Aug-05	1,53	16-Oct-05	1,65	5-Dec-05	1,93	24-Jan-06	1,69
9-Jul-05	1,72	28-Aug-05	1,57	17-Oct-05	1,60	6-Dec-05	1,96	25-Jan-06	1,67
10-Jul-05	1,65	29-Aug-05	1,59	18-Oct-05	1,69	7-Dec-05	2,23	26-Jan-06	1,92
11-Jul-05	1,70	30-Aug-05	1,61	19-Oct-05	1,73	8-Dec-05	2,15	27-Jan-06	1,99
12-Jul-05	1,71	31-Aug-05	1,69	20-Oct-05	1,72	9-Dec-05	1,89	28-Jan-06	2,43
13-Jul-05	1,70	1-Sep-05	1,74	21-Oct-05	1,68	10-Dec-05	1,92	29-Jan-06	2,34

Fecha	Q(m³/s)		Fecha	Q(m³/s)		Fecha	Q(m³/s)
30-Jan-06	2,11		22-Mar-06	1,88		12-May-06	1,64
31-Jan-06	2,18		23-Mar-06	1,92		13-May-06	1,72
1-Feb-06	2,36		24-Mar-06	1,95		14-May-06	1,63
2-Feb-06	2,45		25-Mar-06	1,98		15-May-06	1,58
3-Feb-06	2,56		26-Mar-06	2,45		16-May-06	1,58
4-Feb-06	2,46		27-Mar-06	2,34		17-May-06	1,61
5-Feb-06	2,49		28-Mar-06	2,33		18-May-06	1,64
6-Feb-06	2,38		29-Mar-06	2,56		19-May-06	1,67
7-Feb-06	2,32		30-Mar-06	2,49		20-May-06	1,74
8-Feb-06	2,17		31-Mar-06	2,45		21-May-06	1,59
9-Feb-06	2,23		1-Apr-06	2,07		22-May-06	1,53
10-Feb-06	2,11		2-Apr-06	2,08		23-May-06	1,61
11-Feb-06	2,08		3-Apr-06	2,09		24-May-06	1,68
12-Feb-06	2,05		4-Apr-06	2,11		25-May-06	1,72
13-Feb-06	2,11		5-Apr-06	1,99			
14-Feb-06	2,16		6-Apr-06	2,05			
15-Feb-06	2,06		7-Apr-06	1,98			
16-Feb-06	1,92		8-Apr-06	1,95			
17-Feb-06	1,94		9-Apr-06	1,87			
18-Feb-06	1,89		10-Apr-06	1,87			
19-Feb-06	1,83		11-Apr-06	1,76			
20-Feb-06	1,89		12-Apr-06	1,76			
21-Feb-06	1,93		13-Apr-06	1,72			
22-Feb-06	1,95		14-Apr-06	1,85			
23-Feb-06	1,94		15-Apr-06	1,87			
24-Feb-06	2,11		16-Apr-06	1,84			
25-Feb-06	1,78		17-Apr-06	1,83			
26-Feb-06	1,88		18-Apr-06	1,92			
27-Feb-06	1,89		19-Apr-06	1,84			
28-Feb-06	1,94		20-Apr-06	1,78			
1-Mar-06	1,99		21-Apr-06	1,84			
2-Mar-06	1,95		22-Apr-06	1,88			
3-Mar-06	1,94		23-Apr-06	1,95			
4-Mar-06	2,17		24-Apr-06	1,78			
5-Mar-06	1,90		25-Apr-06	1,73			
6-Mar-06	1,65		26-Apr-06	1,65			
7-Mar-06	1,67		27-Apr-06	1,62			
8-Mar-06	1,73		28-Apr-06	1,67			
9-Mar-06	1,78		29-Apr-06	1,65			
10-Mar-06	1,82		30-Apr-06	1,54			
11-Mar-06	1,78		1-May-06	1,58			
12-Mar-06	1,72		2-May-06	1,56			
13-Mar-06	1,69		3-May-06	1,57			
14-Mar-06	1,68		4-May-06	1,54			
15-Mar-06	1,73		5-May-06	1,54			
16-Mar-06	1,73		6-May-06	1,65			
17-Mar-06	1,76		7-May-06	1,71			
18-Mar-06	1,81		8-May-06	1,73			
19-Mar-06	1,89		9-May-06	1,78			
20-Mar-06	1,83		10-May-06	1,65			
21-Mar-06	1,86		11-May-06	1,62			

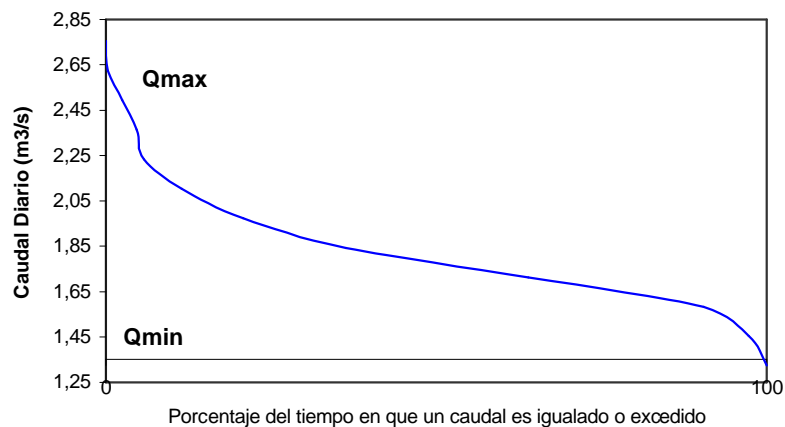
5.2.2 Análisis Estadístico de caudales del río Pita

<i>i</i>	Intervalos de Clase Limite inferior	Limite superior	Frecuencia absoluta	Punto medio m3/s	Fecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Acumulada Relativa
1	2,69	2,82	0	2,75	0	0
2	2,56	2,69	1	2,62	1	0
3	2,43	2,56	8	2,49	9	2
4	2,30	2,43	8	2,36	17	5
5	2,17	2,30	4	2,23	21	6
6	2,04	2,17	21	2,10	42	11
7	1,91	2,04	34	1,97	76	21
8	1,78	1,91	57	1,84	133	36
9	1,65	1,78	101	1,71	234	64
10	1,52	1,65	97	1,58	331	90
11	1,39	1,52	25	1,45	356	97
12	1,26	1,39	10	1,33	366	100
			366,00			

Minimo	1,35	1
Maximo	2,65	2
Media	1,76	
Q95%	1,45	
Recorrido	2,30	2
Intervalos	15,00	10
Amplitud	0,13	0,20
Desviacion E	0,232722659	
Varianza	0,054159836	

5.2.3 Curva de duración del río Pita

Curva de Duracion de Caudales:
Río Pita en Molinuco



5.2.4 Caudal Medio Mensual río Pita

Meses	Q Medio Mensual (m³/s)
Junio 05	1,72
Julio 05	1,57
Agosto 05	1,50
Septiembre 05	1,67
Octubre 05	1,66
Noviembre 05	1,79
Diciembre 05	2,00
Enero 06	1,79
Febrero 06	2,10
Marzo 06	1,95
Abril 06	1,85
Mayo 06	1,63

5.2.5 Variaciones Estacionales río Pita

Durante los doce meses de duración del proyecto se registraron dos épocas claramente diferenciadas en la zona. La influencia del Fenómeno de El Niño en el invierno del año 2005 causó que el período de invierno se alargue hasta Mayo de 2006 con mayor intensidad que en otros años. Las crecidas como resultado de esto se pueden observar en el grafico de variaciones estacionales del río Pita. En el inicio del proyecto se registraron caudales de respuesta a la finalización del periodo de lluvias – invierno del año 2005, pero a diferencia de lo ocurrido en el 2006, el cambio hacia el periodo seco – verano fue mas marcado.

Grafico N. 1 Variaciones Estacionales del río Pita (periodo mayo 2005 – junio 2006)



5.2.6 Variaciones Hidroecológicas río Pita

Los datos de caudales registrados en el río Pita permitieron identificar que el período de muestreo de 360 días, es un periodo en donde se observaron extremas reducciones del caudal con presencia de sequías y fuertes lluvias en donde el granizo aumentó radicalmente el caudal final. Los valores registrados para el caudal alcanzan un valor mínimo de 1.35 m³/s y un valor máximo de 2.65 m³/s.

El valor máximo registrado en los primeros días de diciembre permitió el paso de un abundante caudal por el vertedero de excesos hacia el cauce natural del río. En el Cuadro N.- 6 se presenta los principales datos estadísticos determinados en el periodo de 360 días de muestreo rutinario diario.

Cuadro N.- 6 Parámetros estadísticos del flujo para el río Pita.

Parámetro	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
<i>Media</i>	1.76	3.74
<i>Máximo</i>	2.65	5.64
<i>Mínimo</i>	1.35	2.87
<i>25% Percentil</i>	0.44	0.94
<i>Q₃₆₀</i>	1.45	3.07

El valor registrado con 95% de probabilidad de ocurrencia en el período de 360 días corresponde al Q₃₆₀, el porcentaje del 25% del caudal Q₃₆₀, corresponde al Percentil Q₂₅, este valor representa una velocidad asociada a los macroinvertebrados encontrados en el punto de estudio bajo las condiciones naturales que el río tiene fuera de las captaciones.

Las condiciones hidráulicas del cauce del río después de la captación son muy diferentes a las encontradas en la parte superior del tramo de muestreo, teniendo una sección tipo, el ancho del cauce en este punto es aproximadamente de 1.68 m con una profundidad promedio de 0.28 m. Estas condiciones permiten asociar un caudal específico que permitirá el desarrollo de la vida de manera natural y continua. Las variaciones de caudal por la época de lluvias y sequías, permiten que en esta zona el caudal de exceso producido por las

lluvias, lave los nutrientes producidos por la descomposición de la materia orgánica acumulada.

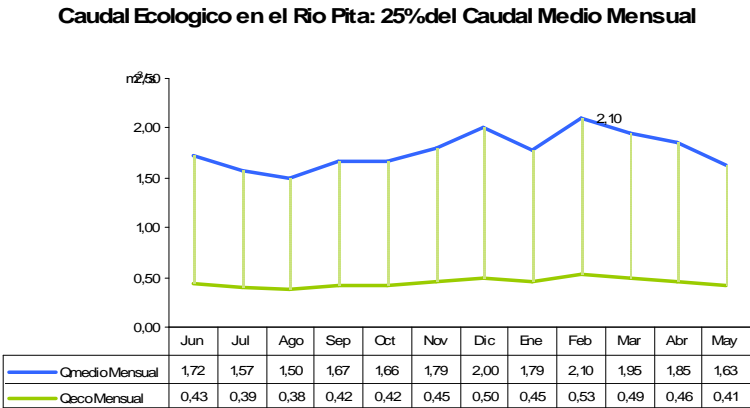
5.2.7. Caudal Ecológico para el río Pita

Luego de la captación principal el cauce natural tiene un aporte de caudal base muy pequeño. Las condiciones hidráulicas registradas han identificado que dentro de un rango de porcentajes de 0 a 30 % el caudal ecológico calculado con los datos del período de 360 días, permite una velocidad de la corriente dentro del rango de velocidad apropiado para el desarrollo de la especies registradas en la parte superior del Punto de estudio, como se puede ver en el cuadro N.- 7.

Cuadro N.- 7 Caudal ecológico para el cauce aguas abajo de la captación de Molinuco.

Parámetro	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)
5% Caudal 360	0.07	0.15
10% Caudal 360	0.14	0.30
25% Caudal 360	0.36	0.77
30% Caudal 360	0.44	0.94

Grafico N.- 2 Caudal Ecológico para el río Pita



5.2.8 Resultado de la valoración del Método LIFE

La fauna acuática presente en la parte superior del tramo de estudio en donde no hay captaciones, tiene condiciones de ribera y de lecho bastante favorables para la presencia de organismos indicadores de buena calidad. El puntaje LIFE registrado para los organismos encontrados en el río Pita demuestra una buena correlación con los valores del caudal fluvial. La baja abundancia de organismos esta asociada a la baja velocidad. Los caudales encontrados para los puntajes de LIFE están dentro del rango de velocidad que requieren los organismos de este punto para subsistir.

Como se puede observar en el Cuadro N.- 8 los rangos de velocidad clasificados de acuerdo al rango de caudales registrados, el grupo de flujo que corresponde al rango de velocidad I (rápido) es el mismo rango de velocidad en el que se encuentra la velocidad del caudal ecológico calculado, este caudal permite la existencia de las comunidades de organismos de la parte alta asociados a las características del ecosistema.

Cuadro N.- 8 Rangos de Velocidad asociados a los grupos de taxa presentes en el río Pita

Rangos de Velocidad (m/s)				
	Limite Superior	Limite Inferior	Punto Medio	Rango
I	2.59	1.92	2.26	Rápido
II	1.92	1.25	1.59	moderado/rápido
III	1.25	0.58	0.92	fluyente/corriente
IV	0.58	0.20	0.39	lento/estancado
V	0.2	--	--	seco resistente

5.2.9. Muestro Bentos Río Pita

Macroinvertebrados por categoría de abundancia

Orden	Familia	Jun		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May	
		1 Cat	2 Cat	3 Cat	4 Cat	5 Cat	6 Cat	7 Cat	8 Cat	9 Cat	10 Cat	11 Cat	12 Cat	13 Cat	14 Cat	15 Cat	16 Cat	17 Cat	18 Cat	19 Cat	20 Cat	21 Cat	22 Cat	23 Cat	24 Cat
Ephemeroptera	1 Leptophlebiidae	19	B	0	B	11	B	8	A	25	B	76	B	105	C	89	B	105	C	13	B	14	B	11	B
	2 Baetidae	18	B	16	B	11	B	9	A	17	B	55	B	100	C	105	C	78	B	22	B	13	B	6	A
	3 Leptophlebiidae	22	B			16	B	13	B	19	B	76	B	98	B	115	C	76	B	46	B	42	B	13	B
	4 Oligoneuridae	42	B	24	B			18	B	34	B	95	B	116	C	132	C	108	C	34	B	34	B	9	A
Plecoptera	5 Perlidae	13	B	3	A	1	A	0	A	1	A	11	B	16	B	12	B	10	B	7	A	2	A	1	A
	6 Gryllopterygidae	14	B	7	A	2	A	0	A	9	A	16	B	19	B	11	B	8	A	1	A	1	A	1	A
Trichoptera	7 Odontoceridae	13	B	11	B	15	B	6	A	2	A	4	A	4	A	80	B	65	B	21	B	8	A	5	A
	8 Glossosomatidae	10	A	13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	109	C	67	B	43	B	32	B	1	A	1	A
	9 Leptoceridae	10	A			6	A	7	A	3	A	9	A	109	C	67	B	43	B	32	B	34	B	2	A
	10 Hydroptilidae	10	A	13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	54	B	33	B	22	B	31	B	9	A	4	A
	11 Hydropsychidae	10	A	13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	25	B	12	B	10	B	8	A	4	A	2	A
	12 Policrotopodidae	10	A	13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	12	B	9	A	6	A	1	A	1	A	1	A
	13 Philopotamidae	10	A	13	B			7	A	3	A	9	A	20	B	15	B	4	A	3	A	2	A	2	A
	14 Helicopsychidae			13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	56	B	46	B	27	B	9	A	6	A	2	A
	15 Xiphocentronidae	2	A	3	A	6	A	7	A	3	A	9	A	10	B	6	B	3	A	4	A	1	A	2	A
	16 Limnephilidae	10	A	13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	109	C	63	B	42	B	32	B	1	A	2	A
Odonata	17 Gomphidae	76	B			6	A	0	A	3	A	99	B	132	C	142	C	139	C	32	B	4	A	2	A
Coleoptera	18 Elmidae	10	A	13	B	8	A	10	A	2	A	9	A	18	B	23	B	13	B	12	B	1	A	2	A
	19 Scirtidae			13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	43	B	32	B	41	B	32	B	1	A	2	A
	20 Hydrophilidae			13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	86	B	29	B	14	B	16	B	9	A	2	A
	21 Dytiscidae	5	A	7	A	6	A	7	A	3	A	4	A	3	A	5	A	5	A	5	A	4	A	2	A
Hemiptera	22 Mesovellidae	29	B	13	B	16	B	28	B	13	B	99	B	109	C	68	B	43	B	52	B	39	B	58	B
	23 Vellidae					6	A	7	A	45	B	78	B	126	C	111	C	134	C	76	B	29	B	27	B
	24 Geridae	13	B	13	B	6	A	7	A	3	A	32	B	109	C	115	C	101	C	45	B	55	B	44	B
	25 Hebridae	45	B	44	B	45	B	69	B	67	B	78	B	109	C	67	B	43	B	32	B	1	A	2	A
Tricladia	26 Planariidae	10	A	13	B	6	A	0	A	3	A	9	A	67	B	45	B	43	B	32	B	22	B	19	B
Gastropoda	27 Lymnaeidae	5	A	3	A	6	A	7	A	3	A	9	A	4	A	9	A	8	A	9	A	1	A	1	A
	28 Physidae	10	A	5	A	6	A	7	A	6	A	9	A	5	A	6	A	4	A	3	A	5	A	2	A
	29 Planorbidae			6	A	6	A	7	A	3	A	9	A	5	A	2	A	3	A	3	A	3	A	4	A
	30 Hydrobiidae	10	A	8	A	9	A	15	B	3	A	3	A	2	A	5	A	6	A	4	A	4	A	2	A
Bivalvia	31 Unionidae	10	A	13	B	6	A	0	A	3	A	9	A	45	B	22	B	23	B	32	B	16	B	12	B
Diptera	32 Culicidae	255	C	321	C	438	C	344	C	398	C	235	C	78	B	67	B	73	B	32	B	187	C	111	C
	33 Chironomidae	301	C	432	C	258	C	356	C	448	C	308	C	53	B	45	B	67	B	55	B	243	C	207	C
	34 Ceratopogonidae	36	B	35	B	165	C	165	C	78	B	65	B	38	B	28	B	35	B	14	B	89	B	145	C
	35 Simuliidae	345	C	178	C	249	C	347	C	201	C	234	C	109	C	111	C	89	B	99	B	68	B	68	B
	36 Psychodidae	40	B	12	C	179	C	128	C	348	C	249	C	111	C	98	B	99	B	335	C	125	C	143	C
	37 Tipulidae	157	C	256	C	211	C	156	C	267	C	321	C	99	B	89	B	67	B	66	B	49	B	108	C
	38 Muscidae	91	B	215	C	401	C	301	C	278	C	223	C	56	B	67	B	43	B	32	B	89	B	198	C
	39 Glossophoniidae	203	C	206	C	186	C	199	C	302	C	209	C	281	C	76	B	83	B	89	B	97	B	82	B
	40 Tabanidae	67	B	85	B	68	B	51	B	65	B	78	B	109	C	67	B	43	B	98	B	76	B	88	B
	41 Empididae	123	C	111	C	134	C	102	C	67	B	83	B	75	B	102	C	134	C	122	C	162	C	134	C
	42 Glossophoniidae	57	B	98	B	96	B	78	B	89	B	72	B	65	B	82	B	94	B	87	B	102	C	145	C
	43 Hirudidae	87	B	39	B	65	B	189	C	154	C	68	B	32	B	19	B	99	B	115	C	67	B	53	B
		2208		2407		2701		2711		2992		3024		2931		2394		2196		1825		1721		1727	

Análisis de fauna béntica realizado por: Entomóloga Ana Troya

Categorización asociada a los niveles de flujo del Método LIFE

5.3 Río San Pedro

5.3.1. Aforo Río San Pedro

Fecha	Q (m³/s)	Fecha	Q (m³/s)	Fecha	Q (m³/s)	Fecha	Q (m³/s)	Fecha	Q (m³/s)
25-May-05	11,12	13-Jul-05	10,85	31-Aug-05	10,56	19-Oct-05	12,20	7-Dec-05	13,56
26-May-05	11,23	14-Jul-05	11,60	1-Sep-05	11,54	20-Oct-05	12,10	8-Dec-05	14,50
27-May-05	11,55	15-Jul-05	11,67	2-Sep-05	10,86	21-Oct-05	10,50	9-Dec-05	14,52
28-May-05	10,67	16-Jul-05	10,60	3-Sep-05	10,34	22-Oct-05	9,30	10-Dec-05	13,20
29-May-05	11,11	17-Jul-05	10,24	4-Sep-05	10,15	23-Oct-05	8,40	11-Dec-05	12,34
30-May-05	11,08	18-Jul-05	11,32	5-Sep-05	10,13	24-Oct-05	11,30	12-Dec-05	12,49
31-May-05	10,89	19-Jul-05	11,57	6-Sep-05	13,38	25-Oct-05	9,30	13-Dec-05	12,78
1-Jun-05	10,13	20-Jul-05	10,70	7-Sep-05	10,57	26-Oct-05	10,20	14-Dec-05	12,23
2-Jun-05	10,05	21-Jul-05	10,29	8-Sep-05	9,17	27-Oct-05	11,40	15-Dec-05	13,58
3-Jun-05	9,78	22-Jul-05	10,11	9-Sep-05	9,13	28-Oct-05	12,30	16-Dec-05	15,11
4-Jun-05	9,42	23-Jul-05	11,60	10-Sep-05	9,22	29-Oct-05	11,30	17-Dec-05	13,54
5-Jun-05	10,43	24-Jul-05	10,50	11-Sep-05	9,32	30-Oct-05	9,20	18-Dec-05	10,23
6-Jun-05	10,12	25-Jul-05	10,65	12-Sep-05	9,87	31-Oct-05	12,40	19-Dec-05	11,45
7-Jun-05	10,56	26-Jul-05	10,32	13-Sep-05	10,08	1-Nov-05	8,90	20-Dec-05	12,43
8-Jun-05	11,14	27-Jul-05	10,00	14-Sep-05	8,90	2-Nov-05	9,20	21-Dec-05	12,78
9-Jun-05	11,58	28-Jul-05	12,20	15-Sep-05	9,70	3-Nov-05	12,00	22-Dec-05	13,16
10-Jun-05	12,71	29-Jul-05	12,55	16-Sep-05	8,00	4-Nov-05	12,30	23-Dec-05	13,82
11-Jun-05	12,01	30-Jul-05	12,32	17-Sep-05	8,70	5-Nov-05	9,70	24-Dec-05	13,45
12-Jun-05	11,95	31-Jul-05	11,34	18-Sep-05	10,30	6-Nov-05	15,20	25-Dec-05	13,14
13-Jun-05	11,04	1-Aug-05	11,01	19-Sep-05	10,20	7-Nov-05	15,40	26-Dec-05	12,98
14-Jun-05	12,18	2-Aug-05	10,90	20-Sep-05	9,80	8-Nov-05	11,60	27-Dec-05	12,78
15-Jun-05	12,05	3-Aug-05	9,67	21-Sep-05	9,90	9-Nov-05	11,80	28-Dec-05	12,25
16-Jun-05	12,30	4-Aug-05	9,55	22-Sep-05	9,60	10-Nov-05	11,50	29-Dec-05	12,37
17-Jun-05	12,32	5-Aug-05	9,45	23-Sep-05	10,80	11-Nov-05	12,90	30-Dec-05	12,68
18-Jun-05	12,45	6-Aug-05	9,12	24-Sep-05	13,30	12-Nov-05	10,60	31-Dec-05	12,54
19-Jun-05	12,71	7-Aug-05	9,11	25-Sep-05	11,20	13-Nov-05	9,61	1-Jan-06	12,61
20-Jun-05	12,71	8-Aug-05	8,99	26-Sep-05	7,10	14-Nov-05	9,30	2-Jan-06	12,73
21-Jun-05	11,45	9-Aug-05	8,92	27-Sep-05	7,00	15-Nov-05	9,50	3-Jan-06	12,78
22-Jun-05	10,78	10-Aug-05	8,96	28-Sep-05	8,80	16-Nov-05	9,92	4-Jan-06	12,32
23-Jun-05	12,24	11-Aug-05	8,98	29-Sep-05	11,10	17-Nov-05	10,11	5-Jan-06	12,49
24-Jun-05	11,59	12-Aug-05	9,07	30-Sep-05	12,60	18-Nov-05	10,34	6-Jan-06	12,52
25-Jun-05	11,10	13-Aug-05	9,34	1-Oct-05	10,10	19-Nov-05	10,45	7-Jan-06	13,15
26-Jun-05	12,23	14-Aug-05	9,56	2-Oct-05	12,50	20-Nov-05	10,43	8-Jan-06	13,34
27-Jun-05	11,10	15-Aug-05	9,62	3-Oct-05	11,60	21-Nov-05	10,53	9-Jan-06	13,78
28-Jun-05	12,35	16-Aug-05	9,98	4-Oct-05	15,30	22-Nov-05	11,24	10-Jan-06	13,82
29-Jun-05	12,78	17-Aug-05	10,52	5-Oct-05	10,80	23-Nov-05	12,65	11-Jan-06	13,82
30-Jun-05	13,78	18-Aug-05	11,12	6-Oct-05	11,80	24-Nov-05	13,45	12-Jan-06	13,85
1-Jul-05	13,65	19-Aug-05	11,32	7-Oct-05	11,20	25-Nov-05	11,29	13-Jan-06	13,76
2-Jul-05	13,22	20-Aug-05	10,19	8-Oct-05	12,50	26-Nov-05	10,56	14-Jan-06	13,75
3-Jul-05	13,78	21-Aug-05	10,87	9-Oct-05	13,00	27-Nov-05	10,65	15-Jan-06	13,56
4-Jul-05	12,25	22-Aug-05	10,15	10-Oct-05	10,20	28-Nov-05	10,47	16-Jan-06	13,61
5-Jul-05	13,28	23-Aug-05	10,24	11-Oct-05	9,00	29-Nov-05	10,38	17-Jan-06	13,78
6-Jul-05	12,15	24-Aug-05	10,87	12-Oct-05	8,80	30-Nov-05	10,78	18-Jan-06	13,42
7-Jul-05	12,11	25-Aug-05	9,76	13-Oct-05	7,40	1-Dec-05	11,05	19-Jan-06	13,10
8-Jul-05	12,16	26-Aug-05	9,32	14-Oct-05	8,50	2-Dec-05	11,97	20-Jan-06	13,04
9-Jul-05	11,56	27-Aug-05	9,78	15-Oct-05	9,70	3-Dec-05	12,89	21-Jan-06	12,98
10-Jul-05	10,19	28-Aug-05	10,12	16-Oct-05	10,60	4-Dec-05	12,45	22-Jan-06	12,44
11-Jul-05	10,82	29-Aug-05	9,45	17-Oct-05	9,40	5-Dec-05	12,36	23-Jan-06	12,46
12-Jul-05	10,34	30-Aug-05	10,32	18-Oct-05	10,10	6-Dec-05	13,62	24-Jan-06	12,67

Fecha	Q(m³/s)	Fecha	Q(m³/s)	Fecha	Q(m³/s)
25-Jan-06	12,85	17-Mar-06	12,78	7-May-06	11,45
26-Jan-06	13,45	18-Mar-06	12,98	8-May-06	12,78
27-Jan-06	13,87	19-Mar-06	12,82	9-May-06	11,45
28-Jan-06	16,12	20-Mar-06	12,87	10-May-06	10,32
29-Jan-06	15,17	21-Mar-06	12,56	11-May-06	10,34
30-Jan-06	13,22	22-Mar-06	12,34	12-May-06	10,45
31-Jan-06	14,17	23-Mar-06	12,47	13-May-06	10,67
1-Feb-06	14,23	24-Mar-06	12,28	14-May-06	10,82
2-Feb-06	15,30	25-Mar-06	12,31	15-May-06	11,22
3-Feb-06	15,78	26-Mar-06	14,55	16-May-06	11,56
4-Feb-06	13,34	27-Mar-06	14,23	17-May-06	11,78
5-Feb-06	13,56	28-Mar-06	13,34	18-May-06	12,04
6-Feb-06	13,67	29-Mar-06	14,45	19-May-06	11,34
7-Feb-06	13,12	30-Mar-06	14,29	20-May-06	11,54
8-Feb-06	12,98	31-Mar-06	14,11	21-May-06	10,34
9-Feb-06	12,76	1-Apr-06	13,82	22-May-06	10,45
10-Feb-06	12,68	2-Apr-06	13,85	23-May-06	9,32
11-Feb-06	13,05	3-Apr-06	13,14	24-May-06	9,45
12-Feb-06	13,11	4-Apr-06	12,78	25-May-06	9,87
13-Feb-06	13,46	5-Apr-06	11,56		
14-Feb-06	13,56	6-Apr-06	12,65		
15-Feb-06	16,24	7-Apr-06	12,92		
16-Feb-06	15,35	8-Apr-06	12,98		
17-Feb-06	13,82	9-Apr-06	11,51		
18-Feb-06	13,61	10-Apr-06	11,54		
19-Feb-06	12,98	11-Apr-06	11,65		
20-Feb-06	13,15	12-Apr-06	11,89		
21-Feb-06	12,78	13-Apr-06	12,03		
22-Feb-06	12,15	14-Apr-06	12,67		
23-Feb-06	12,46	15-Apr-06	12,78		
24-Feb-06	15,34	16-Apr-06	12,83		
25-Feb-06	12,16	17-Apr-06	16,78		
26-Feb-06	12,76	18-Apr-06	14,53		
27-Feb-06	12,81	19-Apr-06	11,78		
28-Feb-06	12,56	20-Apr-06	11,45		
1-Mar-06	12,45	21-Apr-06	11,45		
2-Mar-06	12,13	22-Apr-06	11,56		
3-Mar-06	15,34	23-Apr-06	11,54		
4-Mar-06	14,34	24-Apr-06	10,16		
5-Mar-06	11,56	25-Apr-06	10,98		
6-Mar-06	11,78	26-Apr-06	10,67		
7-Mar-06	11,91	27-Apr-06	10,45		
8-Mar-06	14,22	28-Apr-06	10,34		
9-Mar-06	11,36	29-Apr-06	11,12		
10-Mar-06	11,39	30-Apr-06	11,34		
11-Mar-06	12,56	1-May-06	11,65		
12-Mar-06	13,18	2-May-06	10,45		
13-Mar-06	13,92	3-May-06	9,45		
14-Mar-06	13,78	4-May-06	9,48		
15-Mar-06	13,65	5-May-06	9,67		
16-Mar-06	13,69	6-May-06	10,34		

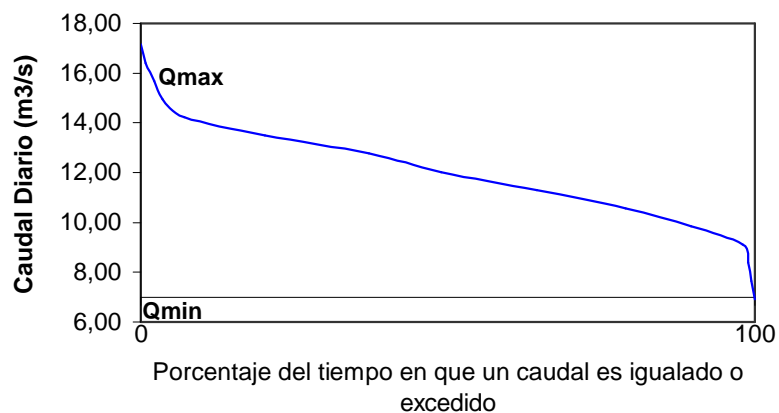
5.3.2 Análisis Estadístico de caudales del Río San Pedro

	Intervalos de Clase		Frecuencia absoluta	Punto medio m ³ /s	Fecuencia Absoluta Acumulada	Frecuencia Acumulada Relativa
<i>i</i>	Limite inferior	Limite superior				
1	16,78	17,51	0	17,15	0	0
2	16,05	16,78	3	16,41	3	1
3	15,32	16,05	5	15,68	8	2
4	14,59	15,32	5	14,95	13	4
5	13,86	14,59	13	14,22	26	7
6	13,13	13,86	48	13,49	74	20
7	12,40	13,13	62	12,76	136	37
8	11,67	12,40	43	12,03	179	49
9	10,94	11,67	57	11,30	236	64
10	10,21	10,94	53	10,57	289	79
11	9,48	10,21	39	9,84	328	90
12	8,75	9,48	31	9,11	359	98
13	8,02	8,75	3,00	8,38	362	99
14	7,29	8,02	2,00	7,65	364	99
15	6,56	7,29	2,00	6,92	366	100
			366			

Minimo	7,00	7
Maximo	16,78	17
Media	11,70	
Q95%	9,12	
Recorrido	10,78	11
Intervalos	15,00	10
Amplitud	0,73	1,10

5.3.3 Curva de duración río San Pedro

Curva de Duracion de Caudales:
Río San Pedro en San Rafael

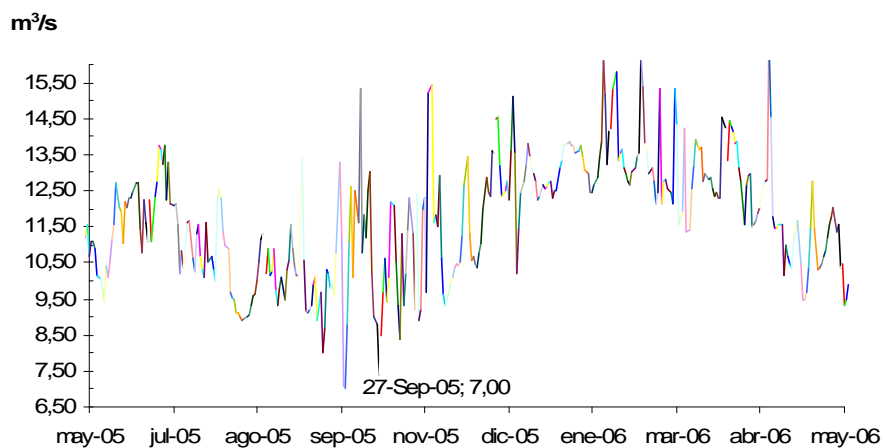


5.3.4 Caudales mensuales río San Pedro

Meses	Q Medio Mensual (m³/s)
Junio 05	11,57
Julio 05	11,48
Agosto 05	9,90
Septiembre 05	10,03
Octubre 05	10,67
Noviembre 05	11,09
Diciembre 05	12,85
Enero 06	13,38
Febrero 06	13,53
Marzo 06	13,09
Abril 06	12,16
Mayo 06	10,73

5.3.5 Variaciones estacionales río San Pedro

Grafico N.- 3 Variaciones Estacionales del río San Pedro (periodo mayo 2005 – junio 2006)

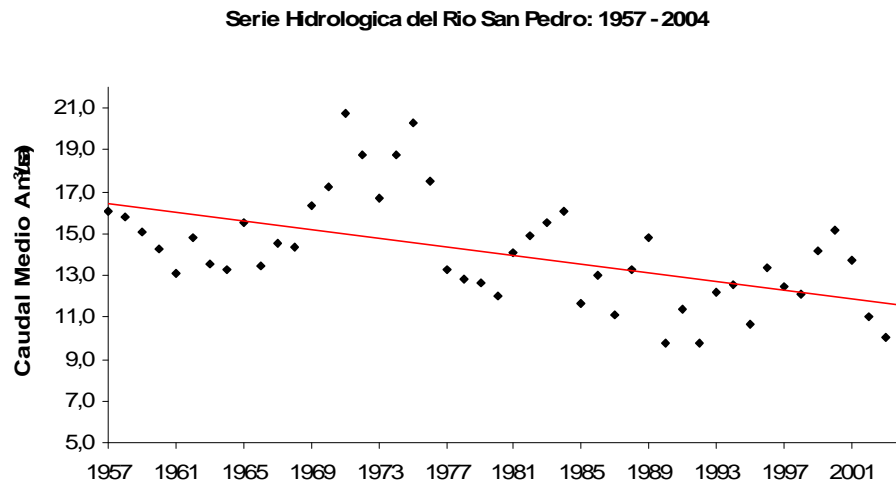


5.3.6. Datos hidrológicos históricos registrados por la Empresa Eléctrica Quito en el periodo (1957-2004) para el río San Pedro

Año	ene	feb	mar	Abr	may	Jun	jul	aug	sep	oct	nov	dic	Min	Max	Prom
1957	18,5	15,5	24,6	23,9	19,0	15,3	13,3	11,3	12,3	12,6	13,1	13,5	11,3	24,6	16,1
1958	19,5	19,7	17,1	22,1	19,7	16,1	11,6	12,0	11,0	13,5	13,5	13,4	11,0	22,1	15,8
1959	14,4	13,9	14,9	17,3	20,7	17,7	13,8	11,7	10,3	12,8	15,4	17,9	10,3	20,7	15,1
1960	16,5	17,5	18,6	19,0	18,5	12,9	11,8	10,5	10,2	11,4	11,0	12,9	10,2	19,0	14,2
1961	13,5	13,7	14,8	18,1	15,0	13,7	11,1	9,1	9,0	12,3	13,3	13,5	9,0	18,1	13,1
1962	17,9	17,2	22,2	19,4	16,9	15,1	11,3	10,0	9,0	11,7	14,2	12,7	9,0	22,2	14,8
1963	13,7	17,9	18,0	17,9	15,9	12,8	10,9	9,3	8,6	9,7	12,7	14,9	8,6	18,0	13,5
1964	13,6	12,2	10,8	17,7	14,2	13,6	12,6	10,9	11,6	13,0	14,3	14,3	10,8	17,7	13,2
1965	14,7	14,5	16,7	22,6	21,3	13,8	11,0	9,2	10,3	14,8	22,1	15,0	9,2	22,6	15,5
1966	14,5	13,7	13,2	14,0	16,7	13,8	12,2	10,0	10,3	14,2	14,1	14,7	10,0	16,7	13,5
1967	15,2	22,7	22,2	16,3	15,4	14,5	11,7	9,4	8,7	12,9	13,6	11,6	8,7	22,7	14,5
1968	11,7	15,5	20,1	19,1	14,4	11,1	11,7	10,0	12,6	17,5	15,0	13,4	10,0	20,1	14,3
1969	14,2	18,8	16,7	23,9	18,8	18,9	12,0	10,1	10,6	14,4	17,1	20,8	10,1	23,9	16,4
1970	19,6	23,2	21,5	19,3	20,5	17,7	13,1	11,4	11,8	12,7	18,6	17,8	11,4	23,2	17,3
1971	20,4	28,5	29,6	23,9	22,4	20,2	15,8	13,5	14,7	19,2	20,6	20,6	13,5	29,6	20,8
1972	23,6	23,0	24,7	24,0	22,3	19,8	16,2	12,9	12,2	12,7	16,5	16,8	12,2	24,7	18,7
1973	14,9	14,9	17,1	22,9	20,9	18,5	14,6	14,0	15,8	16,6	15,1	14,8	14,0	22,9	16,7
1974	16,4	23,5	25,8	19,7	20,4	18,0	15,1	12,3	12,8	19,1	20,7	21,4	12,3	25,8	18,8
1975	20,9	24,2	24,3	21,6	21,6	18,8	20,4	16,6	16,4	16,6	21,7	20,8	16,4	24,3	20,3
1976	21,4	21,2	24,4	22,3	18,9	17,6	15,0	12,9	11,5	13,1	16,3	15,4	11,5	24,4	17,5
1977	14,3	14,2	14,5	16,4	14,6	13,8	10,9	9,8	10,3	14,4	12,3	13,4	9,8	16,4	13,2
1978	16,7	11,6	13,2	16,8	18,6	12,5	11,7	9,6	11,1	9,9	9,6	13,0	9,6	18,6	12,9
1979	11,3	9,1	17,9	16,9	18,0	15,7	11,5	9,5	12,2	11,1	9,7	8,9	8,9	18,0	12,7
1980	10,2	15,9	14,3	15,7	12,3	10,1	7,8	8,1	8,4	12,6	13,5	15,0	7,8	15,9	12,0
1981	13,2	15,1	21,6	22,2	17,5	14,1	11,8	9,3	9,1	10,1	12,1	13,4	9,1	22,2	14,1
1982	17,2	18,1	17,8	16,8	18,0	14,4	10,6	8,5	8,8	12,5	15,4	20,5	8,5	20,5	14,9
1983	18,6	19,3	17,5	20,2	19,6	16,8	12,8	10,4	11,0	11,6	12,1	16,3	10,4	20,2	15,5
1984	14,5	19,8	19,9	20,4	18,8	15,9	12,8	11,2	13,4	15,3	15,4	15,7	11,2	20,4	16,1
1985	16,1	13,3	11,9	12,9	13,9	11,6	10,0	9,4	9,9	10,8	9,3	10,5	9,3	16,1	11,6
1986	14,5	14,1	18,1	18,7	16,2	12,6	8,8	7,3	8,2	11,8	14,7	10,9	7,3	18,7	13,0
1987	13,7	10,9	13,4	13,9	16,8	10,6	8,5	8,2	8,3	11,2	9,7	8,6	8,2	16,8	11,2
1988	10,1	11,5	11,2	17,3	16,9	13,8	11,1	8,9	10,3	12,5	18,8	16,8	8,9	18,8	13,3
1989	21,5	19,1	19,5	17,8	16,9	15,3	13,9	10,5	10,3	13,0	11,3	8,6	8,6	21,5	14,8
1990	9,6	11,0	10,1	15,9	13,2	9,3	7,7	6,1	6,6	10,2	9,2	8,8	6,1	15,9	9,8
1991	10,3	9,9	16,4	13,8	14,7	10,7	9,7	8,5	7,6	9,0	12,4	13,7	7,6	16,4	11,4
1992	10,5	12,7	11,1	14,3	11,3	8,7	7,4	7,2	8,0	8,8	8,9	8,2	7,2	14,3	9,8
1993	11,3	15,1	17,1	19,5	20,0	11,2	9,0	6,6	6,4	7,4	9,2	13,1	6,4	20,0	12,2
1994	13,7	15,8	17,5	18,5	17,2	11,6	8,2	7,5	6,6	8,5	12,0	13,3	6,6	18,5	12,5
1995	10,5	9,4	11,0	13,5	12,8	10,5	8,6	9,1	7,3	9,7	14,6	11,1	7,3	14,6	10,7
1996	12,3	17,4	17,9	17,8	18,5	15,4	12,4	9,0	8,8	10,6	9,7	10,3	8,8	18,5	13,3
1997	14,2	16,1	14,1	15,6	14,0	13,8	8,7	7,4	7,2	9,4	15,2	14,3	7,2	16,1	12,5
1998	10,9	11,2	13,7	17,5	16,5	13,0	10,5	9,0	8,3	10,1	15,4	9,6	8,3	17,5	12,1
1999	13,2	16,7	17,9	17,9	17,7	16,1	11,1	8,8	10,8	12,2	11,6	16,3	8,8	17,9	14,2
2000	16,8	17,1	17,9	17,8	17,9	18,2	15,8	12,0	13,3	12,1	11,8	11,0	11,0	18,2	15,1
2001	16,8	17,1	16,4	16,1	15,0	13,6	11,4	11,2	11,2	10,5	11,5	13,8	10,5	17,1	13,7
2002	11,6	9,4	12,6	15,8	12,7	13,2	8,3	7,2	7,1	9,3	12,9	12,3	7,1	15,8	11,0
2003	10,5	10,3	10,9	14,0	12,1	10,9	8,3	6,9	7,0	8,4	10,6	11,0	6,9	14,0	10,1
2004	9,3	7,8	7,5	9,3	9,9	8,1	6,9	6,1	6,8	6,6					
Prom	14,8	15,8	17,1	18,1	17,0	14,2	11,5	9,8	10,1	12,1	13,8	13,9	9,5	19,6	14,1
Min	9,3	7,8	7,5	9,3	9,9	8,1	6,9	6,1	6,4	6,6	8,9	8,2			
Max	23,6	28,5	29,6	24,0	22,4	20,2	20,4	16,6	16,4	19,2	22,1	21,4			

Datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito

5.3.7 Serie Hidrológica del río San Pedro periodo 1957 - 2004



Los datos de caudal tomados en el Tramo II, permitieron corroborar los datos hidrológicos históricos registrados por la Empresa Eléctrica Quito desde el año 1957 al 2003. La parte alta del tramo II, corresponde a la zona de San Pedro de Taboada y la parte baja se encuentra a 50 m luego de la toma de San Rafael. En el Cuadro N.- 9 se presentan los parámetros estadísticos relevantes.

Este río presenta pocas fluctuaciones y el mes de agosto demostró una fuerte época de sequía, no obstante en noviembre se pudo observa importantes crecidas al igual que los últimos días de diciembre. A pesar de que este río recibe varios aportantes, el valor mínimo registrado fue de 7.00 m³/s, mientras que el máximo fue de 16.78 m³/s, asociado a los primeros días del mes de junio.

Cuadro N.- 9 Parámetros estadísticos del flujo para el río San Pedro.

Parámetro	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
<i>Media</i>	11.70	7.07
<i>Máximo</i>	16.78	10.13
<i>Mínimo</i>	7.00	4.23
<i>25% Percentil</i>	2.28	1.38
<i>Q₃₆₀</i>	9.12	5.51

Las condiciones morfológicas del cauce en el punto correspondiente aguas arriba de la captación son bastante uniformes, teniendo una sección tipo del cauce de un ancho aproximado de 6 m y un profundidad promedio de 1.13 m. Estas características permiten conducir un caudal representativo para el sistema.

El período de muestreo de 360 días permitió encontrar un valor promedio que ocurre con una probabilidad del 95% y del cual se obtuvo el correspondiente Percentil 25% que es el valor con el que se asocia la velocidad que requieren los macroinvertebrados que viven aguas arriba de la captación y que por las condiciones morfológicas después de la captación, podrían subsistir y empezar a repoblar el cauce.

Las condiciones hidráulicas de morfología del cauce del río después de la captación son especialmente desastrosas. El cauce ha perdido su forma inmediata natural debido a la ausencia de flujo direccional. Con las descargas puntuales para lavado del cauce, realizadas por la Empresa Eléctrica Quito, no se ha mejorado el estado del cauce y se ha mantenido un lecho bastante pobre en calidad y que dadas sus características podría brindar la oportunidad de repoblación béntica y vegetal a mediano y largo plazo.

El ancho del cauce a 50 m aguas debajo de la captación tiene una sección tipo de 3.45 m aproximadamente con una profundidad promedio de 0.48 m. Esta zona ubicada al final del tramo de estudio tiene un aporte de caudal base de las laderas y corresponde únicamente a aguas servidas.

5.3.8 Caudal Ecológico para el río San Pedro

En el Cuadro N.- 10 se puede observar que aplicando las condiciones de morfología aguas abajo de la captación, el caudal correspondiente al 25% del caudal con 95% de probabilidad de ocurrencia en el período de 360 días es un caudal que ofrece una velocidad de flujo con la que la comunidad béntica aguas arriba de la captación se mantiene activa.

Cuadro N.-10 Caudal ecológico para el cauce aguas abajo de la captación de San Rafael.

Parámetro	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
5% Caudal 360	0.46	0.27
10% Caudal 360	0.91	0.55
25% Caudal 360	2.28	1.38
30% Caudal 360	2.74	1.65

Grafico N.- 4 Caudal Ecológico para el río San Pedro

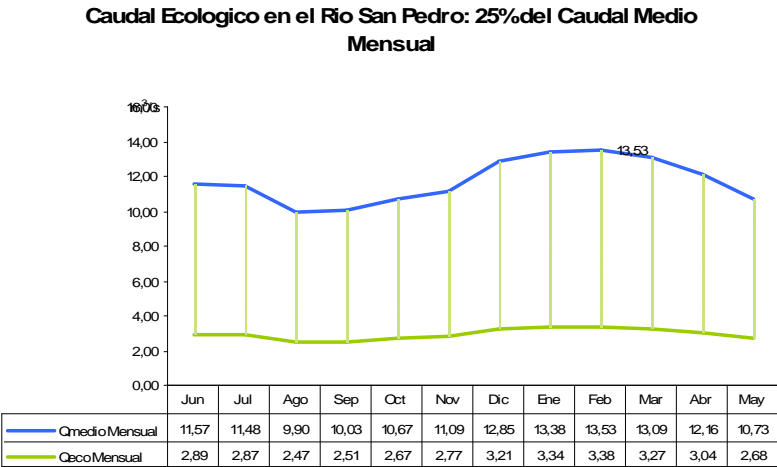
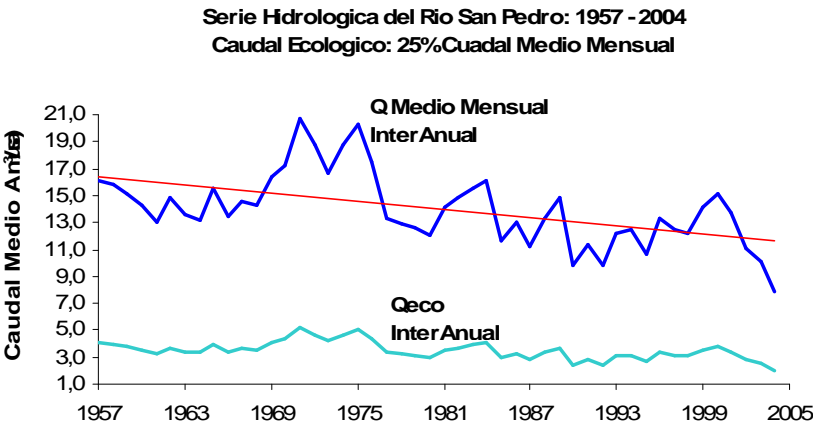


Grafico N.- 5 Caudal Ecológico para el río San Pedro en el periodo 1957 - 2004



5.3.9 Resultado de la valoración del Método LIFE

Los rangos de velocidad de los caudales registrados en el punto antes de la captación están relacionados a la velocidad III (fluyente / corriente) que corresponde a la mayoría de los organismos que habitan en esta zona del río.

Cuadro N.- 11 Rangos de Velocidad asociados a los grupos de taxa presentes en el río San Pedro.

Rangos de Velocidad (m/s)				
	Limites Superior	Limite Inferior	Punto Medio	Rango
I	3.43	2.61	3.02	Rápido
II	2.61	1.79	2.20	moderado/rápido
III	1.79	0.97	1.38	fluyente/corriente
IV	0.97	0.15	0.56	lento/estancado
V	0.15	--	--	seco resistente

5.3.10. Muestro Bentos Río San Pedro

Macroinvertebrados por categoría de abundancia

Orden		Familia	Jun		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar		Abr		May	
			1 Cat	2	cat	3	cat	4	cat	5	cat	6	cat	7	cat	8	cat	9	cat	10	cat	11	cat	12	cat	
Ephemeroptera	1	Leptophlebiidae	21	B	0	B	14	B	8	A	25	B	76	B	105	C	89	B	105	C	13	B	14	B	11	B
	2	Baetidae	45	B	16	B	11	B	9	A	17	B	55	B	100	C	105	C	78	B	22	B	13	B	6	A
	3	Leptophyphidae	33	B			16	B	13	B	19	B	76	B	98	B	115	C	76	B	46	B	42	B	13	B
Plecoptera	4	Oligoneuridae	11	B	24	B			18	B	34	B	95	B	116	C	132	C	108	C	34	B	34	B	9	A
	5	Perlidae	45	B	3	A	1	A	0	A	1	A	11	B	16	B	12	B	10	B	7	A	2	A	1	A
	6	Gryopterigidae	13	B	7	A	2	A	0	A	9	A	16	B	19	B	11	B	8	A	1	A	1	A	1	A
Trichoptera	7	Odontoceridae	18	B	11	B	15	B	6	A	11	B	4	A	4	A	80	B	65	B	21	B	8	A	5	A
	8	Glossosomatidae	12	B	13	B	6	A	7	A	33	B	18	B	109	C	67	B	43	B	32	B	1	A	1	A
	9	Leptoceridae	21	B			6	A	7	A	22	B	9	A	109	C	67	B	43	B	32	B	34	B	2	A
	10	Hydroptilidae	3	A	13	B	6	A	7	A	18	B	32	B	54	B	33	B	22	B	31	B	9	A	4	A
	11	Hydropsychidae	4	A	13	B	6	A	7	A	13	B	9	A	25	B	12	B	10	B	8	A	4	A	2	A
	12	Policentropodidae	6	A	13	B	6	A	7	A	5	A	24	B	12	B	9	A	6	A	1	A	1	A	1	A
	13	Philopotamidae	2	A	13	B			7	A	7	A	4	A	20	B	15	B	4	A	3	A	2	A	2	A
	14	Helicopsychidae	7	A	13	B	6	A	7	A	18	B	6	A	56	B	46	B	27	B	9	A	6	A	2	A
	15	Xiphocentronidae	1	A	3	A	6	A	7	A	14	B	2	A	10	B	6	B	3	A	4	A	1	A	2	A
Odonata	16	Limnephilidae	8	A	13	B	6	A	7	A	12	B	11	B	109	C	63	B	42	B	32	B	1	A	2	A
	17	Gomphidae	11	B	3	A	6	A	13	B	21	B	24	B	132	C	142	C	139	C	32	B	4	A	2	A
	18	Elmidae	4	A	13	B	8	A	10	A	2	A	9	A	18	B	23	B	13	B	12	B	1	A	2	A
Coleoptera	19	Scirtidae	2	A	13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	43	B	32	B	41	B	32	B	1	A	2	A
	20	Hydrophilidae	6	A	13	B	6	A	7	A	3	A	9	A	86	B	29	B	14	B	16	B	9	A	2	A
	21	Dysticidae	5	A	7	A	6	A	7	A	3	A	4	A	3	A	5	A	5	A	5	A	4	A	2	A
Hemiptera	22	Mesoveliidae	29	B	13	B	16	B	28	B	13	B	99	B	109	C	68	B	43	B	52	B	39	B	58	B
	23	Veliidae	43	B			6	A	7	A	45	B	78	B	126	C	111	C	134	C	76	B	29	B	27	B
	24	Gerridae	26	B	13	B	6	A	7	A	3	A	32	B	109	C	115	C	101	C	45	B	55	B	44	B
Tricladia	25	Hebridae	45	B	44	B	45	B	69	B	67	B	78	B	109	C	67	B	43	B	32	B	1	A	2	A
	26	Planariidae	12	B	13	B	6	A	0	A	3	A	9	A	67	B	45	B	43	B	32	B	22	B	19	B
	27	Lymnaeidae	5	A	3	A	6	A	7	A	17	B	11	B	12	B	9	A	8	A	9	A	1	A	1	A
Gastropoda	28	Physidae	10	A	5	A	6	A	7	A	15	B	16	B	18	B	6	A	4	A	3	A	5	A	2	A
	29	Planorbidae	4	A	6	A	6	A	7	A	14	B	12	B	15	B	2	A	3	A	3	A	3	A	4	A
	30	Hydrobiidae	10	A	8	A	9	A	15	B	12	B	11	B	13	B	5	A	6	A	4	A	4	A	2	A
Bivalvia	31	Unionidae	67	B	13	B	6	A	0	A	3	A	9	A	45	B	22	B	23	B	32	B	16	B	12	B
	32	Culicidae	345	C	456	C	567	C	678	C	976	C	678	C	387	B	856	B	658	B	752	B	687	C	487	C
	33	Chironomidae	975	C	667	C	896	C	688	C	932	C	801	C	723	B	634	B	713	B	624	B	719	C	367	C
	34	Ceratopogonidae	988	C	784	B	673	C	682	C	554	B	567	B	348	B	622	B	574	B	549	B	766	B	988	C
	35	Simuliidae	568	C	744	C	565	C	778	C	568	C	568	C	568	C	568	C	568	B	568	B	568	B	568	B
	36	Psychodidae	40	B	64	C	78	C	69	C	40	C	40	C	40	C	40	C	40	B	40	C	40	C	40	C
	37	Tipulidae	674	C	521	C	667	C	156	C	674	C	674	C	674	B	674	B	674	B	674	B	674	B	674	C
	38	Muscidae	588	C	661	C	889	C	223	C	588	C	588	C	588	B	588	B	588	B	588	B	588	B	588	C
	39	Glossiphoniidae	965	C	445	C	675	C	897	C	965	C	965	C	965	C	965	B	965	B	965	B	965	B	965	B
	40	Tabanidae	788	C	998	B	488	B	777	B	788	B	788	B	788	C	788	B	788	B	788	B	788	B	788	B
	41	Empididae	639	C	698	C	981	C	908	C	639	B	639	B	639	B	639	C	639	C	639	C	639	C	639	C
	42	Glossiphoniidae	902	C	778	B	884	B	884	B	902	B	902	B	902	B	902	B	902	B	902	B	902	C	902	C
Hirudinea	43	Hirudidae	861	C	928	B	709	B	861	C	861	C	861	B	861	B	861	B	861	B	861	C	861	B	861	B
			8862		8066		8323		7909		8969		8929		9350		9680		9240		8631		8564		812	

Análisis de fauna béntica realizado por: Entomóloga Ana Troya

Categorización asociada a los niveles de flujo del Método LIFE

VI. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El área afectada tiene muy mala calidad que se demuestra en el aporte de aguas servidas como caudal persistente para el cauce. En corroboración con esta información el registro de los datos físico - químicos y la concentración de oxígeno disuelto aguas arriba y aguas abajo de la captación son mínimas comparadas a las condiciones de cualquier cuerpo de agua.

Se registró en rango altitudinal las concentraciones de oxígeno disuelto. La ubicación de los puntos de registro está asociada a los sitios de descargas de contaminantes y los puntos en donde se observaron captaciones ilegales.

En el Cuadro N.- 12 se presentan los valores registrados durante el periodo de muestreo correspondiente a doce meses desde mayo de 2005 hasta junio de 2006, se puede observar como varían gradualmente las concentraciones de oxígeno disuelto OD, a medida que los cuerpos de agua adquieren contacto con las poblaciones en los diferentes rangos de altitud.

Cuadro N.- 12 Ubicación altitudinal de los puntos de registro de Oxígeno Disuelto en las subcuencas del Pita y San Pedro.

Cuerpo de Agua	Altitud (msnm)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Estado
Pita en Pita – Tambo	3382	9.2	Muy bueno
Pita DJ Santa Clara	3070	8.5	Muy Bueno
Pita en Molinuco	2890	8.3	Muy Bueno
Río Santa Clara (naciente)	2990	8.1	Bueno
Río Sambache	2780	7.2	Bueno
Quebrada Las Lanzas	2775	7.1	Bueno
Quebrada San José	2650	6.9	Regular
San Pedro en Cachaco	2571	6.8	Regular
Río Cachaco	2560	6.7	Regular
Río San Nicolás	2545	6.5	Regular
Río La Merced	2539	5.6	Regular
Río Santa Clara - Sangolquí	2480	5.6	Malo
Río Capelo	2478	4.5	Malo
San Pedro en San Rafael	2465	4.3	Muy Malo
Pita unión San Pedro	2444	3.2	Muy Malo

Con estos datos podríamos determinar en que tramos puede haber una mayor cantidad de fauna béntica que sirva como indicador de calidad de agua.

También podemos observar que conforme va disminuyendo la altitud y los ríos van avanzando por sus cauces y son intervenidos por el hombre ya sean por captaciones o descargas la cantidad de oxígeno disuelto va disminuyendo considerablemente afectando así las condiciones de referencia de estos.

En el mapa N.-4, Anexo 3, se puede observar como va cambiando la calidad del agua conforme su paso a través de la cuenca.

A pesar de que la mayoría de especies de macroinvertebrados registrados en los eventos de granizo y fuerte lluvia pertenecen a los grupos conocidos en la zona, la abundancia de estos organismos ha aumentado en larvas hasta un nivel muy estable incluso con la variabilidad de caudales registrados.

Esto podría indicar que el caudal ecológico sí va a responder a las necesidades de los organismos que habitan en los cauces. La importancia de tener caudales de crecida y fuertes avenidas que permitan el lavado de nutrientes y sedimentos se ha tomado en cuenta a pesar de que no se ha podido aún definir en los períodos históricos hidrológicos debido a la baja cantidad de información que se posee sobre el período de retorno de las crecidas naturales. Lejos de obtener estos caudales los eventos de lluvia registrados responden de manera muy favorable a la limpieza de los cauces y la repoblación de especies vegetales y organismos acuáticos.

La disolución de nutrientes y la disminución de la generación de gases de mal olor puede evidenciarse en el río San Pedro gracias a dos crecidas del río que ocasionaron el arrastre de la mayor cantidad de material orgánico en descomposición apiñado en las márgenes de las áreas cercanas a edificaciones.

Específicamente, el lavado de nutrientes y sedimentos ocurre cuando el caudal de crecida causa el exceso de agua sobre el azud normal del río ocasionando que los márgenes se regeneren en un proceso natural. En el caso del río Pita, las condiciones durante los eventos

de lluvia han estado influenciadas por la vasta gama de captaciones construidas aguas arriba de la toma de Molinuco y que no han permitido que ningún exceso pase por el vertedero, de esta manera no han existido crecidas de lavado de nutrientes y sedimentos que aseguren una repoblación de especies vegetales y organismos acuáticos.

El análisis realizado en un período de muestreo relativamente corto ha permitido inferir la posibilidad de establecer un caudal ecológico que pueda adaptarse a las condiciones mas críticas de la zona de estudio, que son los meses de junio a septiembre, conocidos como la época de verano. Esta época, con las mayores sequías y presión en la extracción de agua, es el mejor indicativo del nivel de estiaje que se puede enfrentar y al cual debe responder el caudal ecológico de manera permanente.

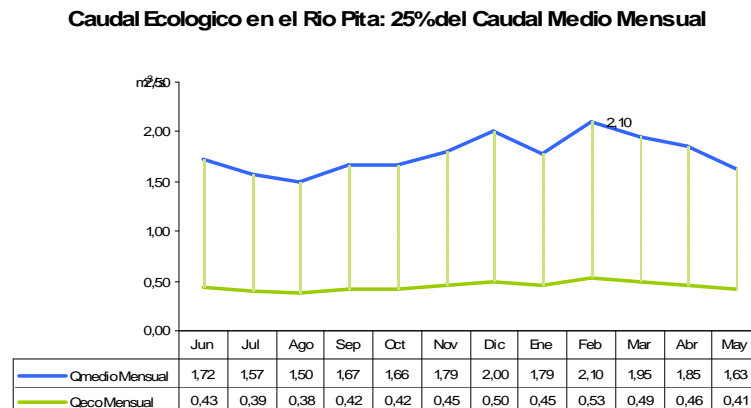
La aplicación de Metodologías como LIFE, IFIM o EPT ayudan a relacionar todos los datos hidrológicos con los datos de bentos.

VII. CONCLUSIONES

El caudal ecológico que se determinó luego de aplicar el método LIFE para el río Pita fue de $0.36 \text{ m}^3/\text{s}$ con un 95% de ocurrencia, luego de transformar el caudal a velocidad el grupo de flujo que corresponde al rango de velocidad I (rápido), este caudal permite la existencia de las comunidades de organismos de la parte alta asociados a las características del ecosistema. y tomar en cuenta la velocidad que necesitaba la fauna béntica para su desarrollo. Mapa N.- 1, Anexo 3

El caudal ecológico que se determinó luego de aplicar el método LIFE para el río San Pedro fue de $2.97 \text{ m}^3/\text{s}$ con un 95% de ocurrencia, de igual forma luego de transformar el caudal a velocidad 2.34 m/s , los rangos de velocidad de los caudales están relacionados a la velocidad III (fluyente / corriente) que corresponde a la mayoría de los organismos que habitan en esta zona del río. Mapa N.- 1, Anexo 3.

Grafico N.- 6 Caudal Ecológico para el río Pita



Los datos hidrológicos históricos registrados por la Empresa Eléctrica Quito en el periodo (1957-2004) para el río San Pedro sirvieron como una validación del muestreo realizado y del caudal ecológico determinado.

Grafico N.- 7 Caudal Ecológico para el río San Pedro

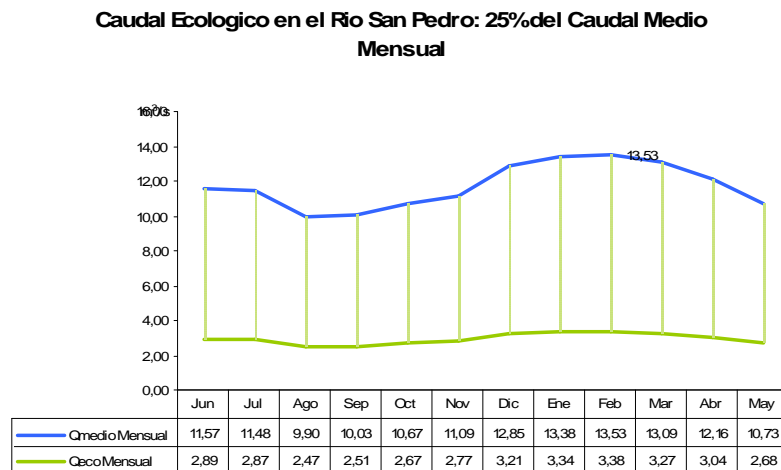
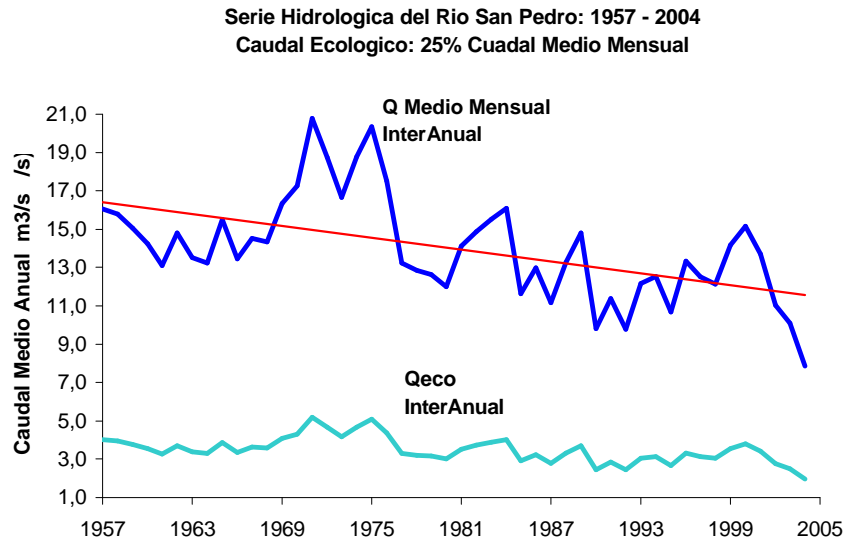


Grafico N.- 8 Caudal Ecológico para el río San Pedro en el periodo 1957 – 2004



Para la concepción del caudal ecológico mediante el método LIFE sin alterar el gravemente el caudal de extracción para las centrales hidroeléctricas se podría trabajar en la reducción de la sección del cauce para así tener tramos tipo corregidos con secciones tipo establecidas.

La aplicación de estos resultados se puede dar con la debida aprobación por parte de las autoridades y realizando un análisis costo-beneficio para aquellos que sean perjudicados como puede ser el caso de la Empresa Eléctrica Quito.

VIII. RECOMENDACIONES

Para establecer el caudal ecológico de los ríos Pita y San Pedro las recomendaciones se hacen estimando el alcance del proyecto y enfocando las futuras propuestas hacia acciones concretas, que puedan ser aplicadas por los respectivos responsables.

- Infundir en la normativa legal del país ya sea a nivel de leyes, ordenanzas, reglamentos, etc., la aplicación de caudales ecológicos en ríos del Ecuador.
- Definir metodologías para calcular el caudal ecológico en diferentes ríos del Ecuador.
- Es necesario exigir de parte de los municipios asentados en la cuenca alta del río Guayllabamba, ampliar sus convenios de mancomunidad y ajustar las ordenanzas y políticas normativas para reducir la contaminación de los recursos incorporando criterios ambientales básicos.
- Exigir al Consejo Nacional de Recursos Hídricos re - inventariar las concesiones legales y los respectivos caudales que se ajusten a la actual realidad de la zona. Establecer las debidas multas y penalidades para quienes fuera de la ley extraen agua perjudicando a usuarios en la zona baja.
- Apoyar a la Autoridades locales en la gestión del control de las descargas de efluentes líquidos sin previo tratamiento a través de denuncias y difusión de las responsabilidades del incumplimiento de las normas ambientales, por parte de las industrias, urbanizaciones y demás.
- Establecer convenios con universidades para que estas asesoren a usuarios infractores.
- Considerar el riego ya que este es el mayor consumidor de agua superficial.
- Apoyar a la incorporación del caudal ecológico a la planificación de los recursos hídricos en los usos de hidroelectricidad y agua potable, a través de la difusión de los beneficios de recuperar los cuerpos de agua y mejorar la calidad de vida.

- Ampliar las aplicaciones del caudal ecológico hacia nuevas propuestas que fortalezca la hidroecología e involucren a la sociedad civil como el primer veedor y beneficiario. A través de una fuerte campaña de dar agua para recuperar el agua se puede revalorizar turísticamente las zonas de gran atractivo ecológico y que con anterioridad eran fuentes de recreación.
- Para realizar un análisis del costo que implica mantener un caudal ecológico y el beneficio que puede ofrecer a los usuarios, es necesario evaluar la posibilidad de aplicar incentivos para la regulación del agua y la re-asignación de caudales (Dyson *et al.*, 2003). Para esto la EEQ debe asumir su responsabilidad y actuar sobre la base de las necesidades ambientales emergentes.
- Es necesario que la EEQ invierta en la recuperación de los ríos y ofrezca esta compensación ambiental a cambio de recuperar los caudales que le fueran asignados y que requiere para su óptimo funcionamiento. Por este motivo, se considera importante impulsar la reingeniería de las centrales con criterios Hidroecológicos que respondan a la realidad del crecimiento humano y las condiciones ambientales locales.
- Finalmente, se puede establecer que únicamente, a través de la gradual incorporación del caudal ecológico al sistema, el impacto económico será asimilable mientras que los beneficios ambientales se harán cada vez más evidentes.

El caudal ecológico definido para el río San Pedro y Pita es un caudal que estadísticamente representa el 25% del caudal promedio del periodo de muestreo y que esta muy relacionado con el caudal promedio anual, este caudal permitirá regresar a las condiciones que existen aguas arriba, en donde las comunidades a conservar estas directamente asociadas a la calidad del agua de las zonas pobladas. Los ríos en estudio están sometidos a fuertes presiones de uso y por lo tanto aproximarse a un concepto únicamente hidrológico de permitir el 10% del caudal medio mensual o anual, no es aconsejable ya que no se considera la variabilidad ecológica.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Armitage, P.D., Cannan, C.A., and Symes, K.L. 1997. *Appraisal of the use of ecological information in the management of low flows in river*, Environmental Agency, R&D Technical Report W72, Bristol, UK.
- Atlas del Cantón Mejía. Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas. Quito. 1996.
- Brooks, A. 1990. *Channelized Rivers Perspectives for Environmental Management*, Wiley, Chichester.
- Brunke, M., Hoffmann, A., Pusch, M. 2001. Use of Mesohabitat – specific relationships between flow velocity and river discharge to assess invertebrate minimum flow requirements. *Regulated Rivers Research and Management* 17: 667-676.
- Carrera de la Torre, L. 1972. *Las obras hidráulicas y la supervivencia del Ecuador*.
- Carrera de la Torre, L. 2003. *La gestión del agua, contaminación y calidad del recurso en el Ecuador*. Quito – Ecuador.
- Carrera de la Torre, L. 2004. *Plan Maestro Orientador del Manejo de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito*. Documento para The Nature Conservancy.
- Carrera, C. y Fierro, K. 2001. *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia. Quito.
- Cereghino, R., Cugny, P., Lavandier, P. 2002. Influence of Intermittent Hydropeaking on the Longitudinal Zonation Patterns of Benthic Invertebrates in a Mountain Stream. *International Revision of Hydrobiology*. 87. 47-60.
- Consejo Nacional de Electrificación, CONELEC, 2001. Estadísticas del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Quito – Ecuador.
- Consejo Nacional de Recursos Hídricos, CNRH, 2001. Diagnostico de los recursos hídricos.
- Consejo Nacional de Recursos Hídricos, CNRH, 2005. Definición de los recursos hídricos en el Ecuador.
- Dams, 2000. Ecological flows for dams, Houston, TX, 2000.
- Davis & Hirji, 2003. *Environmetal Flow Assesment for Aquatic Ecosystems*.
- Diccionario de la Real Academia Española, 22da edición, 2001
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scalón, J. 2003. *Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales*. Tr. José Maria Blanch. San José, CR.: UICN-horma, 125 pp.

- Empresa Eléctrica Quito S.A., 2005. *Caudales Registrados en el río San Pedro (1957 – 2004)*.
- Extence C. A., Balbi D. M., and Chadd R. P., 1999. *River Flow Indexing using British Benthic Macroinvertebrates: A framework for setting hydroecological objectives*. Regulated Rivers: Research & Management. 15: 543 – 574 The Environmental Agency of England & Wales.
- Fashchevsky, B.V. and Kudzis, S.P. 1996. *Ecological Flow as Main Factor in Justification of Admissible Water Withdrawal in Transfer Projects*. Minsk, Belarus.
- Field, B. & Field, M. 2003. *Economía Ambiental*. Tercera Edición. McGraw – Hill/ Interamericana de España.
- Freeman, A. Myrick, III. 1979. *The Benefits of Environmental Improvement: Theory and Practice*, Johns Hopkins Press of resources for the Future, Baltimore, MD.
- García de Jalón, D. 1990. *Técnicas hidrobiológicas para la fijación de caudales ecológicos mínimos*. En: Libro homenaje al Profesor D.M. García de Viedma. 183 –196. A. Ramos, A Notario & R. Baragano (eds.). FUCOVASA. UPM. Madrid.
- García de Jalón, D. y Gonzáles de Tanago M., 1999. *El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Gauvin, C.F.1998. Who should pay for dam removal?, World Rivers Review, Volume13, No. 1. Natural Resources Council of maine (USA).
- http://www.minag.gob.pe/hidro_hidro_prob.shtml. Ministerio de Agricultura de Perú.
- <http://www.waterandnature.org/flow/p26.html>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, 2003. *Precipitaciones locales*. Quito – Ecuador.
- Jacobsen, D.1998. *Influence of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams*. Archiv fur Hydrobiologie 143: 179 –195.
- Jácome C., *El Sector Eléctrico Ecuatoriano durante los últimos 20 años*. Electrificación, Revista No. 48, Asociación de Compañías Consultoras del Ecuador, ACCE.
- Legislación Ambiental Secundaria, TULAS, 2003. *Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador*. Corporación de Estudios y publicaciones. Edición en español. Ecuador.
- Michiel Verweij, 2001. *Definición del Caudal ecológico*.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Dirección de Medio Ambiente. 2000. *Diagnóstico Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río Guayllabamba*. Quito.

- Orth, D.J. and Maughan O.E. 1981. *Evaluation of the "Montana Method" for recommending instream flows in Oklahoma streams*. Proc. Okla. Acad. Sci. 61: 62-66. Stillwater, Oklahoma.
- Osborn J. F., and Allman C.H. 1976. (eds.), *Instream Flow Needs*, Vol II, Am. Fish. Soc., Bethesda Maryland.
- Petts, G.E. and Maddock, I. 1994. Flow allocations for in river needs. In *The Rivers Handbook*, Calow P, Petts GE (eds) Blackwell: Oxford; 289 –307.
- Poff, N.L. and Ward, J.V.1989. *Implications of streamflows variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns*, Can J. Fish Aquat. Sci., 46, 1805 – 1817.
- Prat, N., Munne, A., Rieradevall, M., Sola, C., Bonada, N. 2000. Protocolo para determinar el estado ecológico de los ríos mediterráneos. Diputación de Barcelona. Área de Medio Ambiente. (estudio de la Calidad Ecológica de los Ríos; 8). ECOSTRIMED. 94 Pág.
- Richter, B.D. Baumgartner J.V, Wigington, R., and Braun, D.P. 1997. *How much water does a river need?*, Freshwater Biology, 37, 231-249.
- Riestra F. & Benavides G. 2003. Caudales Ecológicos: perspectivas desde la Dirección General de Aguas. Manual de Normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos.
- Ríos, B. & Prat, N., 2003. *Determinación de las Condiciones de Referencia de los rios San Pedro, Pita y Machangara*. In Press
- Roldán, G. 2000. Fundamentos de Limnología Neotropical. Tercera Edición. McGraw – Hill. Antioquia, Colombia.
- Serban, A., 2004. Ecological Discharges and Demands for River Ecosystems. 3rd. European Conference on River Restoration. Zagreb, Croatia.
- Sioli, H. 1975. *Tropical river: The Amazon River*, River Ecology, pp 461-468. In *Ecological Hydrology: New Scientific Direction for Water Resource Management*. Russia.
- Stalnaker C.B., and Arnette J.L 1976. (eds.), *Methodologies for Determination of Stream Resource Flow Requierements: An Assessment*, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- Stalnaker, C.B. 1994. *Evaluation of instream flow habitat modelling*, in Petts, G.E. and Calow. P (eds.) *The rivers Handbook volme 2. Hydrological and Ecological Principles*, Blackwell Scientific Publications, London.
- Statzner, 1988. *Ecological flow prescriptions. Sweden*

- Suren, A., McMurtrie, S. 2005. Assessing the effectiveness of enhancement activities in urban streams: Responses of invertebrate communities. *River Research and Applications* 21. 9667 – 676).
- Tennat, D.L. 1976. *Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources*, Fisheries, 1 (4), 6-10.
- The Nature Conservancy, 1997. Indicators Hydrologic Alteration IHA, Users Manual and Smythe Scientific Software. USA.
- Vásconez, J. 2000. *Resistencia de macroinvertebrados bénticos a la contaminación orgánica en ríos de altura y de tierras bajas en Ecuador*. PUCE: Tesis de Licenciatura.
- World Meteorological Organization. 1994. Guide to hydrological Practices. Data acquisition and Processing analysis, forecasting and other applications. WMO No. 168. Fifth Edition.

www.cenace.org

www.conelec.gov.ec

www.eeq.com.ec

www.emaap.gov.ec

X ANEXOS

ANEXO 1 Mapas de Diagnostico de la Cuenca

Figura No. 1 Descargas liquidas identificadas en las subcuencas de los rios Pita y San Pedro.

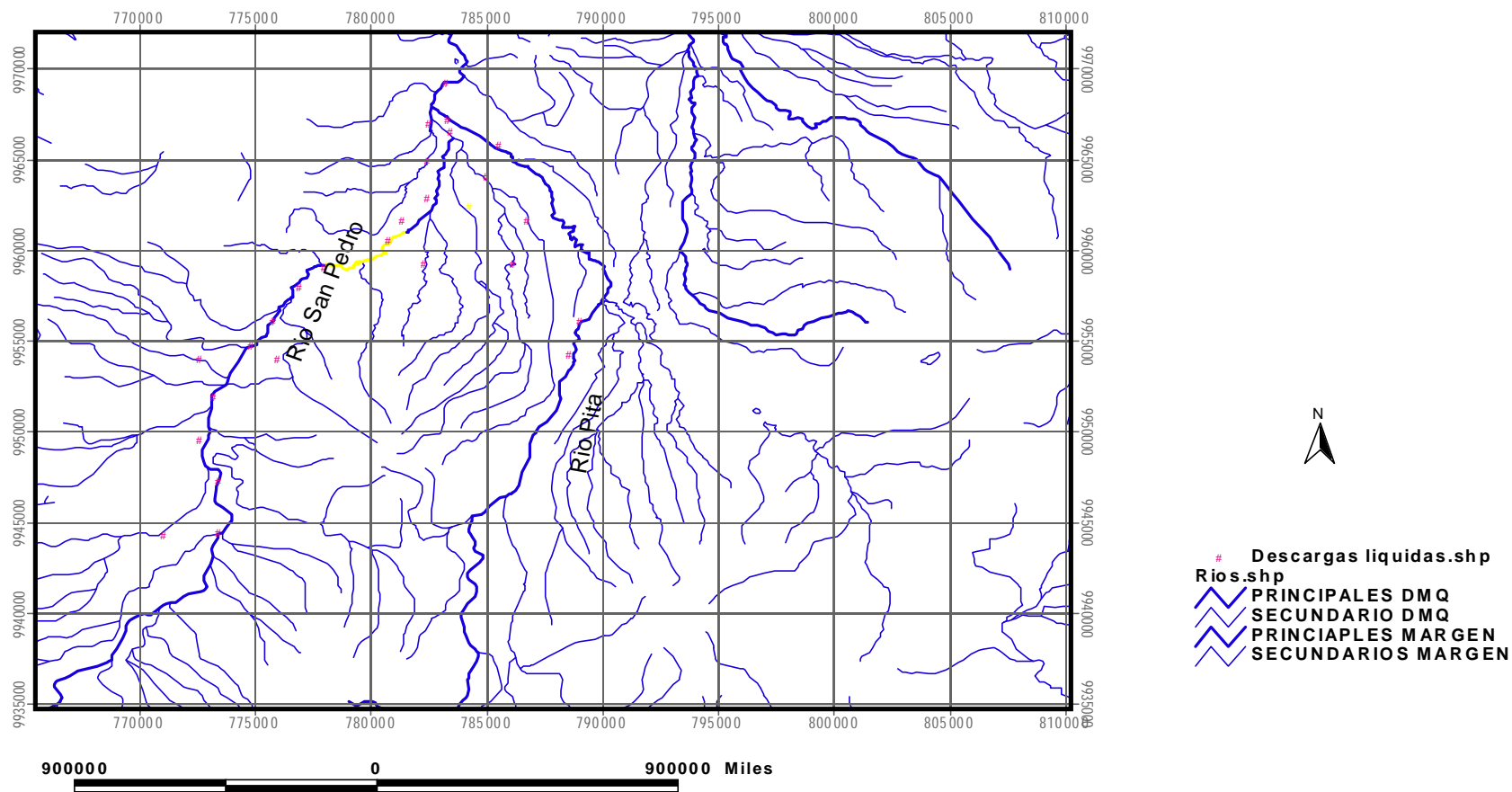


Figura No. 2 Descargas liquidas Industriales en la cuenca alta del rio Guayllabamba

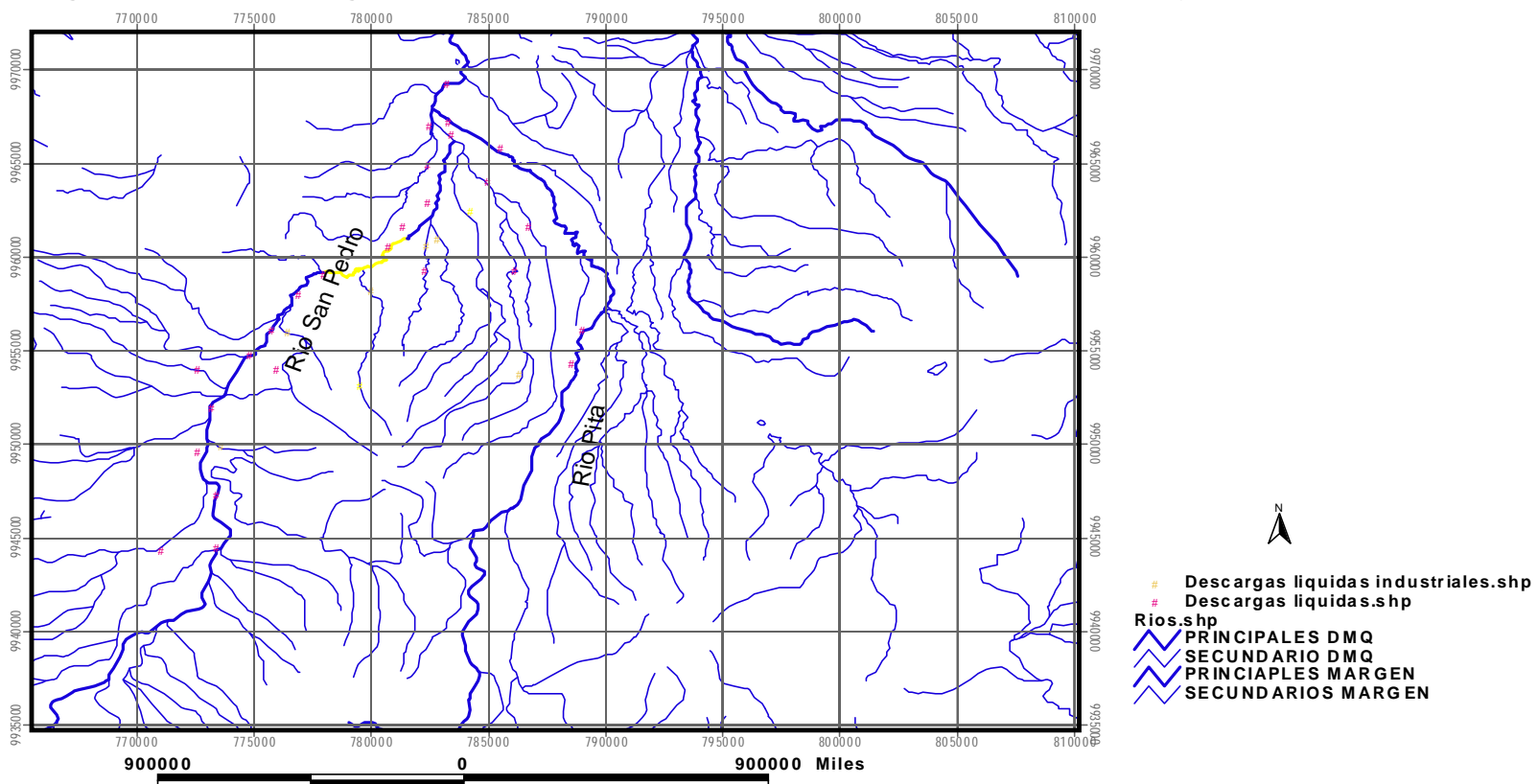


Figura No. 3 Ubicacion de Camales y Mataderos de animales que descargan al rio San Pedro.

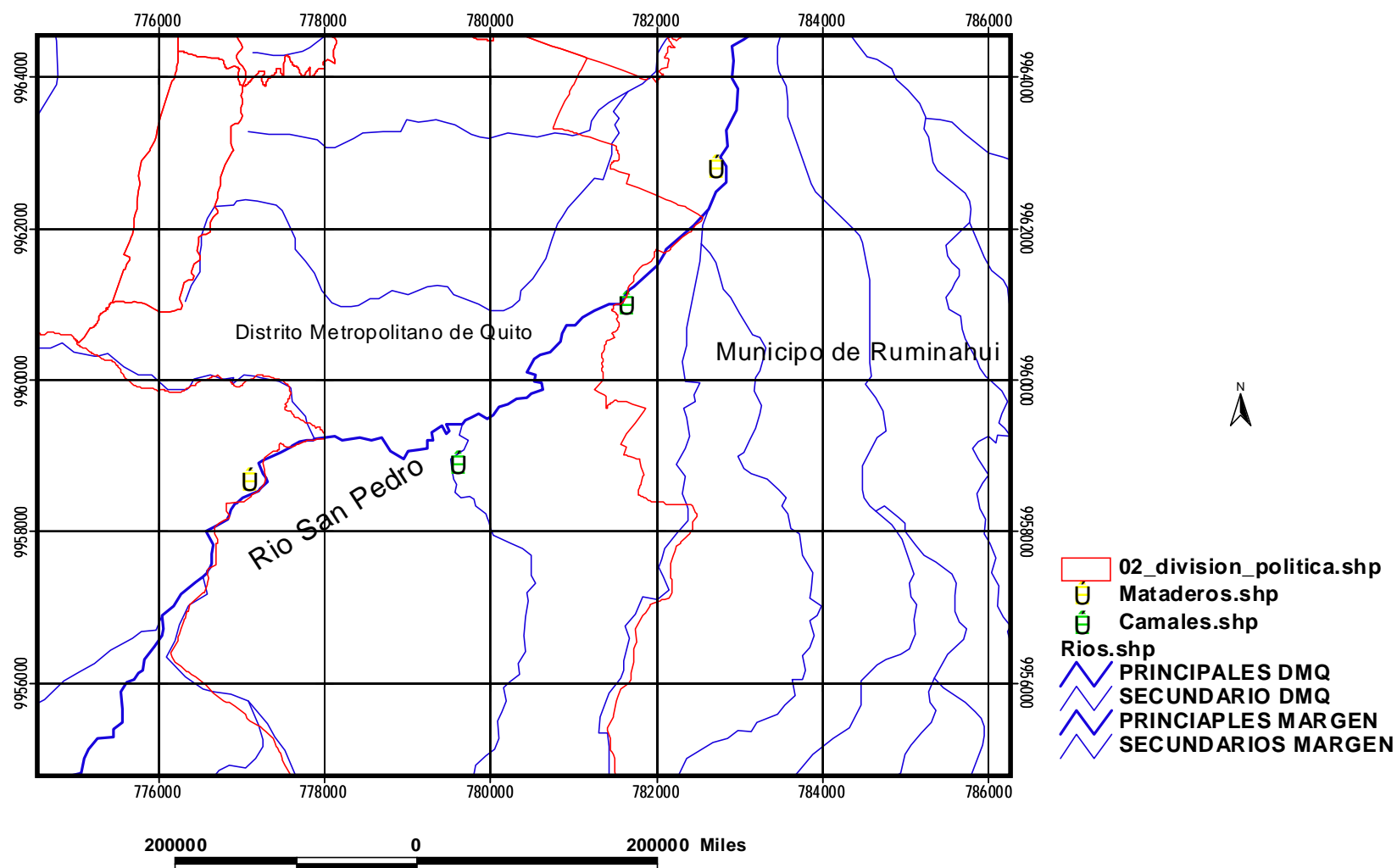


Figura No. 4 Zonas de basura en quebradas y rios.

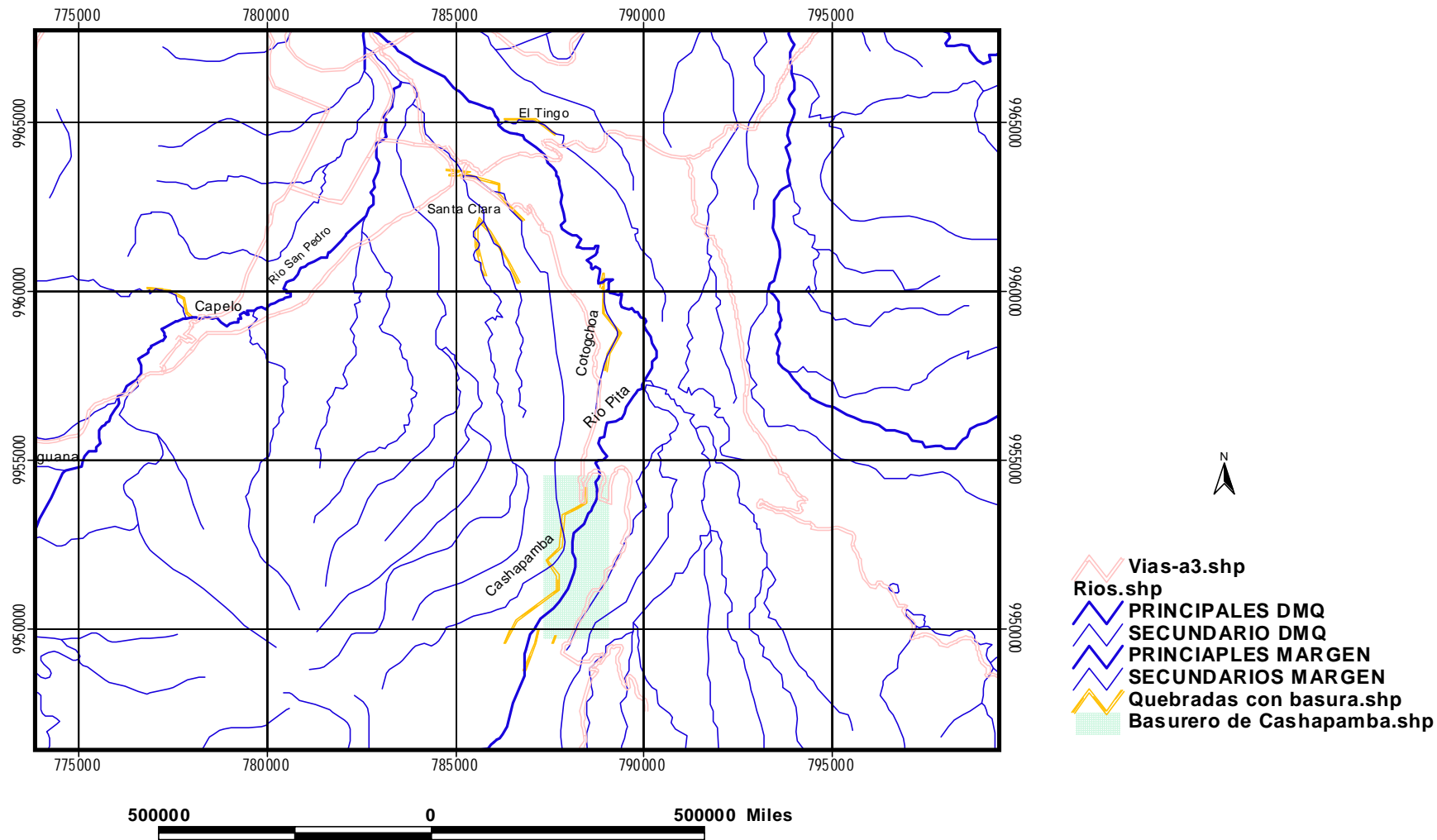


Figura No. 5 Urbanizaciones y casas que descargan directamente a los rios.

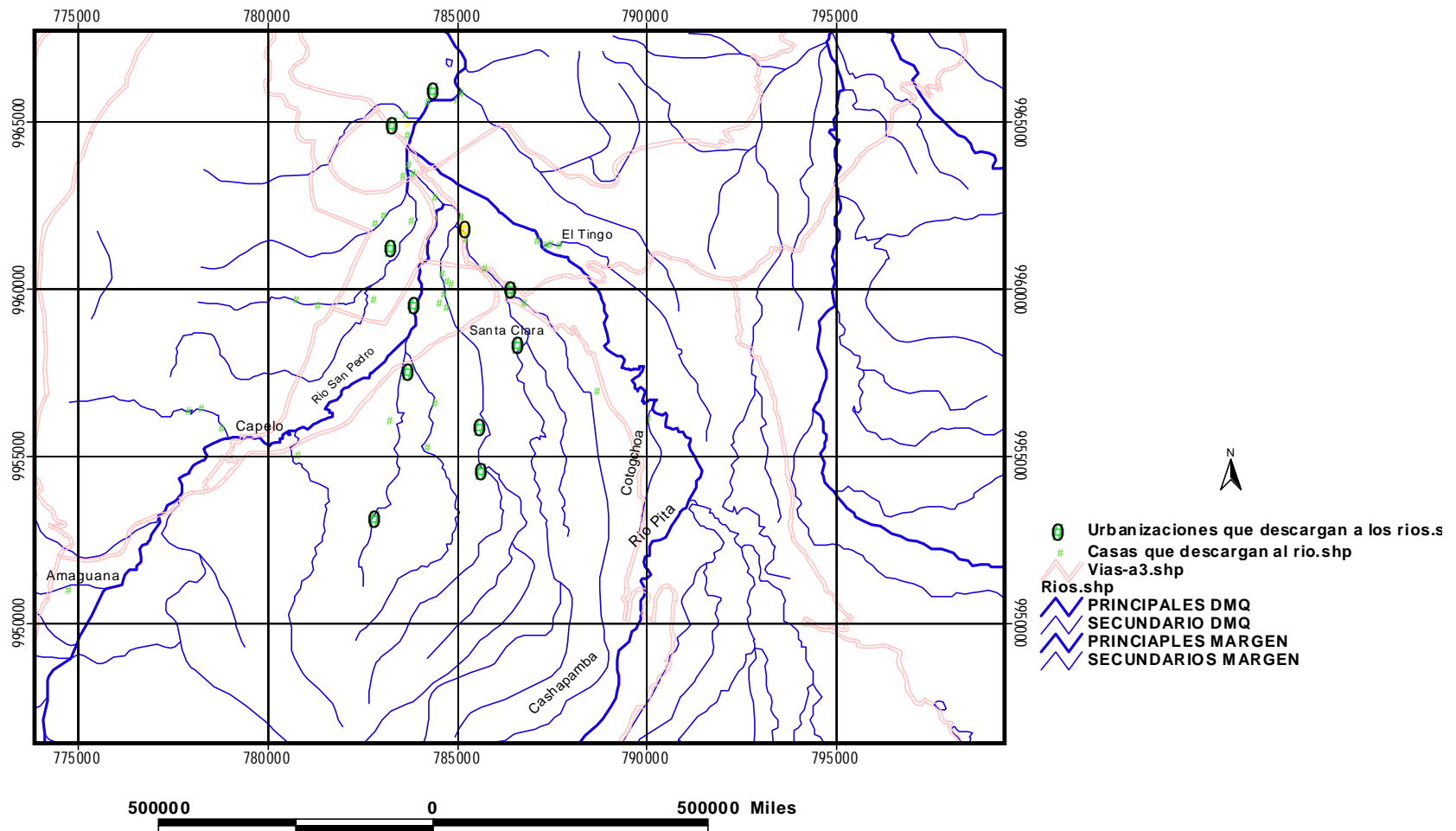
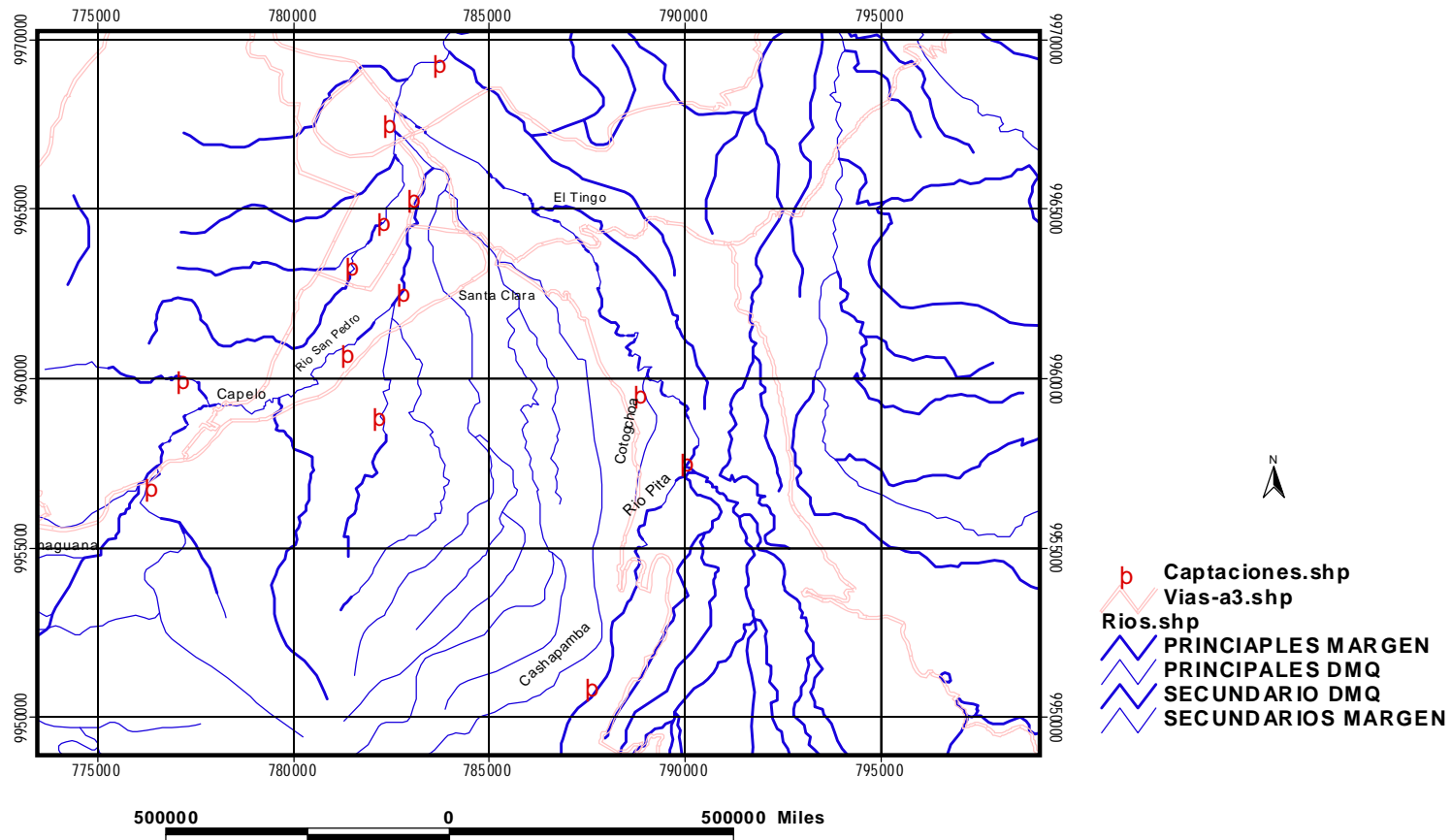


Figura No. 6 Captaciones en las subcuencas del los rios Pita y San Pedro.



10.2 Anexo 2 Fotografías de los ríos

Fotografía No. 1 Canal de captación y vertedero de excesos para el río Pita.

Cauce seco
del río Pita



Fotografía No. 2 Cauce del río San Pedro después de la captación.

Caudal Base del
río San Pedro



Fotografía No. 3 Unión de los ríos Pita y San Pedro.



Fotografía No.4 Río Pita antes de la captación zona de estudio Punto I.



Fotografía No.5 Compuerta de ingreso del canal de captación del cauce total del río Pita.



Fotografía No. 6 Cauce del río Pita después de la captación.



Fotografía No.7 Río San Pedro en Taboada, Tramo II.



Fotografía No. 8. Puentes que acumulan escombros en el río San Pedro.



Fotografía No. 9 Río Pita en la Hacienda Los Alisos (protegido).



Fotografía No. 10 Escombreras en el Parque Ecológico Cachaco.



Fotografía No. 11 Márgenes del río San Pedro bajo el puente del camino antiguo entre Conocoto y Amaguaña.



Fotografía No. 12 Río San Pedro en el Parque Ecológico Cachaco, no hay presencia de erosión.



Fotografía No.13 Descarga de aguas servidas hacia el río San Pedro.



Fotografía No. 14 Descarga de aguas servidas y acumulación de basura en Amaguaña.



Fotografía No. 15 Puente que cruza el río San Pedro en Fajardo.



Fotografía No. 16 Canal principal de captación en Molinuco.



Fotografía No. 17 Canal de captación nuevo en Molinuco, sin caudal.



Fotografía No.18 Bocatoma de San Rafael.



Fotografía No. 19 Túnel de conducción hacia el primer reservorio antes de la vía Gnral. Rumiñahui.



Fotografía No. 20 Compuertas abiertas del reservorio.



Fotografía No. 21 Canal del río con las puertas abiertas de la represa.



Fotografía No. 22 Cauce del río y márgenes sobre utilizadas.



Fotografía No. 23 Río San Pedro después de la Bocatoma de San Rafael.



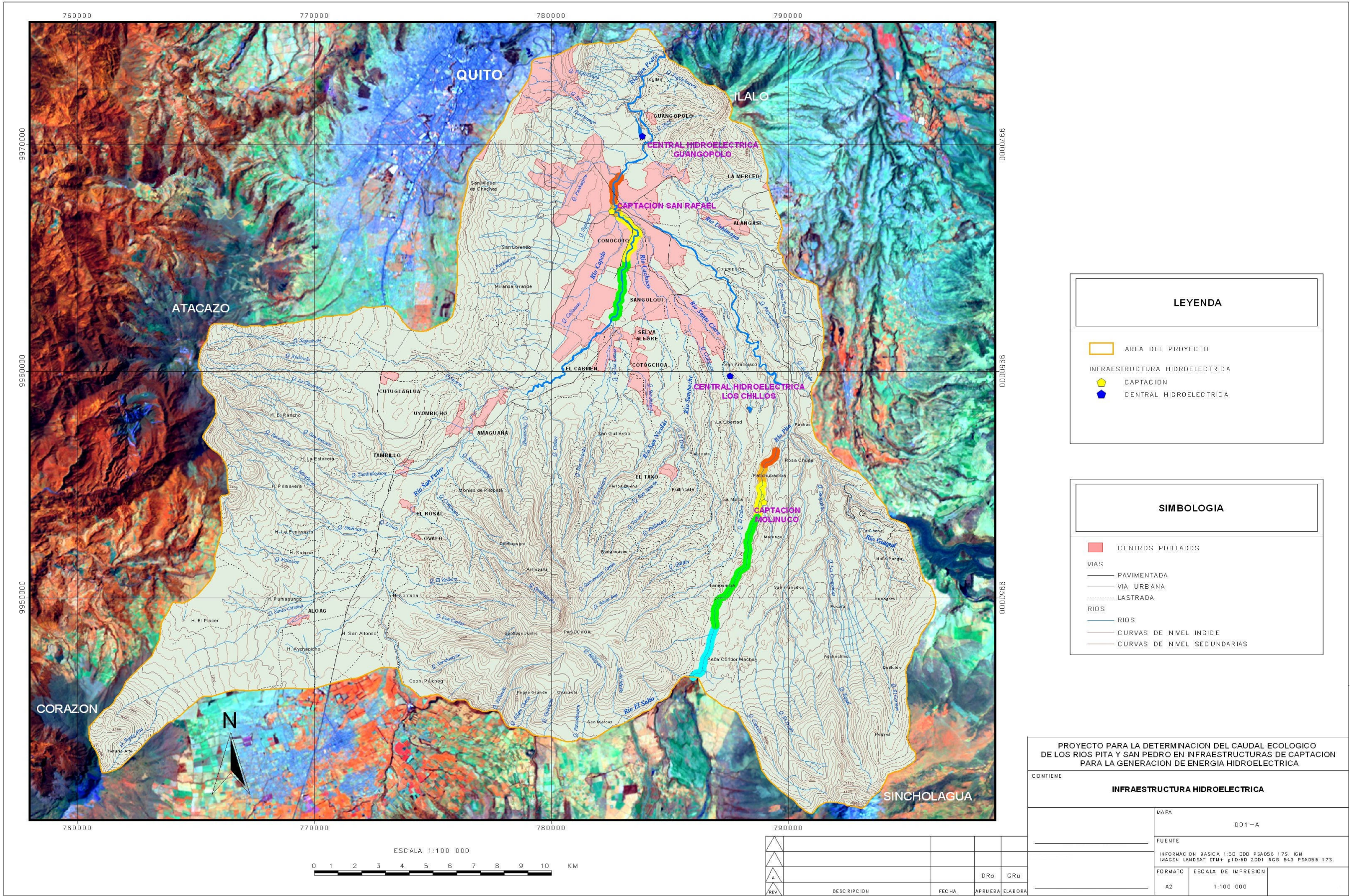
Fotografía No. 24 Río San Pedro después de la Bocatoma de San Rafael.

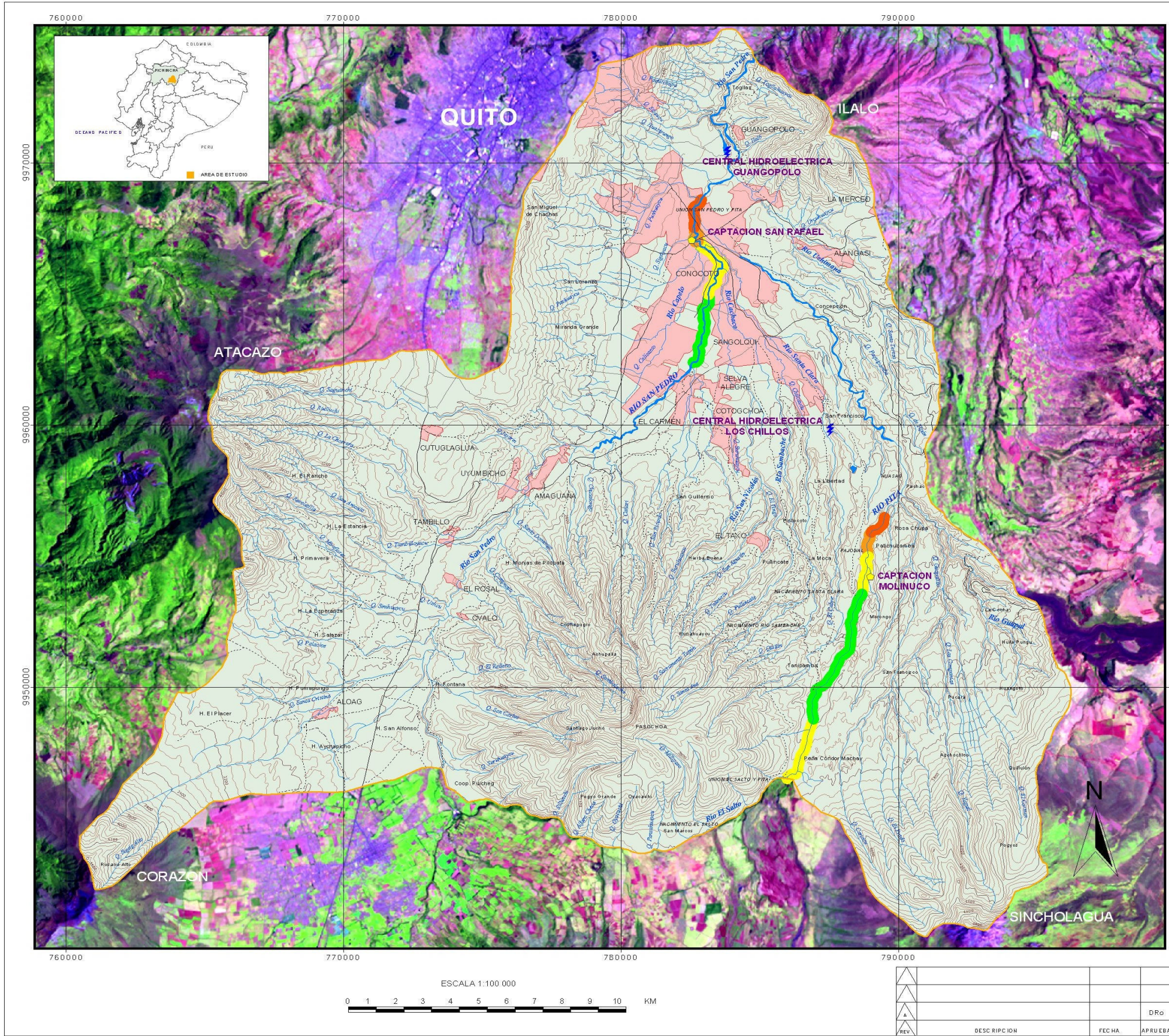


Fotografía No. 25 Cauce del río San Pedro con las Compuertas cerradas de la represa.



10.3 Anexo 3 Mapas de Resultados





LEYENDA

AREA DEL PROYECTO

OBRAS DE CAPTACION

CAPTACIONES FORMALES

CENTRAL HIDROELECTRICA

NIVELES DE CALIDAD DE AGUA

EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA

RIO SAN PEDRO

CALIDAD	ORDEN
EXCELENTE	Ephemeroptera
EXCELENTE	Plecoptera
EXCELENTE	Trichoptera
BUENA	Trichoptera
BUENA	Odonata
BUENA	Coleoptera
REGULAR	Hemiptera
REGULAR	Tricladia
REGULAR	Gastropoda
REGULAR	Bivalvia
MALA	Diptera

RIO PITA

CALIDAD	ORDEN
BUENA	Ephemeroptera
BUENA	Plecoptera
BUENA	Trichoptera
REGULAR	Trichoptera
REGULAR	Odonata
REGULAR	Coleoptera
REGULAR	Hemiptera
MALA	Diptera
MUY MALA	Gastropoda
MUY MALA	Tricladia
MUY MALA	Gastropoda
MUY MALA	Hirudinea

SIMBOLOGIA

CENTROS POBLADOS

VIAS

PAVIMENTADA

VIA URBANA

LASTRADA

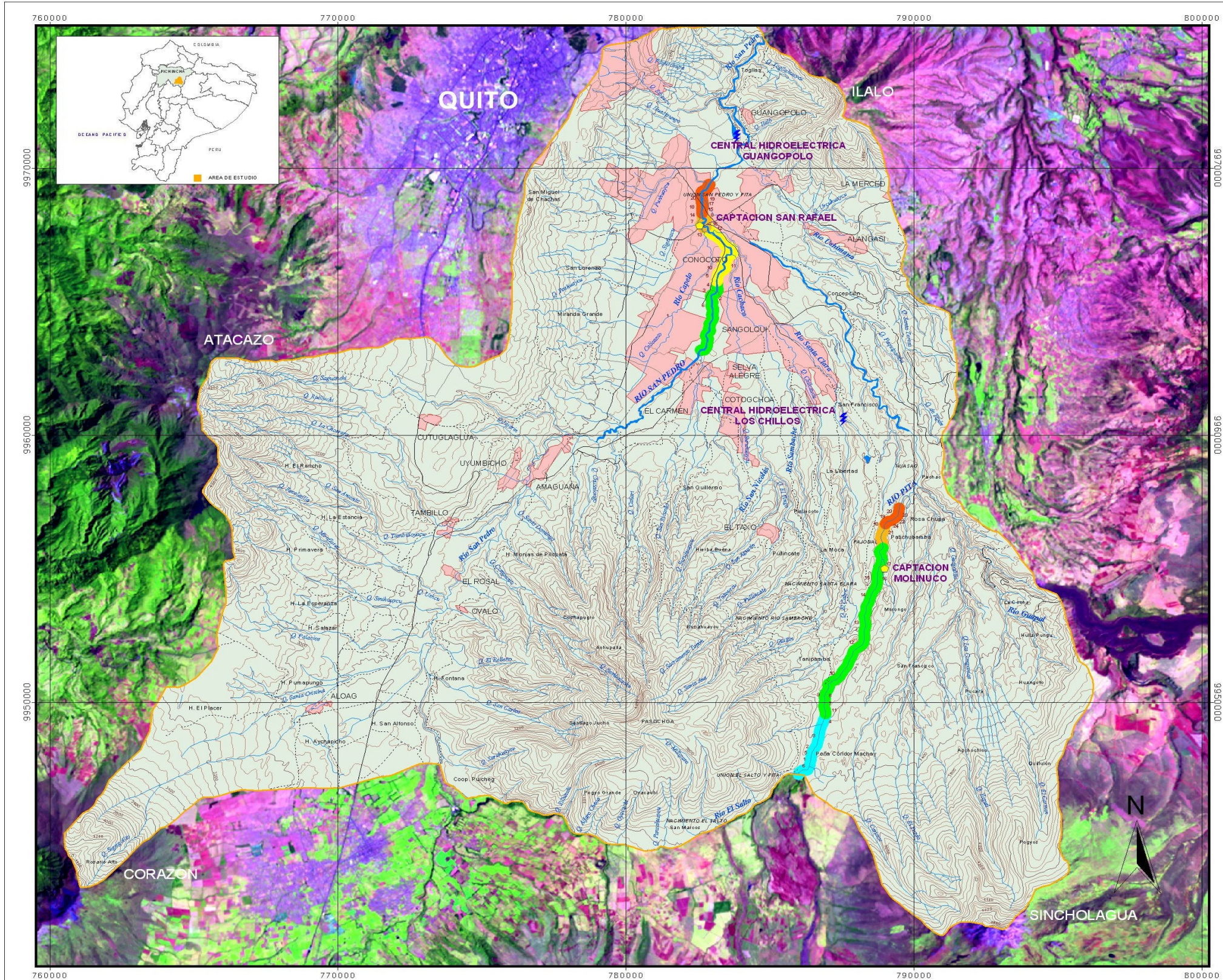
RIOS

RIOS

CURVAS DE NIVEL INDICE

CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS

PROYECTO PARA LA DETERMINACION DEL CAUDAL ECOLOGICO DE LOS RIOS PITA Y SAN PEDRO EN INFRAESTRUCTURAS DE CAPTACION PARA LA GENERACION DE ENERGIA HIDROELECTRICA			
CONTIENE			
CALIDAD DE AGUA - BENTOS			
		MAPA	D04-A
		FUENTE	INFORMACION BASICA 1:50 000 UTM PSA056 175. IGM IMAGEN LANDSAT ETM+ p10/r0 2001 RGB 543 UTM PSA056 175.
		FORMATO	ESCALA DE IMPRESION
		A2	1:100 000



LEYENDA

- AREA DEL PROYECTO
- OBRAS DE CAPTACION
 - CAPTACIONES FORMALES
 - CENTRAL HIDROELECTRICA

NIVELES DE CALIDAD DE AGUA

EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA

RIO SAN PEDRO			RIO PITA		
ID	CALIDAD	O2 DISUELTO	ID	CALIDAD	O2 DISUELTO
1	BUENA	6	1	EXC ELENTE	8
2	BUENA	6	2	EXC ELENTE	8
3	BUENA	6	3	EXC ELENTE	8
4	BUENA	6	4	EXC ELENTE	7
5	REGULAR	5	5	EXC ELENTE	7
6	REGULAR	5	6	EXC ELENTE	7
7	REGULAR	4	7	EXC ELENTE	7
8	REGULAR	4	8	BUENA	7
9	REGULAR	4	9	BUENA	7
10	REGULAR	4	10	BUENA	7
11	REGULAR	4	11	BUENA	7
12	MALA	2	12	BUENA	6
13	MALA	2	13	BUENA	7
14	MALA	1	14	BUENA	6
15	MALA	1	15	REGULAR	5
16	MALA	1	16	REGULAR	5
17	MUY MALA	1	17	REGULAR	5
18	MUY MALA	1	18	MALA	3
19	MUY MALA	1	19	MALA	3
20	MUY MALA	1	20	MALA	2
			21	MALA	2
			22	MALA	2
			23	MUY MALA	1
			24	MUY MALA	1

SIMBOLOGIA

- CENTROS POBLADOS
- VIAS
 - PAVIMENTADA
 - VIA URBANA
 - LASTRADA
- RIOS
 - RIOS
 - CURVAS DE NIVEL INDICE
 - CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS

PROYECTO PARA LA DETERMINACION DEL CAUDAL ECOLOGICO DE LOS RIOS PITA Y SAN PEDRO EN INFRAESTRUCTURAS DE CAPTACION PARA LA GENERACION DE ENERGIA HIDROELECTRICA

CONTIENE

CALIDAD DE AGUA - FISICO-QUIMICO

MAPA	003-A		
FUENTE	INFORMACION BASICA 1:50 000 UTM PSA056 175. IGM IMAGEN LANDSAT ETM+ p10/60 2001 RGB 543 UTM PSA056 175.		
FORMATO	A2	ESCALA DE IMPRESION	1:100 000

DESCRIPCION	FECHA	APRUEBA	ELABORA

10.4 Anexo 4 Fotografías Bentos



Dysticidae



Chironomidae



Baetidaeacentrella



Baetidae



Gomphidae



Leptoceridae



Philopotamidae W



Ceratopogonidae pupa



Perlodidae



Tipulidae pupa



Tricoptera Adulto



glossosomatidae



Gerridae