



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
MAGÍSTER EN CIENCIAS: MANEJO SUSTENTABLE DE  
BIORRECURSOS Y MEDIO AMBIENTE**

**TESIS DE GRADO**

**MAGÍSTER EN CIENCIAS**

**APLICACIÓN DE MODELOS DE BALANCE DE  
MASA NUTRICIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE  
DESCARGAS EN EL CULTIVO DE TRUCHA  
ARCOÍRIS EN RIOS DE ALTURA DEL AUSTRO  
ECUATORIANO**

**DIEGO GALLARDO PÓLIT**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2012**



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
MAGÍSTER EN CIENCIAS: MANEJO SUSTENTABLE DE  
BIORRECURSOS Y MEDIO AMBIENTE**

**Tesis de Grado para la obtención del título de Magister en Ciencias con Énfasis en  
Manejo Sustentable de Biorrecursos y Medio Ambiente**

**APLICACIÓN DE MODELOS DE BALANCE DE  
MASA NUTRICIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE  
DESCARGAS EN EL CULTIVO DE TRUCHA  
ARCOÍRIS EN RIOS DE ALTURA DEL AUSTRO  
ECUATORIANO**

**DIEGO GALLARDO PÓLIT**

**GUAYAQUIL-ECUADOR  
2012**

# **CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**PhD. Luis Dominguez  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**Dr. Luis Muñiz Vidarte  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**PhD. Ever Morales Avendaño  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**Dr. Luis Muñiz Vidarte  
DIRECTOR DE MAESTRÍA**

**Dra. Carmita Bonifaz de Elao  
DECANA**

## ÍNDICE

CONTENIDO	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Historia del cultivo de trucha	5
2.3 Impactos de la actividad	6
2.4 Regulación de la actividad y legislación ambiental nacional	8
2.5 Modelos de estimación de emisión de descargas en la acuicultura	10
2.6 Medidas para mitigar el impacto de la acuicultura de trucha	15
3. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Área de estudio	17
3.2 Selección de sitios de muestreo, medición de parámetros y estimación del caudal	17
3.3 Recolección de información de la producción y manejo acuícola	21
3.4 Modelos bioenergéticos o de balance de masa nutricional	22
4. RESULTADOS	
4.1 Calidad de agua	28
4.2 Información productiva	29
4.3 Aplicación de modelos bioenergéticos	31
4.3.1 Estimación de descargas por piscinas	31
4.3.2 Estimación de descargas por piscícolas	31
5. DISCUSIÓN	37
6. CONCLUSIONES	43
7. RECOMENDACIONES	44
8. BIBLIOGRAFÍA	45

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo	20
Tabla 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el río Matadero.	20
Tabla 3. Composición del alimento de engorde utilizado en la zona para trucha	22
Tabla 4. Detalles de las Variables que se obtienen en el campo	23
Tabla 5. Descripción de las variables utilizadas en los modelos con sus valores	24
Tabla 6. Valores obtenidos para las diferentes variables en los puntos de muestreos	28
Tabla 7. Resultados obtenidos del muestreo en el cuerpo receptor	28
Tabla 8. Resumen de los parámetros productivos por piscina que corresponden a los obtenidos de la Estación piscícola EPAI para el año 2010	29
Tabla 9. Datos estimados de la producción de las piscícolas de truchas obtenidos durante la campaña de muestreo	30
Tabla 10. Valores estimados obtenidos de cuatro piscinas de la EPAI empleando el primer modelo por medio del programa Fish-PrFEQ	33
Tabla 11. Valores obtenidos de la estimación de descargas por el modelo de Papatryphon para cuatro piscinas de la EPAI	33
Tabla 12. Estimados de descargas por medio del modelo de Roque para cuatro piscinas de la EPAI	33
Tabla 13. Resultados de estimados obtenidos utilizando el modelo de balance nutricional de Papatryphon para las piscícolas	34
Tabla 14. Resultados de estimación obtenidos utilizando el modelo de Roque	34
Tabla 15. Concentraciones estimadas en miligramos por litros para cada variable en las piscícolas de acuerdo al modelo de Papatryphon	35
Tabla 16. Concentraciones en efluente que se obtienen de los resultados del modelo de Roque	35
Tabla 17. Cantidades totales de descargas de nutrientes estimadas anualmente en kg de acuerdo al modelo de Papatryphon y a la biomasa estimada de peces producidos por todas las piscícolas	36
Tabla 18. Concentraciones estimadas de SS, N total y P total descargado al cuerpo receptor por todas las piscícolas, de acuerdo al caudal estimado de 5 m <sup>3</sup> /s del Río Matadero	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

	Página
Figura 1. División Política del Ecuador	2
Figura 2. Esquema del flujo y uso de la energía en los peces	11
Figura 3. Esquema de generación de descargas de nutrientes a partir del alimento	13
Figura 4. Diagrama de flujo de una piscícola de trucha. Los cuadros llenos con color gris son considerados no predecibles o despreciables. Los asteriscos indican los procesos considerados en el modelo de Papatryphon	14
Figura 5. Localización de los puntos de muestreos de calidad de agua y piscícolas en el sector conocido como el corredor de El Cajas. Consta el Río Matadero y sus puntos de muestreos. Puntos de muestreos en el cauce del río se denotan con la letra R. Puntos adicionales de muestreos se encuentra a la entrada y salida de las piscícolas	19
Figura 6. Promedio mensual del FCA (A) y el peso promedio mensual de crecimiento de las piscinas productivos de la EPAI (B)	30
Figura 7. Concentraciones estimadas de SS (A), N total (B) y P total (C) de las piscinas de EPAI por el modelo Fish-prFEQ, de Papatryphon y Roque	32

## RESUMEN

Dentro de las estrategias del Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador para la conservación de la biodiversidad se establece la gestión interinstitucional para la adecuada planificación, organización, dirección y control de los recursos naturales, como procesos continuos y cíclicos con permanentes monitoreos, ajustes y evaluación. En la zona conocida como el *Corredor de El Cajas* (UTM 17M 708260 E, 9685972 S) en la provincia del Azuay se asienta la mayor cantidad de granjas dedicadas a la acuicultura de trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del Ecuador. Se tomaron varias muestras a fin de determinar la concentración de nutrientes en arroyos de la región y se levantó información relacionada al manejo productivo en 8 piscícolas con el objetivo de estimar la cantidad de nutrientes liberados por la actividad acuícola haciendo uso de las ecuaciones de balance de masa nutricional. Los valores obtenidos del monitoreo para nitratos van de 0,12 a 0,61 mg/l y de valores no detectables por el método a 1,17mg/l para ortofosfatos, valores que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles en la legislación ambiental ecuatoriana para la preservación de la fauna y flora. De acuerdo a las constantes utilizadas en las ecuaciones y los datos obtenidos del manejo acuícola, se estima una producción total para las ocho piscícolas de 5890 Kg de residuos sólidos, 1955 Kg de Nitrógeno total y 217 kg de Fósforo total al año, lo que equivale a 115 Kg de sólidos, 38 kg de N y 4,2 Kg de P por cada tonelada de pescado producido. Con un caudal estimado de 5 m<sup>3</sup>/s del cuerpo receptor se obtiene concentraciones de 0,056 para SS, 0,02 de N Total y 0,002 de P Total. Aunque los valores aquí presentados son aproximaciones, la estimación de residuos de la acuicultura a través del balance de masa nutricional constituye una herramienta muy sencilla, práctica y de bajo costo que permite y contribuye al desarrollo sustentable de la actividad acuícola y garantiza un ecosistema saludable.

## ABSTRACT

Inside the strategies of the National Plan of Development of the Ecuador for the conservation of the biodiversity the administration inter-institutional is conceived that allows the appropriate planning, organization, address and control of the natural resources, as continuous and recurrent processes with continuous monitoring, adjustments and evaluation. In the area known as *Corredor de El Cajas* (UTM 17M 708260 E, 9685972 S) settles the biggest quantity in farms dedicated to the aquaculture of trout (*Oncorhynchus mykiss*) in province of Azuay, approximately 15 Km of Cuenca city, capital of the province of Azuay. Several samplings were taken to determine the concentration of nitrates and orthophosphates among the recollection of data: feeding, biomass production, flow rate, FCR supplied by 8 trout farms with the objective of estimating the quantity of wastes outputs in aquaculture through the equations of nutrient mass-balance. The obtained values of nitrates go from 0, 12 to 0, 61 mg/l, orthophosphates from non-detectable for the method to 1,17mg/l. According to the constants used in the equations and the data obtained from trout farms the total production estimated were 5890 Kg of solids wastes, 1955 Kg of Total N and 217 kg of Total P a year, what is equal to 115 Kg of solids, 38 kg of NT and 4, 2 Kg of PT for each ton of produced fish. With a flow rate of 5 m<sup>3</sup>/s estimate for the receiving effluent it is obtained concentrations of 0,056 for SS, 0,02 of NT and 0,002 of PT. These obtained values are theoretical, but the estimate of wastes output through the nutrient mass-balance constitutes a simple, practical and low cost tool that contributes to the sustainable development of aquaculture and the environments.

## 1. INTRODUCCIÓN

La aprobación de la nueva Constitución del Ecuador en el año 2008 establece al Plan Nacional de Desarrollo como el instrumento por el cual la sociedad ecuatoriana alcanza el Buen Vivir, con objetivos y metas para el desarrollo del ser humano en armonía con la naturaleza reconociendo sus derechos como lo establece el art. 275 de la Carta Magna. La misma constitución atribuye al Estado los roles de planificador, regulador y la redistribución de recursos en conjunto con la participación ciudadana.

La acuicultura constituye una fuente alternativa de alimentación para los pueblos y además es una actividad generadora de microempresas. En nuestra región Andina las comunidades organizadas pueden diversificar sus actividades productivas por medio del cultivo de especies acuáticas que signifiquen un ingreso extra a sus hogares y fuente de alimentación.

La zona de estudio es conocida como El Corredor de El Cajas debido a que es la vía de comunicación entre la parroquia Sayausí del Cantón Cuenca y el Parque Nacional El Cajas en la provincia del Azuay. Está constituida en su gran mayoría por Piso Alto andino conocido comúnmente como páramo, que se ubica geográficamente sobre los 3000 msnm. Sus fuentes de agua son abundantes. Sobre esta zona se encuentra el Área protegida conocida como El Parque Nacional El Cajas, en el que se encuentra un sistema montañoso de excepcionales características en el cual se cuentan más de trescientos cuerpo de agua. El nudo del Cajas es el punto de origen de un sistema hidrográfico que atraviesa el Valle del Tomebamba de Oeste a Este, donde se encuentra emplazada la ciudad de Cuenca cuya planta de procesamiento de agua potable se abastece en un 60% del agua proveniente del río Tomebamba. La zona descrita está sujeta al impacto de algunas actividades que se desarrollan siendo principalmente la agricultura y la ganadería. En la última década el turismo se ha desarrollado en la zona debido al valor escénico y la existencia de una vía de primer orden, razón por la cual se han establecido hosterías que junto a restaurantes y a actividades de pesca deportiva lo convierten en un lugar concurrido tanto por nacionales y extranjeros.

El ecosistema descrito es un sistema muy dinámico y complejo que requiere investigación, necesaria para comprender los procesos climáticos, edafológicos, físicos-





Figura 1. División Política del Ecuador. La provincia del Azuay se encuentra resaltada en color oscuro.

Fuente: IGM, 2010.

Elaborado: autor

químicos y biológicos que la gobiernan. Campos del conocimiento que se interrelacionan, pero que debido a su especificidad requiere de profesionales especializados para trabajar con un objetivo en común para la preservación de los recursos y el medio ambiente.

El agua es el recurso natural y el medio en que la actividad acuícola se desarrolla, es fuente de vida y también fuente de conflictos. Al hablar de cuencas hidrográficas y de las actividades que se desarrollan en ellas, son sin lugar a dudas áreas que se encuentran sujetas a presiones debido al aprovechamiento de los recursos con los

que cuenta. Resulta necesario un plan de manejo del Estado para lograr preservar esos recursos y tratar de conseguir que se conviertan en fuente permanente de desarrollo del ser humano.

La actividad acuícola de cultivo de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en los ríos de altura del Ecuador se remonta desde hace un poco de más de siete décadas. Actividad que se ha desarrollado principalmente en las provincias de la sierra ya que cuenta con mayor recurso hídrico y temperatura adecuadas. Las provincias de Pichincha y del Azuay son las que poseen el mayor número de piscícolas.

Los muestreos con su procesamiento y análisis constituyen pequeños pasos para un objetivo principal indiscutido que es la conservación de los ecosistemas, la identificación de los actores y su interacción facilitan un camino de diálogo e interacción que constituye la única forma de la gestión de un recurso estratégico como el agua. Recurso vital para las actividades agrícolas y acuícolas pilares en la obtención de la soberanía alimentaria.

Las leyes ambientales que regulan las actividades productivas tanto privadas como públicas se encuentran establecidas en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador. Es necesario que los límites máximos permitidos para los distintos parámetros en la descargas sean cumplidos y se controlen a través de los monitoreos establecidos en los planes de manejo y las auditorías que se consideren necesarias para preservar la flora y fauna.

Los planes de manejo de recursos tienen como característica principal la evolución constante debido a las evaluaciones continuas de los objetivos. Característica necesaria que permite realizar los ajustes necesarios con el fin de preservar la biodiversidad. Los modelos o planes de manejo deben tener una visión holística y no basarse sencillamente en el control constante de la descarga. Los modelos de balances de nutrientes para calcular el desperdicio generado por la acuicultura constituyen una herramienta a utilizar importante dentro de un plan de manejo ambiental y su control. Los modelos proporcionan la estimación de residuos sólidos, fósforo total y nitrógeno total que genera la acuicultura. Su aplicación permitiría un desarrollo ordenado y planificado de la piscicultura de trucha y la sustentabilidad del medio ambiente.

Por las razones expuestas anteriormente el objetivo del presente trabajo es evaluar modelos de estimaciones de descargas de nutrientes como una herramienta de manejo ambiental en la acuicultura de trucha Arcoíris en ríos de altura, en procura de un manejo sustentable de la actividad y la conservación del ecosistema que la rodea.

Los objetivos específicos planteados fueron:

1. Caracterizar la cuenca en estudio en base a datos de producción y concentración de nutrientes en ríos y arroyos de la región.
2. Aplicar modelos de emisión de nutrientes en acuicultura en base al balance de masa nutricional.
3. Determinar la aplicabilidad de los modelos nutricionales como herramienta de gestión de la acuicultura en ríos de montaña.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Historia del cultivo de trucha

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es la especie más utilizada con fines acuícolas en agua frías continentales y su cultivo se encuentra en quince países de América Central y del Sur. Las poblaciones introducidas en América del sur se encuentran por lo general en aguas con temperaturas estacionales de 15-20<sup>0</sup> C (FAO ,1994). En el Ecuador, a partir de 1928, se intenta la introducción de ovas de truchas sin que se dieran resultados positivos hasta el año 1932 donde llega a Guayaquil la primera importación exitosa (El Comercio, 1931). El proceso de recepción, transporte e incubación estuvo a cargo del Sr. Jorge Ubidia Betancourt quién fue el primer ecuatoriano que realizó estudios de piscicultura en Suiza. Entre los años 1928 y 1972 el programa de desarrollo de la trucha estuvo a cargo del Ministerio de la Producción, la Dirección General de Pesca y el Club Nacional de Caza y Pesca del Ecuador, bajo la dirección del Sr. Ubidia. En el año 1976 el Instituto Nacional de Pesca construye la actual Estación Piscícola Arcoíris conocida como EPAI en el sector conocido como Chirimanchay en la provincia del Azuay. En 1993 se establece la primera empresa de producción y procesamiento de trucha llamada Chittoa S.A. El mismo año la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y el gobierno del Ecuador a través de la Subsecretaría de Pesca del Ministerio de Recursos Naturales y Turismo inician el proyecto de una estación piscícola de trucha para la producción de alevines en la parroquia Papallacta perteneciente a la provincia de Napo, la cual fuera inaugurada el año 1996 con el nombre de CENAPI (Centro Nacional de Piscicultura Interandina) que para el año 2000 cambia su nombre a CENIAC (Centro de Investigaciones Acuícolas). El CENIAC se constituye hasta la fecha como el mayor productor de ovas de trucha del país. (Barra, 2010).

Romero y Ponce (2009) al caracterizar el sector conocido como El Cajas en la provincia del Azuay, identifican la existencia de todos los medios necesarios para el desarrollo del cultivo de trucha Arcoíris. Además concluyen que la actividad se realiza con deficiencia en el manejo técnico y obtiene un valor positivo para la matriz de impacto ambiental empleada.

Cowx (2009) en su análisis del estado en que se encuentra el cultivo de trucha a nivel mundial, establece las condiciones y parámetros de cultivo necesarios para la trucha Arcoíris que se encuentra en estaciones piscícolas localizadas en cuencas altiplanas de muchos países tropicales y subtropicales de Asia, este de África y América del Sur.

Jiménez, Barniol y Machuca (2010) describen el desarrollo del cultivo de la trucha Arcoíris en el Ecuador de manera general. Se identifican las especies planctónicas existentes en las piscinas de cultivo localizadas en las provincias de Pichincha y Azuay. Esta publicación principalmente identifica mediante cortes histológicos las principales enfermedades que afectan a los peces en los cultivos. Se publica la primera tabla diferencial de diagnóstico para enfermedades de trucha en el Ecuador, la cual se constituye en una herramienta muy sencilla y práctica de utilizar en el campo, permitiendo a los productores poder hacer diagnósticos preliminares de enfermedades y tomar medidas adecuadas y oportunas.

En el 2006 el Ministerio de Industrias, Comercio, Integración y Pesca (MICIP) del Ecuador y el CENIAC realizan el primer censo piscícola, en el cual se determina que en el Ecuador existen 213 piscícolas dedicadas al cultivo de trucha Arcoíris con una producción anual estimada de 982,30 toneladas. La provincia con mayor número de piscícola es la de Azuay con un total de 47 piscícolas con una producción anual de 190 toneladas. De acuerdo a los datos de la Inspectoría de acuicultura del Azuay de la Dirección General de Acuicultura, en el sector conocido como el *corredor de El Cajas* se encuentran localizados 12 criaderos de trucha.

### **2.3 Impactos de la actividad**

El agua con su valor cultural, económico y político es la fuente principal del desarrollo de los pueblos y es sin lugar a dudas fuente de vida y fuente de conflictos. Las presiones que se ejercen sobre tan valioso recurso son las que llevan a conflictos, debido a que cada actor desea tomar posesión. Esto es un fenómeno que ha ocurrido desde siempre y que se acentúa a medida que la población humana ejerce presión sobre los recursos naturales (Warner & Moreyra, 2004).

Peña (2004) define a los diferentes actores en el manejo de cuencas: gobierno, empresarios, campesinos y comunidades, los cuales se mantienen en constantes pugnas:

el gobierno con sus autoridades de turno y a través de su capacidad coercitiva facilitan o retrasan el alcance de las metas de las políticas públicas. Del mismo modo, las empresas o microempresas actores económicos importantes pero que muchas veces se resisten a las disposiciones que emanan de las leyes. Las comunidades con sus conocimientos ancestrales y derechos consagrados en la Constitución se constituyen en los actores más importantes al procurar su desarrollo en armonía con su medio, pero con el fantasma de la maldición de la abundancia a cuestas, la sustentabilidad parece muchas veces inalcanzable.

El impacto de las operaciones de cultivo de peces se ha vuelto un tema importante a nivel mundial. Los efluentes de estas operaciones pueden resultar en un enriquecimiento de nutrientes, produciendo una eutrofización de cuerpos de agua con la transformación del ambiente. Los desechos sólidos (SW) constituyen una alta proporción de los desechos generados en las piscícolas. Los SW los constituyen principalmente las heces y el alimento no consumido los cuales son de rápido asentamiento, la parte que se mantiene en suspensión en la columna de agua constituirá los sólidos suspendidos (SS). El fósforo es el factor limitante para el crecimiento de las algas sobre todo en cuerpos de agua dulce (Gibson 1997). La forma más disponible de fósforo son los ortofosfatos y su incorporación en los sistemas acuícolas de trucha lo constituye el alimento formulado. El nitrógeno en los sistemas marinos es el que controla la producción primaria, sin embargo el ingreso de N juega un papel importante en la producción primaria en lagos y ríos de agua dulce con relaciones N: P bajas (Camargo y Alonso 2006).

Boaventura, et al (1997) al caracterizar los efluentes de tres piscícola de trucha arcoíris localizados en Portugal encuentra descensos significativos en la concentración de oxígeno disuelto, incremento en la alcalinidad, amonio fósforo soluble y sólidos suspendidos. Todos estos cambios confirman el impacto que ocasiona la acuícola en las características físicas químicas y bacteriológicas del efluente.

En el cuerpo receptor de las granjas de trucha Arcoíris localizadas en el Estado de Idaho localizado al noreste de los Estados Unidos, se presentó una elevada concentración de fósforo total, determinado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). En 1991 se determina que se debe reducir el TMDL (Total de carga máxima

diaria) y se logra reducirlo a través de buenas prácticas de manejo permitiéndoles reducir en un 40% las emisiones de fósforo, logrando concentraciones por debajo de 0,1 mg/l de fósforo total y 5mg/l de sólidos suspendidos en sus efluentes. (MacMillan et al, 2003)

Tejero (2009) trata de establecer el impacto del cultivo de trucha en Veracruz, México encontrando que la calidad del agua cambia debido a las descargas de las piscícolas, pero que los valores de pH, dureza, alcalinidad, turbidez y oxígeno disuelto se encuentra dentro de los rangos aceptables por la legislación local. Un estudio realizado en lagunas andinas de Perú desde el 2002 al 2007 en donde se cultiva la trucha Arcoíris en jaulas, demuestra el deterioro debido al aumento de fósforo total en siete lagunas acompañado de una disminución del índice de diversidad biológica (Mariano et al, 2010).

Aumento en el índice sapróbico es detectado en piscícolas de cultivo intensivo en Alemania (Sindilariu, et al; 2009) comprobando los efectos negativos. Se prueba métodos de tratamiento de los efluentes de las piscícolas, observando que la filtración, la sedimentación o las camas de agua (wet land) reducen la emisión de contaminantes.

Impactos en la concentración de oxígeno, el DBO<sub>5</sub>, cambios en el pH, sólidos suspendidos y amonio fueron detectados en el Río Karasu en Turquía por el cultivo de trucha Arcoíris, también se estableció que 5 granjas descargan un estimado de 12,205 Kg de fósforo total año, así como que cada tonelada de trucha producida resulta en la producción de 9,38 Kg. de fósforo (Pulatsu, 2004).

#### **2.4 Regulación de la actividad y legislación ambiental nacional**

El Art. 275 de la Constitución de la República del Ecuador establece que el Régimen de Desarrollo es el conjunto organizado, sostenible y dinámico de los sistemas económicos, políticos, socio culturales y ambientales que garantizan la realización del buen vivir. El artículo 280 ibídem reconoce al Plan Nacional de Desarrollo como el instrumento al que se sujetan las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución de presupuestos y asignación de recursos, también coordina las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados.

El Art. 411 Sección VI, Capítulo II, Título VII del Régimen del Buen Vivir de la Constitución de la República del Ecuador establece lo siguiente "El estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrobiológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua". El objetivo 4 del Plan Nacional de Desarrollo 2009-2013 garantiza los derechos de la naturaleza y promueve un ambiente sano y saludable, mediante políticas que promuevan el manejo del patrimonio hídrico con un enfoque integral e integrado por cuenca hidrográfica, de aprovechamiento estratégico del Estado y de valoración socio-cultural y ambiental

Las leyes ecuatorianas medio ambientales (Registro Oficial 418 TULSMA, 2004) establecen que el Ministerio de Ambiente es la autoridad nacional ambiental. En las tablas 2 y 12 del Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental de la Calidad Ambiental se establecen los valores máximos permisibles para descargas de agua dulce fría utilizada en la acuicultura.

Mediante Acuerdo Ministerial N° 89 del 19 de abril de 2007 se crea la Subsecretaría de Acuicultura como una dependencia del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca encargada de regular, controlar y fomentar el desarrollo sustentable de la acuicultura en el Ecuador. De los datos obtenidos del censo del 2006 la Subsecretaría de Acuicultura empieza una campaña de regularización del sector piscícola para que logren obtener la autorización para ejercer la actividad acuícola como lo determina el artículo 18 de la Ley de Pesca y Desarrollo Pesquero. Estos pasos son indispensables para que el estado pueda de una manera técnica y documentada establecer políticas públicas para la preservación de la industria acuícola y de la calidad del recurso hídrico. Otra entidad que regula el aprovechamiento del agua y que se enfoca en la conservación y a la preservación de la contaminación es la Secretaría Nacional del Agua a través de la ley de agua (R.O. 69, 1972) y su reglamento (R.O. suplemento 1, 2003).



Mediante Resolución Ministerial No 053 publicada en el Registro Oficial N 159 de fecha 5 de diciembre de 2005, la Municipalidad de Cuenca es reconocida como la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable (AAAR) y la faculta a emitir las licencias ambientales. Para ejercer las competencias de autoridad ambiental el Concejo Cantonal de Cuenca, expide el 12 de diciembre de 2006 la ordenanza que crea y norma el funcionamiento de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) con jurisdicción en el cantón Cuenca. Las piscícolas visitadas todavía no cuentan con licencias ambientales, pero han sido visitados por la autoridad competente, debido a que la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Cuenca se abastece del agua proveniente de las lagunas de El Cajas a través del Río Tomebamba en un 60%.

Los cálculos con un monitoreo de la autoridad competente permitirían inclusive determinar los pagos por servicios ambientales y se podrían aplicar siguiendo el criterio de las áreas protegidos en cuanto a un sistema descentralizado de gestión ambiental cómo ocurre en el Parque Nacional el Cajas donde ETAPA, no solamente que administra de manera descentraliza el Parque Nacional sino que también es la autoridad ambiental responsable en el cantón Cuenca. De esta manera se permite la regularización y la aplicación de las normativas ambientales que aseguren un manejo sustentable del recurso agua (Cordero, 2008). Cisnero (2003) de la Universidad de Cuenca propone los Programas de Manejo de Agua y Suelo (PROMAS) para realizar un monitoreo constante de las condiciones ambientales de las cuencas en la provincia del Azuay. El análisis de los datos ayudados con los programas georeferenciados (SIG) permiten el cuidado y la investigación continua.

## **2.5 Modelos de estimación de descargas en la acuicultura.**

La actividad acuícola como cualquier otra actividad produce impactos en el ambiente. El cultivo de una especie bioacuática debe desarrollarse en las mejores condiciones de calidad de agua posible, pero la adición de alimento formulado resulta en descargas de nutrientes al medio ambiente y pérdidas económicas. Es por esto que Cho y Bureau (1991) inician trabajos encaminados a determinar el requerimiento energético de los Salmónidos para poder optimizar el recurso alimenticio y minimizar el impacto de los desperdicios de Nitrógeno y Fósforo totales en el ambiente. Los modelos bioenergéticos se basan en el destino de la energía dietaria en los peces, categorizando las pérdidas de energía que ocurren cuando el alimento es digerido y metabolizado,

dejando una fracción de la energía dietaria para su retención como tejido nuevo. En 1981 el US National Research Council indica las terminologías para describir la utilización de energía en los animales, incluyendo los peces. En 1982 Cho esquematiza el uso de la energía en los peces, cuya ilustración se presenta en la figura 2.

El presupuesto de la energía de los peces se describe en la ecuación:  $C = F + U + \Delta B + R$  en donde C representa el ingreso de energía, F y U corresponden a la pérdida de energía en la orina, heces y branquias,  $\Delta B$  representa el crecimiento o la energía retenida y R es la energía perdida debido a los procesos metabólicos asociados con el mantenimiento e incremento de calor.

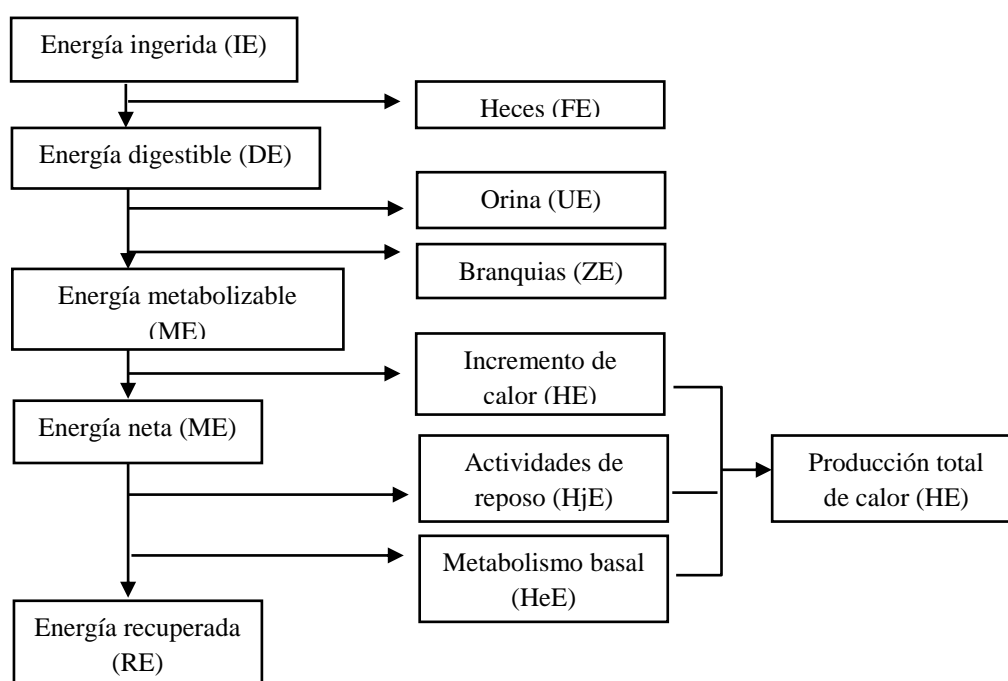


Figura 2. Esquema del flujo y uso de la energía en los peces.  
Fuente: US National Research Council 1981

Estudios posteriores con las adaptaciones y desarrollo adecuado hacen que en 1998 Cho y Bureau desarrollen el modelo bioenergético para la estimación de requerimientos energéticos y descargas de la acuicultura. El modelo se convierte en un software denominado Fish-PrFEQ que es un programa computacional en la plataforma Windows TM, escrito en lenguaje MS Visual C++.NET que permite a través del flujo energético de los alimentos en el pez estimar la cantidad de alimentación requerida, las descargas producidas y la calidad del efluente. Es importante señalar que para la

utilización de este modelo se debe conocer la composición de la dieta balanceada comercial que se utiliza y cuyos resultados pueden ser obtenidos con pruebas que se realizan en laboratorios especializados. Para el presente trabajo se ha utilizado la información comercial disponible y que es provista por el fabricante, en este caso el alimento para trucha proporciona 20 MJ/ Kg de alimento formulado.

Otro dato importante es el requerimiento de energía digestible (DE) para la trucha arcoíris, dato que se encuentra publicado en la tablas propuesta por Cho en 1992. Este dato debe ser ingresado en la ecuación para determinar la cantidad de alimento que se pierde por la no asimilación del pez, recordando el enunciado de Cho (1991) que determina que el requerimiento de energía total para producir un kilogramo de trucha a 15 °C es en promedio 15 MJ/kg de ganancia peso vivo, pero que varía desde 11 KJ para un pez de 1 gramo hasta 16 MJ para un pez de 2 kg.

De acuerdo al trabajo de Bureau (2010) en el que revisa los conceptos con los que se crean estas herramientas de modelaje que permiten la estimación de los desperdicios desde un punto de vista nutricional, esquematiza de manera sencilla la predicción de descargas de la acuicultura como se muestra en la figura 3.

El análisis del balance bioenergético y los avances en las investigaciones hacen que Papatryphon, et al (2005) proponga que el modelo bioenergético desarrollado por Cho y Bureau sea utilizado como una herramienta del manejo medio ambiental en la acuicultura, útil tanto para los productores de trucha en Francia como para las autoridades de control. En el primer caso permiten un mejor aprovechamiento de recursos procurando una alimentación adecuada y un ambiente saludable. En el segundo caso es deber de los estados procurar el desarrollo de las actividades productivas a través de políticas de sustentabilidad. Así también Papatryphon analiza y describe en un diagrama los procesos que ocurren en un criadero de truchas y que explican el modelo utilizado que se basa en un balance nutricional (Figura 4). La evaluación efectuada por Papatryphon consiste en comparar las predicciones de las descargas de nutrientes por medio de las ecuaciones de balance de masa o también llamado método nutricional y los datos obtenidos por el método directo o hidrobiológico que se refiere a las mediciones directas de los nutrientes que se realizan a las muestras que se obtiene de la recolección a la salida de las piscícolas o cuerpo de agua receptores.

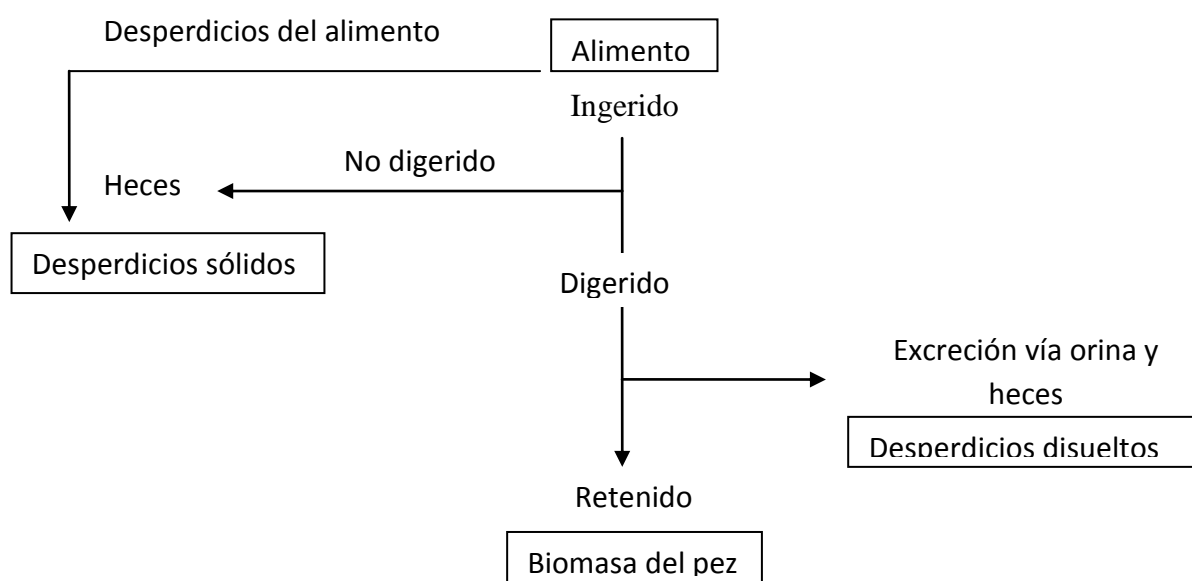


Figura 3. Esquema de generación de descargas de nutrientes a partir del alimento.  
Fuente: Bureau 2010

Roque en el 2008 debido a nuevas legislaciones ambientales en Francia concernientes al recurso hídrico que restringen el uso y la emisión de contaminantes para minimizar el impacto ambiental de la actividad acuícola, evalúa los resultados que se obtiene con el método directo o hidrobiológico y el método nutricional basándose en el trabajo realizado por Papatryphon. El primer método con la dificultad de obtener muestras representativas y el segundo más simple y que sólo necesita de datos de alimentación. Los modelos nutricionales de cálculo de desperdicios estiman la cantidad de energía no retenida por el organismo, por lo tanto la composición del alimento y la del cuerpo del pez son usadas para estimar la cantidad de N y P que son liberados en el agua.

Aubin en el 2011 realiza un estudio para caracterizar las descargas producidas por los cultivos de truchas en Francia y tomando 20 estaciones piscícolas se vuelve a comparar los resultados obtenidos por ambos métodos, observando que las pruebas estadísticas de regresión comprueban la afinidad entre los métodos directos y los nutricionales, sobre todo para la estimación de N y P total.

Encontrar un método aplicado de control a través de modelos que puedan ser lo más preciso y acordes a un sistema ecológico en particular resulta de mejor utilidad cuando se trata de regular una actividad productiva como la acuicultura en una zona

ecológica sensible. El modelar ecuaciones y comparar métodos nutricionales y métodos hidrobiológicos contribuye de mejor manera a un manejo sustentable real cuando se trata de una zona ecológica conflictiva cuando hablamos de agua dulce para agricultura, acuicultura, turismo y agua potable.

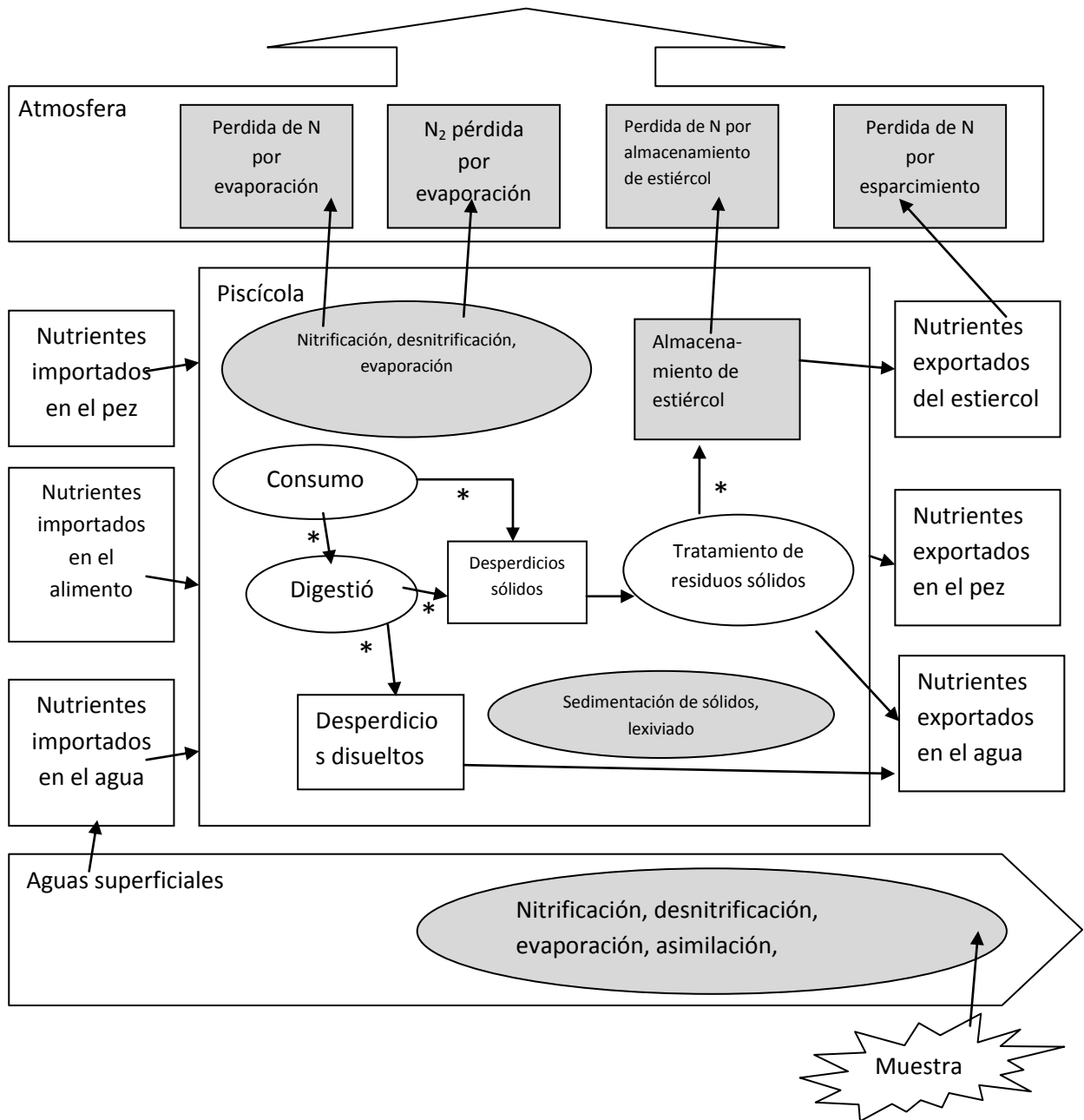


Figura 4. Diagrama de flujo de una piscícola de trucha. Los cuadros llenos con color gris son considerados no predecibles o despreciables. Los asteriscos indican los procesos considerados en el modelo de Papatryphon. Fuente: Papatryphon, 2008.

## **2.6 Medidas para mitigar el impacto de la acuicultura de trucha**

Las medidas que se implanten para mitigar el impacto que causa la acuicultura son necesarias para cumplir regulaciones gubernamentales, pero especialmente para prevenir los daños que se puedan causar a la flora y fauna circundante. El agua dulce es un elemento estratégico para el desarrollo de los pueblos y su preservación previene conflictos.

Una de las medidas más utilizada para mitigar el impacto de la acuicultura es el tratamiento de los efluentes de las piscícolas. Estos tratamientos puede consistir en hacer pasar el agua de descarga a través de filtros o piscinas de sedimentación que reducen la velocidad del agua logrando reducir significativamente los sólidos suspendidos previo a ser descargados en el cuerpo de agua receptor (Cripps y Bergheim, 2000). Otro método simple y efectivo es el denominado filtrado biológico, que consiste en hacer pasar el agua que ha sido utilizada por la piscícola a través de piscinas dividida en varios compartimientos que logran reducir la velocidad del agua para lograr la sedimentación de los sólidos suspendidos y en los compartimiento se confina plantas que utilizan los nutrientes para su desarrollo (Sindilariu 2007).

La adición de dietas comerciales son necesarios necesaria para lograr los objetivos de la acuicultura. Pero la dieta también es el principal componente de los nutrientes generados por la acuicultura. Uno de los principales aspectos para lograr mitigar su impacto es la correcta aplicación de la dieta procurando los mejores horarios de alimentación y la mejor manera de distribuirlo. Estas condiciones se logran con un manejo técnico de campo adecuado.

No obstante de poseer un buen manejo técnico, la calidad del alimento formulado es crucial para lograr reducir el aporte de nutrientes al medio ambiente. La formulación de dietas específicas para la necesidad nutricional de una especie es el inicio clave para lograr calidad. Ingredientes en la dieta con alta digestibilidad aseguran un menor desperdicio. Para lograr reducir los nutrientes nitrogenados se requiere que la relación proteína: energía se mantenga entre 20 a 22 DP/MJDE, este valor garantiza que no exista un exceso de proteínas en la dieta y en términos generales que la dieta pueda ser considerada de alta densidad en nutrientes. La reducción de desperdicios

debido al fósforo en las dietas formuladas podría lograrse con la adición de lisina o ácido cítrico, los cuales favorecen su digestibilidad (Bureau, 2010).

Una medida alternativa es la implementación del sistema conocido como el RSF por sus siglas en inglés, que significan sistema de recirculación para granjas de trucha. Roque et al (2009) no sólo comprobó su eficacia en la reducción de nutrientes, sino que también estableció la cantidad de energía que este sistema ahorra y los réditos económicos que se logran.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Área de estudio

El área de estudio del presente trabajo podría ser considerada como un sistema jerárquico inferior dentro de un valle y se encuentra constituida principalmente por Piso Alto Andino, ecosistema conocido comúnmente como páramo. De acuerdo a los datos establecidos en las cartas IGM la zona de estudio corresponde a un callejón de aproximadamente 15 Km de largo, contabilizados desde la garita de control en la salida del parque Nacional El Cajas hasta la parroquia Sayausí. Callejón que se forma al oriente por los cerros Barrancos, Yacopiana, Tres Picos, Moraspugru y Zorrocucho. Al Occidente se encuentran los cerros Caparosa, Quinsacocha, Curiquinge y Gallo Cantana. En medio de este callejón se encuentra la carretera Cuenca Molleturo, siendo la puerta de entrada desde el sur del Ecuador a la ciudad de Cuenca. Las piscícolas se asientan a la margen oriental y occidental de la carretera mencionada, esta zona es conocida localmente como el *Corredor de El Cajas*. Este accidente geográfico da lugar al Río Matadero que es alimentado por las quebradas Patococha Chico, Verdecocha al margen oriental y al margen occidental se encuentran las quebradas Dos Chorreras, Pajaritos, Curiquina, Llullugchas Verdecocha, Tembladera y Caporosa. El río Matadero cerca de Cuenca se encuentra con el río Llaviuco procedente de la laguna del mismo nombre, para posteriormente formar el Río Tomebamba que se constituye como uno de los principales ríos que atraviesan la ciudad de Cuenca. Del mapa de uso de suelo del 2008 (ETAPA) se observa que el área predominante posee un suelo con aptitud para *Pasto*, es por ello que en esta zona se encuentran grandes fincas ganaderas.

Las piscícolas se encuentran ubicadas a la largo de la carretera tanto en su margen derecha e izquierda en una extensión aproximada de 15 kilómetros como se aprecia en la figura 5. La altura promedio de la zona es de 3200 metros sobre el nivel del mar. La temperatura ambiental promedio es de 10<sup>0</sup>C. Todas las piscícolas hacen uso de agua de las quebradas o ríos. En la zona de estudio se encuentran 12 piscícolas, 8 de los cuales forman parte de este estudio.

#### 3.2. Selección de sitios de muestreo, medición de parámetros y estimación del caudal



Con la finalidad de caracterizar la calidad de agua de las piscícolas y sus efluentes, así como del cuerpo receptor, se procedió en una campaña de muestreo de un día a tomar muestras de agua a la entrada y a la salida de ocho piscícolas, así como cinco muestras en el cauce principal del Río Matadero.

En todas las estaciones de muestreo se evaluaron en un día los parámetros básicos de calidad de agua siendo estos: oxígeno disuelto, temperatura y pH. Únicamente a la entrada y salida de seis piscícolas y tres sitios del cauce principal del río Matadero, se les realizó análisis de la concentración de nitratos y ortofosfatos. Lectura de oxígeno disuelto en el agua fueron medidas mediante un oxigenómetro marca Ohaus modelo 20550A. Se tomó lectura de pH a través de un electrodo marca Hanna modelo phep-5. Las muestras fueron recolectadas en campo para luego ser enviadas a un laboratorio particular a fin de determinar la concentración de nitratos y ortofosfatos en el agua. Los análisis fueron realizados empleando la metodología correspondiente sugerida por el *Estándar Methods APHA-AWWA 21<sup>th</sup> Ed.* La localización de las piscícolas y los sitios de toma de muestras en el efluente se presentan en la figura 4. Se registró las coordenadas y altura de los puntos de muestreo a través de un GPS marca Garmin modelo MAC76.

La información de los caudales tanto en las piscícolas como del río receptor fue necesaria para poder estimar la concentración en miligramos por litros de sólidos suspendidos (SS), fósforo total (FT) y nitrógeno total (NT). En base a registro históricos los mayores caudales se registran en la época de lluvias que van de diciembre a abril y los menores se registran en septiembre y octubre.

Los caudales de las piscícolas fueron estimados de acuerdo a la información proporcionada en el campo durante la campaña de muestreo. En el caso del cuerpo receptor se utilizó el método sencillo de la deriva para estimar el caudal del río durante la campaña de muestreo. A fin de estimar el caudal medio anual se consultó a los habitantes del sector la altura máxima del agua en el canal del río, obteniéndose un caudal promedio de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . valor que fue utilizado para estimar la concentración de sólidos suspendidos, N. total y P. total en el Río Matadero.

Las coordenadas en el sistema UTM WGS84 y la altura en msnm de los sitios de muestreos se presentan en la tabla 1 y 2.

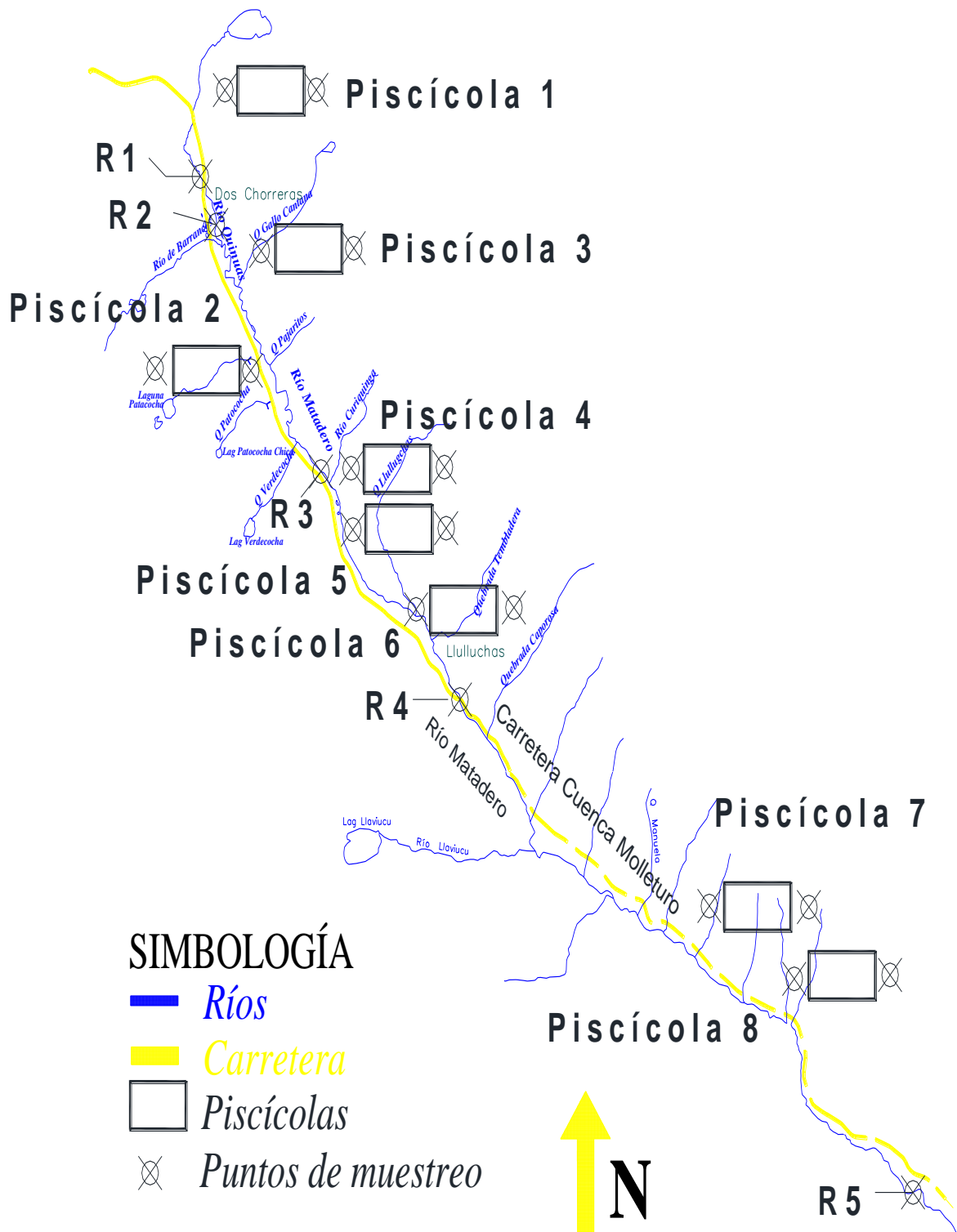


Figura 5. Localización de los puntos de muestreos de calidad de agua y piscícolas en el sector conocido como el corredor de El Cajas. Constan los puntos de muestreos a la entrada y salida de las 8 piscícolas con la simbología respectiva. Los 5 puntos de muestreos en el cauce del río Matadero se denotan con la letra R y la simbología correspondiente

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo

Nombre	Coordenada X	Coordenada Y	Altura(msnm)	Observación
Estación 1/E	703790	9692621	3543	Punto a la entrada de agua de la piscícola 1
Estación 1/S	703799	9692572	3519	Punto a la salida de agua de la piscícola 1
Estación 2/E	704727	9689976	3402	Punto a la entrada de agua de la piscícola 2
Estación 2/S	704786	9689973	3392	Punto a la salida de agua de la piscícola 2
Estación 3/E	704180	9691178	3418	Punto a la entrada de agua de la piscícola 3
Estación 3/S	704249	9691144	3410	Punto a la salida de agua de la piscícola 3
Estación 4/E	705870	9688883	3347	Punto a la entrada de agua de la piscícola 4
Estación 4/S	705838	9688813	3326	Punto a la salida de agua de la piscícola 4
Estación 5/E	705799	9688781	3321	Punto a la entrada de agua de la piscícola 5
Estación 5/S	705874	9688575	3315	Punto a la salida de agua de la piscícola 5
Estación 6/E	707001	9687536	3236	Punto a la entrada de agua de la piscícola 6
Estación 6/S	707063	9687489	3238	Punto a la salida de agua de la piscícola 6
Estación 7/E	710822	9684235	2939	Punto a la entrada de agua de la piscícola 7
Estación 7/S	710898	9684163	2886	Punto a la salida de agua de la piscícola 7
Estación 8/E	711124	9684047	2889	Punto a la entrada de agua de la piscícola 8
Estación 8/S	711186	9684033	2867	Punto a la salida de agua de la piscícola 8

Tabla 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el río Matadero.

Nombre	Coordenada X	Coordenada Y	Altura(msnm)
Estación R1	703879	9691906	3448
Estación R2	704195	9691217	3414
Estación R3	705738	9688881	3320
Estación R4	707556	9686772	3209
Estación R5	713846	9682052	2738

### **3.3 Recolección de información de la producción y manejo acuícola**

En la zona materia de la presente tesis se encuentra un total de 12 piscícolas dedicadas a la cría y cultivo de trucha, además se encuentra tres laboratorios de producción de ovas de trucha. En términos productivos se considera una acuicultura extensiva llegando a una carga máxima de 10 Kg biomasa/m<sup>3</sup>. El agua utilizada proviene de quebradas o del río, la temperatura promedio del agua es de 10° grados centígrados.

La mayoría de piscinas de las piscícolas son de forma rectangular y poseen una superficie promedio de 20 m<sup>2</sup>, también existen piscinas redondas con un diámetro de 10 m. Varias de las piscinas son sólo de tierra con paredes laterales de hormigón y otras piscinas son completamente de hormigón. La mayoría de piscícolas aprovecha la gravedad para que el agua fluya de una piscina a la otra hasta ser descargada de forma puntual.

En la zona existen dos estaciones de propiedad estatal, una de ellas es la Estación Piscícola Arcoíris manejada por el Ministerio de Agricultura, Acuicultura y Pesca del Ecuador (MAGAP) también conocida como EPAI (Estación piscícola Arcoíris) y la otra conocida como estación CREA debido a que antes pertenecía al Centro de Reconversión Económica del Azuay, pero que actualmente se encuentra a cargo del Municipio de la ciudad de Cuenca a través de la empresa pública ETAPA. Ambas estaciones cuentan con instalaciones tecnificadas para la producción comercial de carne y ovas o alevines de trucha y se encuentran en el sector conocido como Chirimachay. De la EPAI fue posible obtener la información productiva de cuatro piscinas que corresponden al año 2010 que será utilizada para estimar las descargas puntuales de las piscinas.

En las demás estaciones, dado que no se mantiene un registro no fue posible obtener información histórica de la producción, pero a través de un simple cuestionario fue posible en dos recorridos durante dos días recabar información general de los parámetros productivos necesarios para el modelado de las piscícolas.

La alimentación de los peces es diaria, aunque resulta una práctica común el no alimentar un día a la semana. Los muestreos de crecimiento se los realiza cada mes, la alimentación más bien se ajusta por la experiencia y la observación del comportamiento

de los peces. Si bien no se realizan muestreos semanales como comúnmente ocurre en la acuicultura de camarón en el Ecuador, las piscinas de trucha deben ser observadas constantemente en busca de indicios de comportamientos errático en el nado de los peces que son señal de enfermedades.

### **3.5 Modelos bioenergéticos o de balance de masa nutricional**

Es importante en este punto recordar que además de las consideraciones del manejo productivo, las instalaciones y el sector donde se realiza la actividad acuícola, la composición y uso del alimento formulado juega uno de los roles más importante ya que de esta proviene la mayoría de desperdicios generados en la acuicultura.

En el país existen algunos productos comerciales formulados para la alimentación de truchas. Este alimento se encuentra formulado específicamente para la edad, existiendo dos tipos de alimento: el iniciador con un porcentaje mayor de proteína y menor espesor y el de engorde con un porcentaje menor de proteína y de mayor tamaño. Todos los modelos de estimación de descarga requieren la composición de la dieta empleada, la digestibilidad de los nutrientes y lo retenido por el pez. En este estudio se utilizó para los cálculos los porcentajes de los nutrientes contenidos el alimento formulado para engorde que es utilizado por todos los piscicultores en la zona de estudio. Los valores de la composición de la dieta comercial utilizada en el área de estudio se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Composición del alimento de engorde utilizado en la zona para trucha.

Proteínas	42%
Lípidos	12%
Cenizas	7%
Fibra	3%
Carbohidratos	10%
Fósforo	1%
Humedad	10%

El modelo requiere de variables productivas como son: la cantidad de alimento utilizado, el factor de conversión alimenticia y las concentraciones de sólidos suspendidos (SS), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) del ambiente. En la tabla 4 se detallan principalmente las variables cuyos valores se obtuvieron mediante cuestionario en el campo. Ninguna de las estaciones piscícolas visitadas cuenta con algún dispositivo de remoción de sólidos a la salida por lo que el valor asignado a esta variable es cero.

Tabla 4. Detalles de las Variables que se obtienen en el campo

<b>Descripción</b>	<b>Notación</b>	<b>Unidad</b>
Alimento distribuido	$F_D$	Kg
Alimento consumido	$F_C$	Kg
Factor de conversión alimento	FCR	Kg/Kg
Eficiencia de remoción de sólidos	$E_{SR}$	%
Caudal del río	R	L/seg
Concentración de amonio o N total en el río	$R_{NH_4}$	mg/L
Concentración de fósforo total en río	$R_P$	mg/L
Sólidos suspendidos en el río	$R_{SS}$	mg/L

Otros parámetros utilizados en el modelo de balance nutricional y que tienen valores constantes se detallan en la tabla 5. Las constantes para el coeficiente de digestibilidad aparente (ADC), contenido de nitrógeno en el cuerpo ( $B_N$ ), contenido de fósforo en el cuerpo ( $B_P$ ) y la proporción de amonio en el nitrógeno total disuelto ( $N_{NH_4}$ ) provienen de resultados experimentales de trabajos publicados y los valores del contenido de nitrógeno en proteínas ( $PR_N$ ) y relación amonio y nitrógeno amoniacal (A) resultan ser valores teóricos.

El primer modelo para estimar las descargas empleado corresponde a las ecuaciones bioenergéticas aplicadas por Cho y Bureau en 1998 con la ayuda del programa computacional denominado Fish-PrFEQ. El modelo permite estimar la cantidad total de desperdicios generados por la acuicultura (TW) que resulta igual a la

suma de los desperdicios sólidos (SW) desperdicios disueltos (DW) y la pérdida aparente de alimento (AFW).

Tabla 5. Descripción de las variables utilizadas en los modelos con sus valores

<b>Variables</b>	<b>Notación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Contenido de nitrógeno en proteínas	PR <sub>N</sub>	%	16
Proporción de amonio en N total disuelto excretado	N <sub>NH4</sub>	%	80
Relación amonio a amonio en Nitrógeno	A	Kg/Kg	1,29
<b>Coefficiente de Digestibilidad Aparente</b>			
Proteínas	ADC <sub>PR</sub>	%	90
Lípidos	ADC <sub>L</sub>	%	95
Cenizas	ADC <sub>A</sub>	%	50
Fibra	ADC <sub>F</sub>	%	0
Carbohidratos	ADC <sub>C</sub>	%	60
Fósforo	ADC <sub>P</sub>	%	65
<b>Contenido de todo el cuerpo</b>			
Nitrógeno	B <sub>N</sub>	Kg/Kg	0,02560
Fósforo	B <sub>P</sub>	Kg/Kg	0,00400

La ecuación de Cho y Bureau se describe a continuación:

$$TW = SW + DW + AFW$$

Estos tres factores de descarga se calculan con las siguientes fórmulas

$$SW = (\text{alimento consumido} \times (1-ADC))$$

$$DW = (\text{Alimento consumido} \times ADC) - \text{biomasa de peces producida}$$

$$AFW = \text{Alimento real suministrado} - \text{alimento teórico requerido}$$

Las siglas ADC corresponden a la digestibilidad aparente de los ingredientes y la dieta. El programa está compuesto por cuatro módulos, uno para la predicción del crecimiento y producción de peces, el segundo para la cuantificación de las descargas, el tercero para predecir la cantidad de alimento a utilizar y el cuarto el requerimiento de oxígeno disuelto r. Los resultados se muestran en sólidos suspendidos y la concentración de fósforo y nitrógeno disueltos. La composición del alimento artificial, el peso ganado, la temperatura del agua, el caudal diario y la mortalidad son variables

que deben ser ingresadas en el programa para obtener las estimaciones de descargas y proyectar el requerimiento de dieta artificial para el siguiente ciclo productivo. Otro valor necesario para ingresar en el programa es el requerimiento de energía total para la trucha. Este valor es obtenido mediante ensayos y en tablas como fuera descrito en la revisión literaria. El valor utilizado en este trabajo fue de 16 MJ/Kg de peso vivo ganado con un 5% de estimado para el desperdicio del alimento.

El segundo modelo utilizado en este estudio corresponde al desarrollado por Papatryphon en el año 2005, el cual posee un enfoque medio ambiental y las ecuaciones permiten obtener las concentraciones en miligramos por litro para sólidos suspendidos, amonio, nitrógeno total y fósforo total con las formulas que se detallan a continuación:

### **Sólidos suspendidos**

$$\text{SS (mg/l río)} = \text{SS ambiente} + \text{SS producidos}$$

En donde:

$$\text{SS producido} = (\text{alimento no digerido} + \text{alimento no consumido}) / \text{flujo del río}$$

En donde:

$$\text{Alimento no digerido} = \text{proteínas no digeridas} + \text{lípidos no digeridos} + \text{carbohidratos no digeridos} + \text{cenizas no digeridas} + \text{fibras no digeridas}$$

Fórmula para SS

$$\text{SS} = \text{R}_{\text{SS}} + \left( \left( \text{F}_D \times \text{F}_C \times \sum (\text{C}_i \times (1 - \text{ADC}_i)) \right) + \left( \text{F}_D \times (100 - \text{F}_C) \times (100 - \text{C}_M) \right) \right) / \text{R} \times \text{E}_{\text{SR}}$$

### **Amonio**

$$\text{NH}_4^+ \text{ (mg/l río)} = \text{NH}_4^+ \text{ ambiente} + \text{NH}_4^+ \text{ producido}$$

$$\text{NH}_4^+ \text{ producido} = (\text{producción de nitrógeno soluble} \times \text{La conversión de N a NH}_4^+) / \text{flujo del río.}$$

$$\text{Producción de nitrógeno soluble} = \text{Nitrógeno digerible en la dieta} - \text{Nitrógeno en el producto}$$

Fórmula para  $\text{NH}_4^+$



$$\text{NH}_4^+ = R_{\text{NH}_4} (((F_D \times F_C \times ((C_{Pr} \times \text{ADC}_{Pr} \times \text{PR}_N) - (B_N/\text{FGR})) \times N_{\text{NH}_4} \times A)/R$$

### **Fósforo Total**

$$\text{P-Total (mg/l)} = \text{P del ambiente} + \text{P total producido}$$

Donde el P total producido = (P introducido en el alimento – P exportado en el producto)/ Flujo del río.

Fórmula para el P-Total

$$\text{P-Total} = R_P + (((F_D \times F_C \times (C_P - (B_P/\text{FGR}))) / R).$$

Para la forma sólida y la disuelta se emplea las siguientes fórmulas:

$$\text{P-Total (mg/l)} = \text{P del ambiente} + \text{P total producido}$$

Donde el P total producido= (Producción de P disuelto + Producción de P sólido o suspendido) / Flujo del río

Donde P disuelto = Digestibilidad del P en la dieta – P exportado en el producto

Fórmula para el P soluble o disuelto:

$$\text{P disuelto} = (F_D \times F_C \times (C_P \times \text{ADC}_P) - (B_P/\text{FGR}))/ R$$

Producción del P sólido o suspendido = Fósforo no digerido + P no consumido

Fórmula para el P solido o suspendido:

$$\text{P sólido} = R_P + (((F_D \times F_C \times (C_P \times (100 - \text{ADC}_P)) + (F_D \times (100 - F_C))/ R) \times E_{SR}$$

Sustituyendo nitrógeno por el fósforo en las fórmulas de arriba se puede calcular la pérdida total de N (sólidos y disueltos)

En el 2008 Roque valida el modelo empleado por Papatryphon realizando nuevos ensayos en campo para comparar los resultados de lo estimado con lo medido. Emplea las siguientes formulas:

$$\text{Nitrógeno total} = \text{Nitrógeno sólido} + \text{N disuelto}$$

$$\text{N Sólido} = \text{N heces} + \text{N no consumido}$$

$$\text{N heces} = ((F_D - (F_D - \% \text{ UF})) * (\% \text{ proteína} / 6.25) * (100 - \text{DC})$$

$$N \text{ no consumido} = (F_D * \% UF) * (\% \text{ proteína}/6.25)$$

$F_D$  = alimento distribuido,  $UF$  alimento no ingerido,  $\%$  proteína = proporción de proteína en la dieta,  $DC$  coeficiente de digestibilidad.

$$N \text{ Disuelto} = N \text{ consumido} - N \text{ heces} - \text{parte digerida de N}$$

$$N \text{ consumido} = ((F_D - (F_D * \% UF)) * (\% \text{ proteína} / 6.25))$$

$$\text{Parte digerida de N} = F_D * BN / FCR$$

Donde  $BN$  = contenido de  $N$  en el cuerpo del pez,  $FCR$  = factor de conversión del alimento. El  $NH_4 N$  está calculado con un coeficiente del 80% que corresponde a la proporción de  $NH_4 N$  del  $N$  excretado como fuera establecido por Papatryphon.

$$SS \text{ total} = SS \text{ heces} + SS \text{ alimento no ingerido}$$

$SS \text{ heces} = \text{proteínas no digeridas} + \text{lípidos no digeridos} + \text{carbohidratos no digeridos} + \text{cenizas no digeridas} + \text{fibras no digeridas}.$

$$SS \text{ heces} = ((F_D - (F_D * \% UF)) * \Sigma (\% \text{ nutrients} \times (100 - DC))$$

$$SS \text{ alimento no ingerido} = (F_D * \% UF) * (\% \text{ materia seca en alimento})$$

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Calidad de agua

En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos de la concentración de nitratos y ortofosfatos medidos a la entrada y salida de las estaciones piscícolas muestreadas, así como la concentración de oxígeno, temperatura y pH en las piscícolas. En el cuerpo receptor se midieron los mismos parámetros agregando en dos estaciones la medición de nitritos y dureza como se aprecia en la tabla 7.

Tabla 6. Valores obtenidos para las diferentes variables en los puntos de muestreo

Nombre	Temperatura C <sup>0</sup>	Oxígeno mg/l	pH	Nitratos(mg/l)	Ortofosfatos(mg/l)
Estación 1/E	11,9	8,4	8,4	0,1632	0,116
Estación 1/S	1,9	8,04	8,4	0,4712	0,0086
Estación 2/E	9	9,7	8,3	0,1896	nd*
Estación 2/S	10,2	8,84	8,3	0,1351	0,0018
Estación 3/E	11	9,33	8,4	-	-
Estación 3/S	10,9	8,72	8,3	-	-
Estación 4/E	8,2	8,9	8,2	0,1025	nd*
Estación 4/S	8,8	7,16	8,1	0,0563	0,0061
Estación 5/E	11,4	7,8	8,5	0,5069	0,0123
Estación 5/S	11,4	7,66	8,6	0,2948	0,0031
Estación 6/E	11,4	7,78	8,5	-	-
Estación 6/S	11,6	5,93	8,4	-	-
Estación 7/E	12	7,6	8,3	0,3643	0,0193
Estación 7/S	12	6,29	8,3	0,6138	0,0534
Estación 8/E	12	7,59	8,2	0,3164	1,1709
Estación 8/S	12,1	6,5	8,2	0,1276	nd*

\*no detectable por el método

Tabla 7. Valores obtenidos del muestreo en el cuerpo receptor

Nombre	Temperatura °C	Oxígeno (mg/l)	pH	Nitratos (mg/l)	Ortofosfatos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Dureza (mg/l)
R1	10	9	8,3	-	-	-	-
R2	10,3	9,72	8,4	0,2297	0,0012	-	-
R3	11,5	6,92	8,4	0,1025	0,0138	0,0194	56,7
R4	11,3	7,49	8,4	0,2622	0,0012	-	-
R5	12,2	7,39	8,2	0,1848	nd	0,0115	58,8

## 4.2 Información productiva

De la estación piscícola EPAI fue posible obtener los datos productivos del año 2010 para sus cuatro piscinas de 20 m<sup>2</sup> cada una. El cultivo fue realizado desde el mes de abril a noviembre. Los parámetros necesarios para el modelado para piscinas de la EPAI fueron calculados a partir de los datos obtenidos de las hojas de registro y se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Resumen de los parámetros productivos por piscina que corresponden a los obtenidos de la Estación piscícola EPAI para el año 2010

	animales/m <sup>2</sup>	días de cultivo	Volumen, mill. l.	peso promedio cosecha (g)	Biomasa cosechada (kg)	biomasa viva acumulada (kg)	alimento balanceado (kg)	FCA
Piscina 1	40	220	76	141,67	97,75	99,7	144,32	1,45
Piscina 2	50	231	79,8	206,68	177,7	180,94	226,47	1,25
Piscina 3	55	214	73,9	109,31	98,38	100,79	145,61	1,44
Piscina 4	30	214	73,9	121,45	59,51	60,78	87,9	1,45

De los datos obtenidos del manejo productivo de las piscinas podemos apreciar en la figura 5 el incremento mensual de peso promedio y la variación del FCA por mes para las cuatro piscinas.

Para modelar y estimar las descargas de las 8 estaciones de cultivo en la zona se requiere de sus datos productivos, los cuales fueron recabados por medio de entrevistas que fueron realizadas en las instalaciones de cultivo durante la campaña de muestreo y cuyos valores se presentan en la tabla 9.

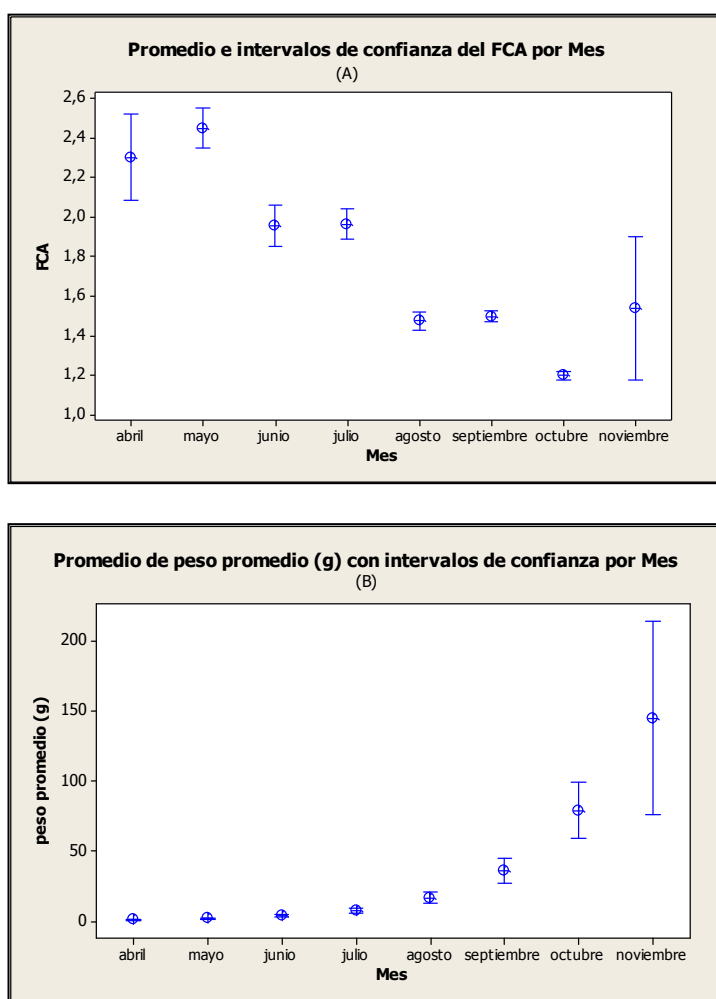


Figura 6. Promedio mensual del FCA (A) y el peso promedio mensual de crecimiento de las piscinas productivos de la EPAI (B).

Tabla 9. Datos estimados de la producción de las piscícolas de truchas obtenidos durante la campaña de muestreo.

Nombre	Área productiva(m2)	Pescado producido(Kg)	Caudal estimado(l/s)	Alimento utilizado(Kg)	FCA
Piscícola 1	140	1.680	20	2.352	1,4
Piscícola 2	1.560	3.744	18	5.242	1,4
Piscícola 3	2.250	16.200	55	21.060	1,3
Piscícola 4	225	1.350	20	1.755	1,3
Piscícola 5	225	1.350	50	1.755	1,3
Piscícola 6	500	9.600	40	12.480	1,3
Piscícola 7	1.000	12.000	35	16.800	1,4
Piscícola 8	470	5.640	100	6.768	1,2
<b>Total</b>		<b>51.564</b>		<b>68.212</b>	

### **4.3 Aplicación de modelos bioenergéticos**

Los tres modelos de estimación descritos en la metodología fueron utilizados para estimar la descarga de nutrientes para las 4 piscinas de la estación piscícola EPAI en donde fue posible obtener información histórica de sus registros. Para la predicción de las descargas de nutrientes de las ocho piscícolas sólo fueron utilizados los modelo de Papatryphon y Roque.

#### **4.3.1 Estimación de descargas por piscinas**

Para obtener las estimaciones de las descargas de nutrientes de las piscinas del EPAI empleando el primer modelo, se utilizó el programa computacional Fish-PrFEQ. Estas estimaciones fueron obtenidas considerando un aporte de energía digestible del alimento comercial de 20 MJ/kg, con un requerimiento energético del pez de 16 MJ/Kg de ganancia de peso vivo y asumiendo un desperdicio del 5% debido a la falta de consumo del alimento artificial total distribuido. Valores que deben ser ingresados en el programa para obtener las predicciones. Para el segundo como el tercer modelo se emplean las variables y constantes descritas en la metodología. Los resultados de las estimaciones de los nutrientes empleando los tres métodos se detallan en las tablas 10, 11 y 12.

En la figura 7 para una mejor ilustración se aprecia los valores totales estimados en miligramos por litro de los nutrientes: SS, NT y PT obtenidos por piscina y por método empleados.

#### **4.3.2 Estimación de descargas por piscícolas**

A partir de los datos que se obtuvieron en el campo y que se presentaron en la Tabla 9 fue posible estimar la cantidad en kilogramos de sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total que estaría originándose de las ocho estaciones en un año y que estarían siendo descargadas al río Matadero. Tal como se hiciera para los datos de las piscinas se presentan los valores que se obtienen en las diferentes piscícolas utilizando las ecuaciones de Papatryphon y Roque reportados en las Tablas 12 y 13.

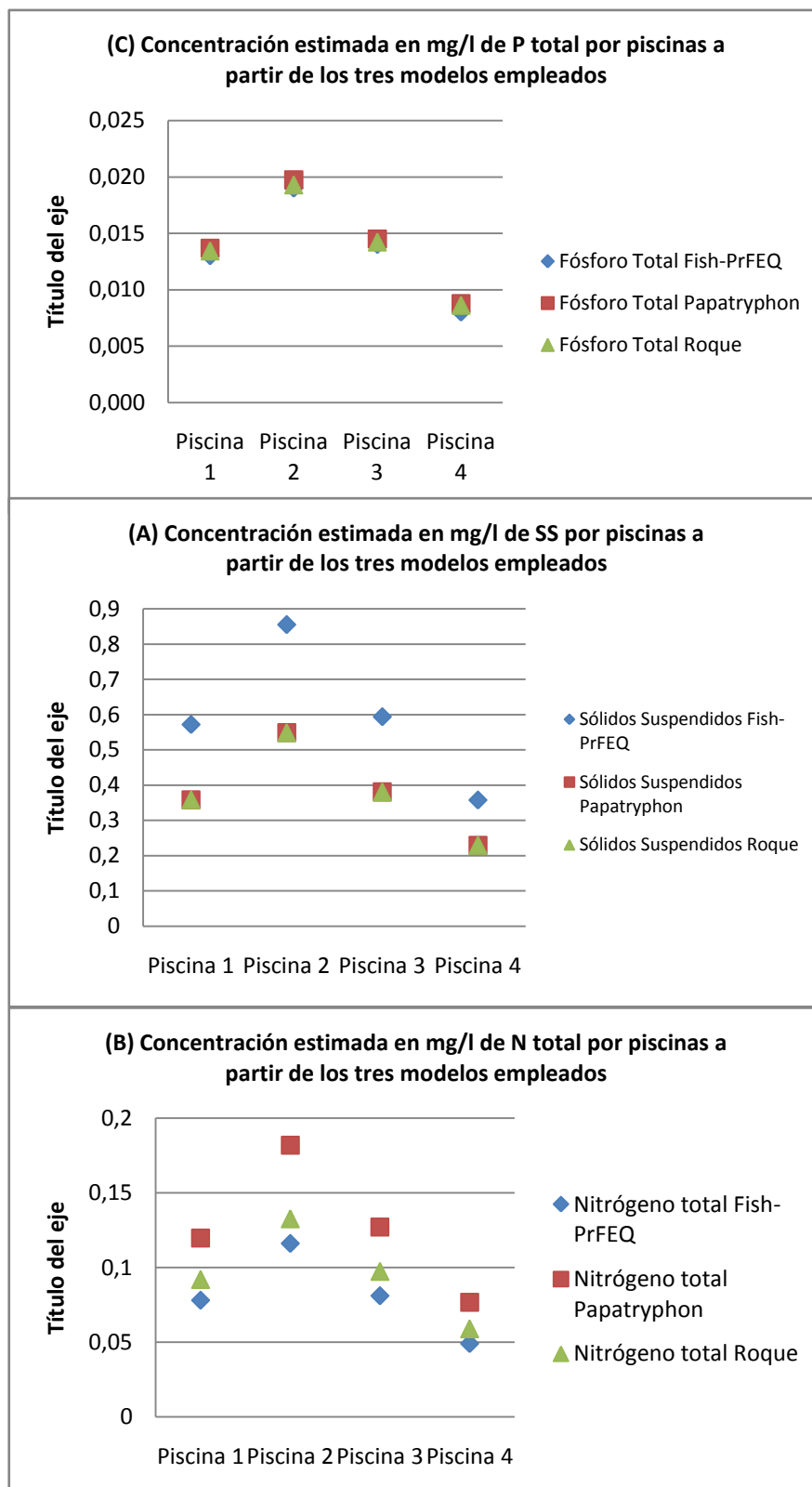


Figura 7. Concentraciones estimadas de SS (A), N total (B) y P total (C) de las piscinas de EPAI por el modelo Fish-prFEQ, Papatryphon y Roque.

Tabla 10. Valores estimados obtenidos de cuatro piscinas de la EPAI empleando el primer modelo por medio del programa Fish-PrFEQ

Salida estimada de desechos	Fish-PrFEQ						
	Vol. Mill. l.	Residuos Sólidos		Nitrógeno		Fósforo	
		Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l
Piscina 1	76.032	43,50	0,57	5,91	0,078	0,99	0,013
Piscina 2	79.833	68,30	0,86	9,27	0,116	1,55	0,019
Piscina 3	73.958	43,90	0,59	5,96	0,081	1,00	0,014
Piscina 4	73.958	26,50	0,36	3,60	0,049	0,60	0,008
<b>Total</b>		<b>182,20</b>	<b>2,38</b>	<b>24,74</b>	<b>0,32</b>	<b>4,14</b>	<b>0,054</b>

Tabla 11. Valores obtenidos de la estimación de descargas por el modelo de Papatryphon para cuatro piscinas de la EPAI.

Salida estimada de desechos	Vol. Mill. l.	Papatryphon (2005)															
		SS		NH4		N solido		N disuelto		N. Total		P Sólido		P Disuelto		P Total	
		Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l
Piscina 1	76.032	27,31	0,359	5,92	0,078	1,37	0,018	7,72	0,102	9,10	0,120	0,54	0,007	0,50	0,007	1,04	0,014
Piscina 2	79.833	43,86	0,549	8,88	0,111	2,21	0,028	12,31	0,154	14,51	0,182	0,87	0,011	0,71	0,009	1,58	0,020
Piscina 3	73.958	28,20	0,381	6,10	0,082	1,42	0,019	7,97	0,108	9,39	0,127	0,56	0,008	0,51	0,007	1,07	0,014
Piscina 4	73.958	17,02	0,230	3,69	0,050	0,86	0,012	4,81	0,065	5,67	0,077	0,34	0,005	0,31	0,004	0,65	0,009
<b>Total</b>		<b>116,39</b>	<b>1,52</b>	<b>24,59</b>	<b>0,32</b>	<b>5,86</b>	<b>0,08</b>	<b>32,82</b>	<b>0,43</b>	<b>38,67</b>	<b>0,51</b>	<b>2,30</b>	<b>0,03</b>	<b>2,04</b>	<b>0,03</b>	<b>4,34</b>	<b>0,06</b>

Tabla 12. Estimados de descargas por medio del modelo de Roque para cuatro piscinas de la EPAI.

Salida estimada de desechos	Vol. Mill. l.	Roque (2008)													
		SS		N solido		N disuelto		N. Total		P Sólido		P Disuelto		P Total	
		Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l
Piscina 1	76.032	27,31	0,359	1,37	0,018	5,61	0,074	6,99	0,092	0,54	0,007	0,48	0,006	1,02	0,013
Piscina 2	79.833	43,86	0,549	2,21	0,028	8,37	0,105	10,58	0,133	0,87	0,011	0,67	0,008	1,54	0,019
Piscina 3	73.958	28,20	0,381	1,42	0,019	5,78	0,078	7,20	0,097	0,56	0,008	0,49	0,007	1,05	0,014
Piscina 4	73.958	17,02	0,230	0,86	0,012	3,50	0,047	4,35	0,059	0,34	0,005	0,30	0,004	0,64	0,009
<b>Total</b>		<b>116,39</b>	<b>1,52</b>	<b>5,86</b>	<b>0,08</b>	<b>23,26</b>	<b>0,30</b>	<b>29,12</b>	<b>0,38</b>	<b>2,30</b>	<b>0,03</b>	<b>1,95</b>	<b>0,03</b>	<b>4,25</b>	<b>0,06</b>



Tabla 13. Resultados de estimados obtenidos utilizando el modelo de balance nutricional de Papatryphon para las piscícolas.

Salida estimada de desechos	Papatryphon (2005)							
	SS (Kg)	NH4 (Kg)	N solido(Kg)	N disuelto(Kg)	N. Total(Kg)	P Sólido(Kg)	P Disuelto(Kg)	P Total
Piscícola 1	455,52	97,30	22,92	128,60	151,52	9,00	8,14	17,14
Piscícola 2	1015,17	216,83	51,07	286,59	337,67	20,05	18,14	38,19
Piscícola 3	4078,80	842,15	205,21	1146,99	1352,19	80,55	68,49	149,04
Piscícola 4	339,90	70,18	17,10	95,58	112,68	6,71	5,71	12,42
Piscícola 5	339,90	70,18	17,10	95,58	112,68	6,71	5,71	12,42
Piscícola 6	2417,06	499,05	121,61	679,70	801,30	47,74	40,58	88,32
Piscícola 7	3253,74	694,97	163,70	918,57	1082,27	64,26	58,14	122,40
Piscícola 8	1310,79	259,75	65,95	366,92	432,86	25,89	20,36	46,25
	5889,39	1226,46	296,30	1657,76	1954,06	116,31	100,47	216,78

Tabla 14. Resultados de estimación obtenidos utilizando el modelo de Roque

Salida estimada de desechos	Roque (2008)					
	N solido(Kg)	N disuelto(Kg)	N. Total(Kg)	P Sólido(Kg)	P Disuelto(Kg)	P Total
Piscícola 1	22,92	92,13	115,05	9,00	7,80	16,80
Piscícola 2	51,07	205,31	256,39	20,05	17,39	37,44
Piscícola 3	205,21	795,30	1000,51	80,55	65,25	145,80
Piscícola 4	17,10	66,28	83,38	6,71	5,44	12,15
Piscícola 5	17,10	66,28	83,38	6,71	5,44	12,15
Piscícola 6	121,61	471,29	592,90	47,74	38,66	86,40
Piscícola 7	163,70	658,06	821,76	64,26	55,74	120,00
Piscícola 8	65,95	244,48	310,43	25,89	19,23	45,12
	296,30	1159,02	1455,32	116,31	95,88	212,19

Una vez obtenida la cantidad en kilogramos de las variables detalladas en las tablas 13 y 14 es posible obtener una estimación de la concentración de los efluentes de las piscícolas con el volumen total de agua que utilizada en un año. Los estimados obtenidos se aprecian en la Tabla15 y Tabla 16.

Tabla 15. Concentraciones estimadas en miligramos por litros para cada variable en las piscícolas de acuerdo al modelo de Papatryphon.

Papatryphon (2005)									
	Vol. litros	SS (mg/l)	NH4 (mg/l)	N solido (mg/l)	N disuelto (mg/l)	N. Total (mg/l)	P Sólido (mg/l)	P Disuelto (mg/l)	P Total (mg/l)
Piscícola 1	6,22E+08	0,732	0,156	0,037	0,207	0,244	0,014	0,013	0,028
Piscícola 2	5,60E+08	1,813	0,387	0,091	0,512	0,603	0,036	0,032	0,068
Piscícola 3	1,71E+09	2,384	0,492	0,120	0,670	0,790	0,047	0,040	0,087
Piscícola 4	6,22E+08	0,546	0,113	0,027	0,154	0,181	0,011	0,009	0,020
Piscícola 5	1,56E+09	0,219	0,045	0,011	0,061	0,072	0,004	0,004	0,008
Piscícola 6	1,24E+09	1,943	0,401	0,098	0,546	0,644	0,038	0,033	0,071
Piscícola 7	1,09E+09	2,989	0,638	0,150	0,844	0,994	0,059	0,053	0,112
Piscícola 8	3,11E+09	0,421	0,084	0,021	0,118	0,139	0,008	0,007	0,015

Tabla 16. Concentraciones en efluente que se obtienen de los resultados del modelo de Roque.

Roque (2008)						
	N solido(mg/l)	N disuelto(mg/l)	N. Total(mg/l)	P Sólido(mg/l)	P Disuelto(mg/l)	P Total(mg/l)
Piscícola 1	0,037	0,148	0,185	0,014	0,013	0,027
Piscícola 2	0,091	0,367	0,458	0,036	0,031	0,067
Piscícola 3	0,120	0,465	0,585	0,047	0,038	0,085
Piscícola 4	0,027	0,107	0,134	0,011	0,009	0,020
Piscícola 5	0,011	0,043	0,054	0,004	0,003	0,008
Piscícola 6	0,098	0,379	0,477	0,038	0,031	0,069
Piscícola 7	0,150	0,604	0,755	0,059	0,051	0,110
Piscícola 8	0,021	0,079	0,100	0,008	0,006	0,015

Con los valores totales estimados en kilogramos para cada variable de nutrientes producidos mediante el uso del modelo propuesto por Papatryphon, se obtiene el

estimado en kilogramos por cada tonelada de pescado producido en total al año. Los resultados estimados se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Cantidades totales de descargas de nutrientes estimadas anualmente en kg de acuerdo al modelo de Papatryphon y a la biomasa estimada de peces producidos por todas las piscícolas.

	Papatryphon (2005)							
	SS (Kg)	NH4 (Kg)	N solido(Kg)	N disuelto(Kg)	N. Total(Kg)	P Sólido(Kg)	P Disuelto(Kg)	P Total(Kg)
Total estimado de las ocho piscícolas	5889,39	1226,46	296,30	1657,76	1954,06	116,31	100,47	216,78
Cantidad estimada por tonelada de pescado producido	<b>114,22</b>	23,79	5,75	32,15	<b>37,90</b>	2,26	1,95	<b>4,20</b>

Mediante la relación del total en kilogramos de las descargas estimadas para sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total de todas las piscícolas del modelo propuesto por Papatryphon en el 2005 con el caudal estimado del cuerpo receptor de 5 m<sup>3</sup>/s, se obtiene un estimado de la concentración en el cuerpo de agua receptor. Los valores estimados obtenidos en concentraciones de miligramos por litro en el cuerpo receptor se aprecian en la Tabla 18.

Tabla 18. Concentraciones estimadas de SS, N total y P total descargado al cuerpo receptor por todas las piscícolas, de acuerdo al caudal estimado de 5 m<sup>3</sup>/s del Río Matadero.

	Papatryphon (2005)							
	SS (mg/l)	NH4 (mg/l)	N solido(mg/l)	N disuelto(mg/l)	N. Total(mg/l)	P Sólido(mg/l)	P Disuelto(mg/l)	P Total(mg/l)
Concentración en el cuerpo receptor	<b>0,02915</b>	0,00607	0,00147	0,00821	<b>0,00967</b>	0,00058	<b>0,00050</b>	0,00107

## 5. DISCUSIÓN

La estimación de descargas de la acuicultura basadas en el balance de masa comienza con el estudio práctico y teórico del flujo de energía que permita suministrar la cantidad de alimento necesario para determinada especie. Es evidente que la acuicultura depende del manejo adecuado del cultivo, así como de la expresión genética de la especie cultivada. Los primeros intentos de utilizar los modelos de balance de masa como herramienta para mantener la sustentabilidad de una actividad y como herramienta de control de la autoridad competente provinieron de estudios en agricultura (Neeteson 2000). La agricultura es una actividad multifacética en donde resulta imposible realizar mediciones puntuales debido a su espacialidad y temporalidad. A diferencia la acuicultura de trucha difiere de la agricultura debido a que la mayoría de sus emisiones son puntuales y directas al cuerpo de agua receptor permitiendo focalizar las acciones de regulación y control ambiental.

En el presente estudio se obtuvieron valores en la concentración de nitratos y ortofosfatos a la entrada y salida de las piscícolas. Aunque debería esperarse un aumento de la concentración de los nutrientes en el agua de salida de las piscícolas, esto no fue observado en el presente trabajo. Esta condición ha sido encontrada también en estudios previos (Aubin 2011), pero es necesario precisar que estos estudios comparan las estimaciones de los nutrientes con los resultados obtenidos por medio de medición directa o también llamado método hidrobiológico que son realizados en varias ocasiones en cortos intervalos de tiempo, lo que origina una gran cantidad de datos, permitiendo por medio de análisis de normalidad eliminar los valores no estadísticamente confiables. Por el contrario este estudio presenta valores puntuales que permiten una caracterización general más no el comportamiento químico del agua y mucho menos permite comparar los valores estimados por medio del método nutricional con las mediciones directas o hidrobiológicas.

El descenso de la concentración de oxígeno disuelto en el agua a la salida de las piscícola como fuera presentado en la tabla 6 permite constatar el proceso de respiración que ocurre en un cuerpo de agua sometido a un cultivo bioacuático. A pesar del descenso que se registró en la campaña de campo los valores de  $O_2$  disuelto a la salida siguen manteniéndose óptimo para el cultivo de trucha y permisibles para descargas al medio ambiente. Los valores de pH obtenidos en la salida de campo tanto para la

medición realizada a la entrada y salida de las piscícolas como en el cuerpo de agua receptor se mantienen constantes con un valor promedio de 8,4 que se encuentra dentro de los rangos adecuados para el cultivo de trucha (Liñan 2007). En cultivos de trucha en Turquía, Palatsu (2004) encuentra que los valores de pH pueden ser alterados en el cuerpo de agua receptor debido a la eutrofización de cuerpo de agua receptor debido a la acuicultura. El pH de los ríos de páramos dependen mucho de su ubicación, en un estudio realizado en el río Antisana que nace del volcán del mismo nombre localizado en la frontera entre las provincias de Pichincha y Napo se obtienen valores de pH de 6,5 a 7,5 a 4700 msnm, debido a su naturaleza volcánica (Jacobsen 2009). Es posible apreciar publicado en el portal de internet de la Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable y saneamiento de Cuenca (ETAPA) gracias a su programa de vigilancia de la calidad del agua de los ríos de Cuenca, los valores de pH desde el año 1984 hasta el 2006 de la estación localizada en río Tomebamba denominada Tb2 a unos 10 kilómetros aproximadamente de la zona materia del presente estudio a una altura de 2700 msnm. El valor mínimo registrado en este tiempo corresponde a 7,1 y el mayor a 8,54.

Las temperaturas apropiadas para un cultivo de trucha se encuentran alrededor de los 15<sup>0</sup>C (Briones 1994). La temperatura promedio de la zona es de 10 <sup>0</sup>C y corresponde a una temperatura que se desea cuando se requiere reproducir la especie. La estación piscícola EPAI fue la primera piscícola construida en la zona con el objeto de lograr la reproducción de la especie debido a las temperaturas adecuadas y lograr de esta manera el fomento de la actividad mediante la oferta de alevines.

Todas las concentraciones de nutrientes obtenidas en el agua de entrada y salida de las piscícolas así como las obtenidas en el río Matadero se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles de descargas a un cuerpo de agua dulce. Las concentraciones se encuentran establecidas en la tabla 12 del anexo 1 contenidas en el Libro VI De la calidad ambiental del Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ecuador. Estos niveles bajos obtenidos en el muestreo, contribuyen al mantenimiento de la calidad del cuerpo receptor y del río Tomebamba que se forma alrededor de los 2800 msnm aguas abajo en la unión con el río llaviucu.

Los parámetros de calidad de agua obtenidos a lo largo del cuerpo de agua receptor (Tabla 7) se mantienen más bien constantes y en rangos aceptables de acuerdo a la normativa ambiental del Ecuador. En este muestreo puntual no fue posible observar

un aumento o disminución de los nutrientes a lo largo del río o del cuerpo receptor, razón por la cual no se visualizó una fuente puntual de contaminación.

Para la estimación de SS, NT y PT para las cuatro piscinas de la EPAI se emplearon los tres modelos basados descritos cronológicamente en este estudio. Para el primer modelo se empleó la versión del año 1998 del programa computacional Fish-prFEQ cuyo énfasis es el correcto manejo del uso de la dieta comercial para cubrir las necesidades energéticas de la trucha. Este programa no fue adaptado como herramienta de manejo ambiental sino hasta el año 2010 (Azevedo, 2010; Aubin, 2011), cuya versión no fue posible obtener. Los otros dos modelos empleados respectivamente fueron el de Papatryphon y el Roque, modelos bioenergéticos cuyas ecuaciones han sido adaptadas para ser utilizadas como herramienta de manejo ambiental y estimar las descargas producidas por la acuicultura en un ecosistema. A pesar de las diferencias mencionadas, se estimó con los tres modelos la cantidad de SS, NT y PT de las piscinas para comparar los resultados obtenidos. Los resultados estimados para el NT y PT en las tres ecuaciones son similares. El estimado de la cantidad de SS difiere de la obtenida del primer modelo en relación al segundo y tercero, esto, posiblemente a que al modelo bioenergético Fish-prFQ mantiene en su ecuación la variable AFW (desperdicio aparente del alimento), que resulta muy difícil y casi imposible de estimar (Cho, 1998), por lo que el estimado se realiza en base a los requerimientos energéticos y la ganancia en peso de la especie cultivada. Parámetros o variables que no son tomadas en cuenta en los otros dos modelos empleados.

Para la estimación de las descargas de nutriente (SS, NT y PT) de las ocho piscícolas se empleó las ecuaciones propuestas por Papatryphon en el 2005 y Roque en el 2008. Pero es necesario mencionar que los únicos valores en que parecen diferir los resultados entre ambos modelos se encuentran en la cantidad de N y P disuelto. Se obtiene menores estimaciones mediante la fórmula de Roque, esto se debe a que de la cantidad de alimento consumido en la fórmula de Roque no sólo se resta la parte digerida, sino que también se resta la parte contenida en las heces. Los valores estimados por el modelo de Papatryphon para las piscícolas proporcionan concentraciones que van de 0,42 mg/l hasta 2,98 mg/l para SS, 0,14 mg/l hasta 0,99 mg/l de N total y 0,015mg/l a 0,087 mg/l de P total. Todos estos valores se encuentran por debajo de límites máximos permitidos para descarga a un cuerpo de agua dulce, que

se encuentran establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ecuador.

De acuerdo a las constantes utilizadas en las ecuaciones y los datos productivos obtenidos mediante cuestionario, se estima mediante la ecuación de Papatryphon una descarga total de las ocho piscícolas de 5890 Kg de sólidos, 1955 Kg de Nitrógeno total y 217 kg de Fósforo total al año, lo que equivale a 115 Kg de sólidos, 38 kg de N y 4,2 Kg de P por cada tonelada de pescado producido. Estas concentraciones son menores a las obtenidas por Bureau (2003) con valores entre 240 y 318 Kg de sólidos, N total entre 47 y 71 Kg y P total entre 7.5 y 15.2 kilogramos en la estimación teórica de descargas de la acuicultura de trucha arcoíris en jaulas en Ontario por tonelada de pescado producido. Los cultivos en jaulas son atribuibles en Canadá a sistemas intensivos de producción donde se puede obtener biomasa de pescado de alrededor de 30 Kg por metro cubico. Existen otros factores importantes para lograr una biomasa mayor de producción como lo es la domesticación y mejora genética de la trucha.

Los modelos nutricionales utilizados para estimar las descargas de nutrientes en la acuicultura de trucha emplean constantes que permiten obtener la porción retenida de N y P en el cuerpo del pez y constantes para determinar las pérdidas a través de los porcentajes de digestibilidad de las proteínas, lípidos, carbohidratos, fibra y fósforo. Estas constantes deben ser obtenidas a través de análisis pertinentes que se deben realizar a la dieta artificial empleada. En este estudio se ha empleado las constantes obtenidas de trabajos previos con dietas artificiales que se utilizan para la alimentación de trucha Arcoíris. Las variables utilizadas en las ecuaciones de balance de masa dependen de la precisión de la información proporcionada en el campo. La digestibilidad de los ingredientes y la composición de los nutrientes en las dietas artificiales son el factor principal que afecta a las descargas de la acuicultura (Cho, 2001).

Por las razones expuestas en el párrafo anterior las estimaciones obtenidas en este estudio deben ser consideradas teóricas, sin embargo pueden resultar interesantes para la planificación y gestión de la actividad y su impacto ambiental. Las estimaciones de descargas de la acuicultura podrían constituirse en herramientas indispensable para la implementación de programas de desarrollo sustentables que ayuden a conseguir los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo para el manejo de cuencas.

En los resultados obtenidos de la concentración en miligramos por litro del SS, N total y P total no se les ha adicionado la concentración del ambiente como se detalla en las ecuaciones de Papatryphon y Roque como herramientas de manejo ambiental que han sido utilizadas en este estudio, esto debido a que se ha asumido un valor de cero para estimar la concentración que se obtendría en el cuerpo receptor sólo debido a la acuicultura de la trucha Arcoíris y debido a que deberíamos disponer de muchos valores en el tiempo que resultan posible obtener sólo a través de redes de monitoreo.

La zona de estudio presenta condiciones adecuadas para el desarrollo de la actividad acuícola. Condición recomendada por la FAO conforme al artículo 9.1 del Código de Conducta para la Pesca Responsable que dice "los estados deberán promover y apoyar el desarrollo de la acuicultura dentro de un marco administrativo y jurídico que garanticen la práctica de una acuicultura responsable". Poseer las condiciones para el desarrollo de la actividad acuícola debe activar mecanismos de fomento con planes de desarrollo acompañados de una regulación respectiva con base principalmente en los estudios de impactos ambientales.

Varios estudios (Bureau, 2003; Davies, 2000; Stigebrant, 1999; Papatryphon, 2005) han demostrado que la estimación de las descargas de la acuicultura de trucha a través de los modelos de balance nutricional permite obtener estimaciones confiables. Actualmente los modelos bioenergéticos propuestos están siendo utilizados como herramientas de manejo ambiental en el cultivo de Salmones en Noruega, Francia y Canadá (Azebedo 2010).

En el Ecuador se realizó un estudio basado en el balance de nutrientes para determinar la contribución de la concentración final de N total y Fosforo total en el cultivo de camarón en la Península de Santa Elena. (Saldias, 2002). El presente trabajo es el primer intento para estimar las descargas de la acuicultura de agua dulce de trucha Arcoíris en ríos de montaña, a través de los modelos de balance nutricional detallados en la metodología, con la intención de validarlos en la zona austral del Ecuador que cuenta con el mayor número de piscícolas. La aplicabilidad de estos modelos para la estimación de SS, NT y PT producidos por la acuicultura en los sistema ecológicos andinos del Ecuador no sólo resultaría sencillo y práctico, sino que permite establecer el enfoque ecosistémico de la acuicultura, defino por la FAO (2011) como "Un enfoque ecosistémico de la acuicultura (EEA) es una estrategia para la integración de la



actividad en el ecosistema más amplio, que promueva el desarrollo sostenible, la equidad y la capacidad de los sistemas socio-ecológicos interconectados”.

## 6. CONCLUSIONES

Los valores obtenidos de la calidad de agua para los parámetros: oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, concentraciones de nitratos y ortofosfatos en los muestreos se encuentran por debajo de límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce como lo establece la Tabla 12 del anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental donde se establecen los límites máximos permitidos de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Las cantidades de residuos sólidos, nitrógeno total y fósforo total por tonelada de pescado producido estimadas a través de la aplicación de los modelos de balance nutricional, se encuentran por debajo de las obtenidas en otros estudios. Esto se debe probablemente al sistema extensivo de producción que se practica en la zona materia del presente trabajo.

Los modelos nutricionales válidos en la presente investigación, constituyen una herramienta para ser aplicada en la gestión de la acuicultura en ríos de montaña en el austro ecuatoriano.

## **7. RECOMENDACIONES**

La belleza escénica de la zona de estudio, el crecimiento demográfico y la mejora en la red vial hacen prever que la actividad acuícola ya sea para la producción de carne o actividades de pesca deportiva se incrementarán. Por lo tanto planes de manejo y desarrollo son necesarios para su ordenamiento.

Es de suma importancia que las dietas formuladas utilizadas en la acuicultura sean monitoreadas por la autoridad competente con el objeto de lograr formular alimentos amigables con el medio ambiente.

Mayor investigación para obtener los valores de las constantes de digestibilidad y composición de la dieta artificial son necesarios para estimar con mejor precisión las descargas producidas por la acuicultura de trucha en los ríos de altura. Análisis para comprobar la retención de los nutrientes para la formación de tejidos son requeridos para formular dietas adecuadas y menos contaminantes. El manejo de recursos requiere de generación de información e investigación para poder trazar el camino que permita un aprovechamiento de estos de manera sustentable.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA R., RÍOS B., RIERADEWALL M. y PRAT N. 2008 Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, Madrid 28 (1): pp. 35-64.
- AUBIN J. et al 2011 Characterization of waste output from flow-through trout farms in France: comparison of nutrient mass-balance modeling and hydrological methods. Ed. Sciences. *Aquatic Living Resources*, 24 pp. 63, 70.
- AZEVEDO P. et al 2010 Estimation of wastes outputs by a rainbow trout cage farms using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. *Aquaculture* (311) pp. 175-186.
- BARRA & LUNA 2010 El Cultivo de Trucha en el Ecuador. Infoacua Subsecretaría de Acuicultura. Guayaquil Vol. 2 N<sup>o</sup>5 pp. 4-6.
- BISSON P., MONTGOMERY D. and BUFFINGTON J. 2006. Valley segments, stream reaches, and channel unit *In: Methods in Stream Ecology* 2 Ed. Hauer F, Lamberti A. Ed. Elsevier, Amsterdam pp. 23-46.
- BOAVENTURA R. et al 1997 Trout farm effluent: Characterization and impact on the receiving streams. Ed. Elsevier. *Environmental Pollution* Vol. 95, cap. 3 pp. 379-38
- BRIONES B 1994 La crianza de truchas en estanques. Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio, regional Latacunga p 12.
- BUREAU D. & HUA K. 2010 Toward effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research* (41) pp. 777-792.
- BUREAU D. Y HUAK K. 2008. *Mathematical Modelling in Animal Nutrition*. France J y Kebread E. Ed. Cambridge, MA. pp. 443-447.
- BUREAU D, GUNTHER S, CHO Y. 2003 Chemical composition and preliminary theoretical estimates of wastes output of rainbow trout on commercial cage culture operation in Ontario. *North American Journal of Aquaculture* (65) pp 33-38.
- CAMARGO J. & ALONSO A. 2006 Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International* 32, pp. 831-849.
- CHO Y. AND BUREAU D. 1991 Bioenergética en la formulación de dietas y estándares de alimentación para la acuicultura de salmónidos: Principios, métodos y aplicaciones. *Fish Nutrition Research Laboratory, Guelph, Ontario, Canadá. Avances en Nutrición Acuícola* III, pp. 33- 64.
- CHO Y. AND BUREAU D. 1998 Development of Computer Model for Fish Feeding Standards and Aquaculture Waste Estimation: A Treatise. University of Guelph. Ontario, Canada. Ed. Elsevier. *Aquat. Living Resources*. 11(4) pp. 199-210.

- CHO & BUREAU 2001 A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research* (32), p. 350.
- CISNEROS F. 2003 Manejo de Cuencas Hídricas en el Ecuador. *In: Experiencias del Programa de agua y suelo, de la Universidad de Cuenca.* Ayón H. & Puchacela A. Ed. Espol, Guayaquil pp. 48-50.
- CORDERO D. 2008 Esquema de pagos por servicios ambientales para la conservación de cuencas hidrográficas en el Ecuador. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(19) pp. 54-66.
- COWX I. 2009 *Oncorhynchus mykiss* .*In: Cultured aquatic species facts sheets.* Crespi V., New M. Ed. FAO.
- CRIPPS S. J. & BERGHEIM A. 2000 Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquac. Eng.* (22) pp. 33-56.
- DAVIES I. 2000 Wastes production by farmed Atlantic salmon (*Salmo solar*) in Scotland. *International Council for the Exploration of the Sea. Sustainable Aquaculture Development.* (1) p. 11.
- ETAPA CUENCA 2008 Sistema de Información Ambiental. Mapa de áreas críticas Cuenca del Río Tomebamba Escala 1: 100 000.
- FAO 1994 Las pesquerías de aguas continentales frías en América Latina. COPESCAL Documento ocasional N° 7. Roma, pp. 1, 10-14.
- FAO. © 2005-2012. Programa de información de especies acuáticas. *Oncorhynchus mykiss*. Programa de información de especies acuáticas. Texto de Cowx, I. G. *In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO.*
- FAO 2011 Desarrollo de la acuicultura. Enfoque ecosistémico a la acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la pesca responsable. Roma No 5, Supl. 4. 60 sp.
- GIBSON C.E. 1997 The dynamics of phosphorus in fresh water and marine environment. *In: Phosphorus loss from soil to water.* Ed I.L. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes & A.E. Johnston, New York pp. 119-136.
- I.G.M. Carta topográfica Chiquintad. Serie J721. Hoja NV-F2, 3785-I 2da ed. Escala 1: 50 000.
- I.G.M. Carta topográfica Cuenca. Serie J721. Hoja F4 3785 III. 3ra ed. Escala 1: 50.000.
- JACOBSEN, D., DANGLES, O., ANDINO, P., ESPINOSA, R., HAMERLÍK, L. y CADIER E 2009 Longitudinal zonation of macroinvertebrates in an Ecuadorian glacier-fed stream: do tropical glacial systems fit the temperate model?. *Freshwater Biology*, 55 pp. 1234–1248
- JIMÉNEZ R., BARNIOL L. y MACHUCA M. 2010 Enfermedades en los cultivos de truchas en el Ecuador. Subsecretaría de Acuicultura. Guayaquil, pp. 9-17, 53.

- KANNEL P. *et al.* 2007. Spatial-temporal variation and comparative assessment of water qualities of urban river system: a case study of the river Bagmati (Nepal). *Environ Monit Assess* 129 pp. 433-459.
- LIÑAN W. 2007 Crianza de Truchas. 1 ed. Perú, Empresa Editora Macro EIRL.p. 27.
- MACMILLAN J. *et al* 2003 Best management practice development to minimize environmental impact from large flow-through trout farms. Ed. ScienceDirect *Aquaculture* Vol. 226, 1-4, pp. 91-99.
- MARIANO M. HUAMAN P y MAYTA E, et al 2010 Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú. *Rev. Perú biol.*, vol.17, no.1, pp.137-140. ISSN 1727-9933.
- MICIP-CENIAC 2006. Primer censo criaderos piscícolas de trucha Arcoíris. Ministerio de Industrias Comercialización y Pesca del Ecuador.
- NEETESON J. 2000 Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations. *Biology and Fertility of Soil* (30) pp. 566-572.
- NUÑEZ P. Y SOMOZA G. 2010 Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arco iris. Dirección Nacional de Sanidad Animal, SENASA, PAFIS. Agencia de Desarrollo Económico del Neuquen, Buenos Aires pp.15-21.
- PAPATRYPHON E. *et al* 2005 Nutrient-Balance Modelling as a Toll for Environmental Management in Aquaculture: The case of Trout Farming in France. *Environmental Management*, Vol. 35 N<sup>o</sup>2 pp. 161-174.
- PEÑA J. 2004. Conflictos y Participación Uso Múltiple del Agua. *In: Algunas dificultades históricas y cotidianas para resolver los conflictos del agua en la Cuenca de México.* Warner J. & Moreyra A. comp. Nordan-Comunidad, Montevideo pp. 27-38.
- PARA FOMENTAR la crianza de truchas en el Ecuador. *El Comercio*, Quito. 1931, Septiembre 1. Sp.
- TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL ECUADOR 2004 Codificación de la ley de prevención y control de la contaminación ambiental del Ecuador. Anexo 1 Tabla 3.Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios Tabla 12 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- ROMERO & PONCE 2009 Caracterización y propuesta técnica de la acuicultura en el sector de El Cajas, Provincia del Azuay. Tesis de grado, Espol, Guayaquil pp.68-70,82.
- ROQUE E. *et al* 2008 Comparison of two methods for evaluating waste of a flow through trout farm. Elsevier ed., *Aquaculture* Vol. 274, pp. 72-79.
- ROQUE E. BLANCHETON J.AUBIN J. 2009 Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural Engineering* (40), pp. 113-119.

- SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO 2009. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural. pp. 7-10, 101-110.
- SALDIAS C. SONNENHOLZNER S. Y MASSAUT L. 2002 Nitrógeno y Fósforo en estanques de producción de camarón en Ecuador. *El Mundo Acuícola* (Ecuador) 8(1): 17-19
- SERAP P et al 2004 The impact of Rainbow Trout Farm Effluents on Water Quality of Karasu Stream, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (4) pp. 9-15.
- SINDILARIU P. 2007 Reduction in effluent nutrient load from flow-through facilities for trout production: a review. *Aquatic. Resour.* (38) pp 1005-1030.
- SINDILARIU P 2009 Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. Ed. *Sciences. Aquatic. Living Resources* 22, pp. 93-103.
- STIGEBRANDT A. 1999 MOM(Monitoring-Ongrowing fish farms-Modelling) turnover of energy and matter by fish-a general model with application to salmon. *Fsken og Havet.* (5) p 26.
- TEJERO A. 2009 Impacto de la producción Trutícola sobre la calidad del agua en la cuenca del río Pixquiac, tesis de grado. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. pp. 25-30.
- UZBILEK M., PULATSÜ S. Y KÖKSAL G. 2003 Effects of land-based trout farms on the benthic macroinvertebrate community in a Turkish brook. Department of Aquaculture and Fisheries. *The Israeli Journal of Aquaculture, Israel* (1) 56: pp. 59-67.
- WARNER J. y MOREYRA A. 2004. Conflictos y Participación: Uso Múltiple del Agua. *In: Participación para solucionar conflictos por el agua: sueño, pesadilla o espejismo?* Warner J. & Moreyra A .comp. Nordan-Comunidad, Montevideo pp. 13-18.