

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

Diego Gallardo¹, Luis Domínguez²

¹Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Estatal Península de Santa Elena UPSE.

²Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, Director del Centro de Agua y Desarrollo Sustentable, Guayaquil-Ecuador

Email: dgallardo@upse.edu.ec

Resumen

*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 m³/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.*

Palabras claves: Modelo de balance de masa, bioenergético, cultivo de trucha, descargas de la acuicultura, acuicultura sustentable.

Abstract

*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 m³/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.*

Keywords: bioenergetics, aquaculture waste, trout farming, mass balance models, aquaculture sustainable

Introducción

En el 2006 el Ministerio de Industrias, Comercio, Integración y Pesca (MICIP) del Ecuador y el Centro Nacional de investigaciones acuícolas 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, en el sector conocido como el *corredor de El Cajas* se encuentran localizados 12 criaderos de trucha, zona en la que se desarrolló el presente estudio.

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).

Cho y Bureau (1998) han desarrollado modelos bioenergéticos o de balance de masa que permiten obtener estimaciones de las descargas producidas por la actividad acuícola, inclusive han desarrollado un software para determinar la cantidad de alimento a suministrar para especies como la trucha, cuyo crecimiento depende de la temperatura y estimar las descargas en un sistema de producción. Aubin, et al (2011) comparó los valores obtenidos de descargas por medio de modelos de balance de masa o bioenergéticos con mediciones directas al cuerpo de agua receptor confirmando la utilidad de los modelos predictivos.

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).

La Constitución de la República garantiza la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrobiológico. Las normas medio ambientales del Ecuador establecen los valores máximos permisibles para descargas de agua dulce. (Registro Oficial 418 TULSMA, 2004)

Los modelos bioenergéticos proporcionan la estimación de residuos sólidos, fósforo total y nitrógeno total que genera la acuicultura. 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.

Materiales y Métodos

Área de estudio

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, ubicada al oeste de la ciudad de Cuenca, capital de la provincia del Azuay (Figura 1). En medio de este callejón que forma el río Matadero, se encuentra la carretera Cuenca Molleturo, siendo la puerta de entrada oeste 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*, su altura promedio es de 3200 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio ambiental es de 10⁰.



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

Fuente: IGM, 2010.

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, que consistió en 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, que es el receptor natural de las descargas.

Se evaluaron en un la campaña de campo los parámetros básicos de calidad de agua: 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 phev-5. Las muestras de agua fueron recolectadas en campo para luego ser enviadas a un laboratorio particular a fin de determinar la concentración de nitratos y ortofosfatos. Los análisis fueron realizados empleando la metodología correspondiente sugerida por el *Estándar Methods APHA-AWWA 21th Ed.* La localización de las piscícolas y los sitios de toma de muestras en el efluente se presentan en la figura 2.

Los caudales de las piscícolas fueron estimados de acuerdo a la información proporcionada en el campo durante la campaña de muestreo. Para establecer el caudal del cuerpo receptor se utilizó el método sencillo de la deriva. 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 m³/s. valor que fue utilizado para estimar la concentración de sólidos suspendidos, N. total y P. total en el Río Matadero.

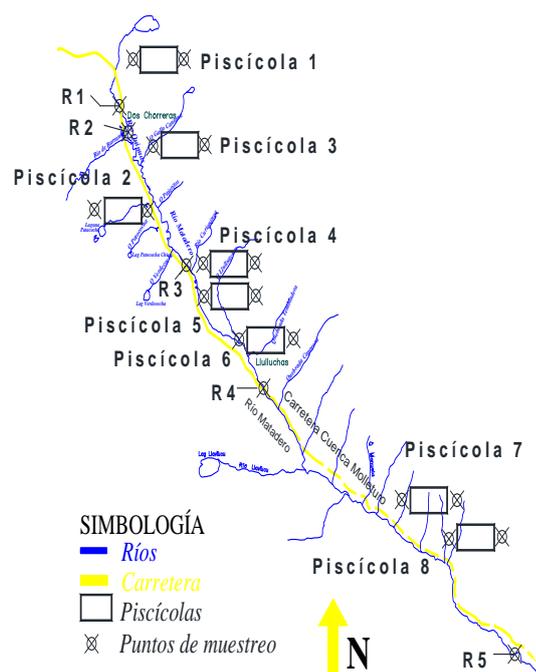


Figura 2. Esquema de localización de los puntos de muestreos de calidad de agua y piscícolas en el sector conocido como el corredor de El Cajas. Constan los puntos de muestreos a la entrada y salida de las 8 piscícolas con la simbología respectiva. Los 5 puntos de muestreos en el cauce del río Matadero se denotan con la letra R y la simbología correspondiente

Recolección de información de la producción y manejo acuícola

Por medio de un cuestionario realizando una visita a cada piscícola se recolectó información sobre la cantidad de alimento suministrado así como las veces que se alimenta por día. La estación piscícola más grande localizada en la zona corresponde a la denominada Estación Piscícola Arco Iris (EPAI), administrada por la Subsecretaría de Acuicultura. De esta estación fue posible obtener datos productivos de sus piscinas y poder emplear ecuaciones para estimar descargas de piscinas.

Modelos bioenergéticos o de balance de masa nutricional

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 del alimento formulado para engorde que es el más 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 1.

Tabla 1. 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: 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 2 se detallan 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.

Otros parámetros utilizados en el modelo de balance nutricional y que tienen valores constantes se detallan en la tabla 3. 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_{NH4}) 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.

Tabla 2. Detalles de las Variables que se obtienen en el campo

Descripción	Notación	Unidad
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/s
Concentración de amonio o N total en el río	R _{NH4}	mg/L
Concentración de fósforo total en río	R _P	mg/L
Sólidos suspendidos en el río	R _{SS}	mg/L

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

Variables	Notación	Unidad	Valor
Contenido de nitrógeno en proteínas	PR _N	%	16
Proporción de amonio en N total disuelto excretado	N _{NH4}	%	80
Relación amonio a amonio en Nitrógeno	A	Kg/Kg	1,29
Coefficiente de Digestibilidad Aparente			
Proteínas	ADC _{PR}	%	90
Lípidos	ADC _L	%	95
Cenizas	ADC _A	%3	50
Fibra	ADC _F	%	0
Carbohidratos	ADC _C	%	60
Fósforo	ADC _P	%	65
Contenido de todo el cuerpo			
Nitrógeno	B _N	Kg/Kg	0,02560
Fósforo	B _P	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. 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. 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 fórmulas que se detallan a continuación:

Sólidos suspendidos

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

En donde:

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

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

$$SS = R_{SS} + (((F_D \times F_C \times \sum (C_i \times (1 - ADC_i))) + (F_D \times (100 - F_C) \times (100 - C_M))) / R) \times E_{SR}$$

Amonio

$$NH_4^+ \text{ (mg/l río)} = NH_4^+ \text{ ambiente} + NH_4^+ \text{ producido}$$

$$NH_4^+ \text{ producido} = (\text{producción de nitrógeno soluble} \times \text{La conversión de N a } NH_4^+ / \text{flujo del río.})$$

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

Fórmula para NH₄⁺

$$NH_4^+ = R_{NH4} \left((F_D \times F_C \times ((C_{Pr} \times ADC_{Pr} \times PR_N) - (B_N / FGR))) \times N_{NH4} \times A \right) / R$$

Fósforo Total

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

$$\text{Donde el P total producido} = (\text{P introducido en el alimento} - \text{P exportado en el producto}) / \text{Flujo del río.}$$

Fórmula para el P-Total

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

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

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

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:

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

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

Fórmula para el P sólido o suspendido:

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

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:

Nitrógeno total = Nitrógeno sólido + N disuelto

N Sólido = N heces + N no consumido

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

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

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

N Disuelto = N consumido - N heces - parte digerida de N

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

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

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 total = SS heces + SS alimento no ingerido

SS heces = proteínas no digeridas + lípidos no digeridos + carbohidratos no digeridos + cenizas no digeridas + fibras no digeridas.

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

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

Resultados

Calidad de agua

En la tabla 4 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 5.

Tabla 4. Valores obtenidos para las diferentes variables en los puntos de muestreo

Nombre	T °C	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 5. Valores obtenidos del muestreo en el cuerpo receptor

Nomb re	T °C	O (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

Información productiva

De la estación piscícola Arcoíris (EPAI), la más grande localizada en la zona de estudio y administrada por el gobierno, fue posible obtener los datos productivos del año 2010 para sus cuatro piscinas de 20 m² 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 (tabla 6).

Tabla 6. Resumen de los parámetros productivos por piscina que corresponden a los obtenidos de la Estación piscícola EPAI para el año 2010

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

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 7.

Tabla 7. Datos estimados de la producción de las piscícolas de truchas obtenidos durante la campaña de muestreo.

Nombre	Área productiva (m ²)	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
Total		51.564		68.212	

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 de los registros. Para la predicción de las descargas de nutrientes de las ocho piscícolas sólo fueron utilizados los modelo de Papatryphon y Roque.

Estimación de descargas por piscinas

Para obtener las estimaciones de las descargas de nutrientes de las piscinas, 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. Para el segundo como el tercer

modelo se emplean las variables y constantes descritas en la metodología. Sólo se presentan los valores obtenidos por el programa Fish-PrFEQ en la tabla 8, ya que el programa fue desarrollado para estimar el alimento a suministrar a las piscinas de forma adecuada.

En la figura 3 se aprecia los valores totales estimados en miligramos por litro de los nutrientes: SS, NT y PT obtenidos por piscina y por los tres métodos empleados.

Estimación de descargas por piscícolas

A partir de los datos que se obtuvieron en el campo 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 9 y 10.

Tabla 8. 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
Total		182,20	2,38	24,74	0,32	4,14	0,054

Tabla 9. Resultados de estimados obtenidos utilizando el modelo de balance nutricional de Papatryphon para las piscícolas.

Tabla 10. Resultados de estimación obtenidos utilizando el modelo de Roque

Salida estimada de desechos	Roque (2008)					
	N sólido(Kg)	N disuelto(Kg)	N. Total(Kg)	P Sólido(Kg)	P Disuelto(Kg)	P Total
Piscicola 1	22,92	92,13	115,05	9,00	7,80	16,80
Piscicola 2	51,07	205,31	256,39	20,05	17,39	37,44
Piscicola 3	205,21	795,30	1000,51	80,55	65,25	145,80
Piscicola 4	17,10	66,28	83,38	6,71	5,44	12,15
Piscicola 5	17,10	66,28	83,38	6,71	5,44	12,15
Piscicola 6	121,61	471,29	592,90	47,74	38,66	86,40
Piscicola 7	163,70	658,06	821,76	64,26	55,74	120,00
Piscicola 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

Salida estimada de desechos	Papatryphon (2005)							
	SS (Kg)	NH4 (Kg)	N sólido (Kg)	N disuelto (Kg)	N. Total(Kg)	P Sólido (Kg)	P Disuelto (Kg)	P Total
Piscic 1	455,52	97,30	22,92	128,60	151,52	9,00	8,14	17,14
Piscic 2	1015,17	216,83	51,07	286,59	337,67	20,05	18,14	38,19
Piscic 3	4078,80	842,15	205,21	1146,99	1352,19	80,55	68,49	149,04
Piscic 4	339,90	70,18	17,10	95,58	112,68	6,71	5,71	12,42
Piscic 5	339,90	70,18	17,10	95,58	112,68	6,71	5,71	12,42
Piscic 6	2417,06	499,05	121,61	679,70	801,30	47,74	40,58	88,32
Piscic 7	3253,74	694,97	163,70	918,57	1082,27	64,26	58,14	122,40
Piscic 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

Una vez obtenida la cantidad en kilogramos de las variables detalladas en las tablas 9 y 10 es posible obtener una estimación de la concentración de los efluentes de las piscícolas con el volumen total de agua que es utilizada en un año. Los estimados obtenidos se aprecian en la Tabla 11 y Tabla 12.

Tabla 11. Concentraciones estimadas en miligramos por litros para cada variable en las piscícolas de acuerdo al modelo de Papatryphon.

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

Tabla 12. Concentraciones en efluente que se obtienen de los resultados del modelo de Roque.

	Roque (2008)					
	N sólido(mg/l)	N disuelto(mg/l)	N. Total(mg/l)	P Sólido(mg/l)	P Disuelto(mg/l)	P Total(mg/l)
Piscicola 1	0,037	0,148	0,185	0,014	0,013	0,027
Piscicola 2	0,091	0,367	0,458	0,036	0,031	0,067

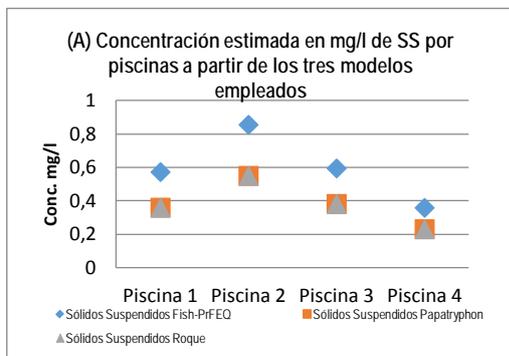
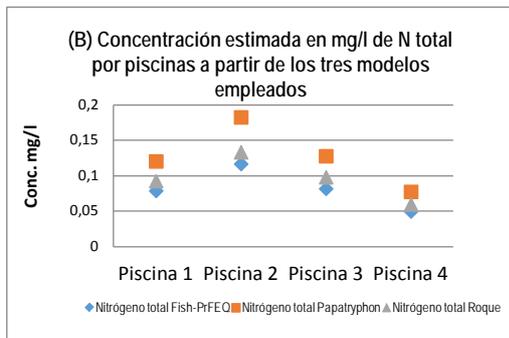
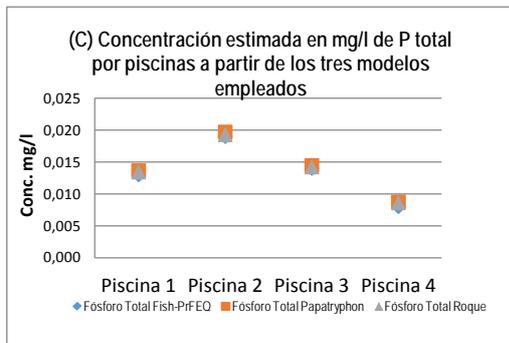


Figura 3. Concentraciones estimadas de SS (A), N total (B) y P total (C) de las piscinas de EPAI por el modelo Fish-prFEQ, Papatryphon y Roque.

Piscicola 3	0,120	0,465	0,585	0,047	0,038	0,085
Piscicola 4	0,027	0,107	0,134	0,011	0,009	0,020
Piscicola 5	0,011	0,043	0,054	0,004	0,003	0,008
Piscicola 6	0,098	0,379	0,477	0,038	0,031	0,069
Piscicola 7	0,150	0,604	0,755	0,059	0,051	0,110
Piscicola 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 13.

Tabla 13. 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	114,22	23,79	5,75	32,15	37,90	2,26	1,95	4,20

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 m³/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 14.

Tabla 14. Concentraciones estimadas de SS, N total y P total descargado al cuerpo receptor por todas las piscícolas, de acuerdo al caudal estimado de 5 m³/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	0,02915	0,00607	0,00147	0,00821	0,00967	0,00058	0,00050	0,00107

Discusión

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.

A pesar del descenso que se registró en la campaña de campo los valores de oxígeno 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 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.

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. Los parámetros de calidad de agua obtenidos a lo largo del cuerpo de agua receptor se mantienen constantes a lo largo de las estaciones establecidas, sin poder visualizar una fuente puntual de contaminación

Para la estimación de SS, NT y PT para las cuatro piscinas de la EPAI se emplearon tres modelos, descritos cronológicamente en este estudio. Para el primer modelo se empleó la versión del año 1998 del programa computacional Fish-prFEQ. 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 cúbico. 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 mg/l 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, esto debido a que se ha asumido un valor de cero para estimar la concentración que se obtendría solamente debido a la acuicultura.

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 (Azevedo 2010).

Un estudio previo se realizó en el Ecuador basado en el balance de masa nutricional para determinar la contribución de la concentración final de N total y Fosforo total en el cultivo de camarón (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 sistemas 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), estrategia que permite 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.

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 regulación ambiental del Ecuador para 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, constituyen una herramienta práctica y sencilla para ser aplicada en la gestión de la acuicultura para la sustentabilidad de la actividad y del medio ambiente.

Referencias

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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..

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] ETAPA CUENCA 2008 Sistema de Información Ambiental. Mapa de áreas críticas Cuenca del Río Tomebamba Escala 1: 100 000.

[11] 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.

[12] I.G.M. Carta topográfica Cuenca. Serie J721. Hoja F4 3785 III. 3ra ed. Escala 1: 50.000.

[13] 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

[14] LIÑAN W. 2007 Crianza de Truchas. 1 ed. Perú, Empresa Editora Macro EIRL.p. 27.

[15] 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^o2 pp. 161-174.

[16] 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.

- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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
- [20] SINDILARIU P 2009 Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. Ed. Sciences. Aquatic. Living Resources 22, pp. 93-103.
- [21] 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.