

Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú

Pollution produced by intensive fish farming in Andean lagoons, Junín, Peru

Mauro Mariano¹, Pedro Huaman¹, Egma Mayta¹, Haydee Montoya² y Magda Chanco²

¹ Laboratorio de Fauna Dulceacuicola, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Apartado postal 110058, Lima 11, Perú.
Email Mauro Mariano: mauroeg2002@yahoo.es

² Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Trabajo presentado a la XVIII Reunión Científica del Instituto de Investigaciones en Ciencias Biológicas Antonio Raimondi, "200 años del nacimiento de Charles Darwin y el 150 aniversario de la publicación de On the Origin of Species by Means of Natural Selection". Del 19 al 21 de agosto de 2009.

Publicado impreso: 20/10/2010
Publicado online: 29/09/2010

Resumen

Se reportan los cambios producidos por el cultivo intensivo de la trucha *Oncorhynchus mykiss* en siete lagunas andinas. Las observaciones se realizaron en el año 1996, y entre el 2002 - 2007 y permitieron observar el proceso de deterioro de las lagunas, caracterizado por el incremento en las concentraciones de fósforo total y la disminución del oxígeno disuelto y la transparencia. La comunidad béntica fue evaluada en las siete lagunas en el 2007, resultando el número de especies y los índices de diversidad bajos ($H' < 1,26$; < 8 spp.). La abundancia varió entre 7 y 35 ind./0,04m². La materia orgánica y carbonatos en fondo fueron altos (30,22 - 42,45%).

Palabras clave: contaminación, lagunas andinas, cultivo de truchas, especies introducidas.

Abstract

We report the changes produced by intensive farming of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in seven Andean lagoons. The observations were made in 1996 and between 2002-2007 and allowed to observe the deterioration of the lakes, characterized by the increase in total phosphorus concentrations and decreased dissolved oxygen and transparency. The benthic community was evaluated in seven lakes in 2007, resulting low number of species and diversity indices ($H' < 1,26$; < 8 spp.). The abundance ranged from 7 to 35 ind./0,04 m². Organic matter and carbonates were high in the bottom (from 30,22 to 42,45%).

Keywords: contamination, Andean lagoon, trout culture, alien species.

Introducción

Las lagunas altoandinas son un rasgo fisiográfico muy importante de la región Junín, en ellas se desarrollan diferentes actividades económicas. Algunas de ellas se han visto afectadas como consecuencia de los cultivos intensivos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) que en ellas se realizan.

Las lagunas Tranca Grande, Cucancocha, Ayhuin, Pomacocha, Tipicocha, Habascocha y Huascacocha, localizados entre las vertientes orientales de la cuenca alta del Perene y occidentales de la cuenca del Mantaro, tuvieron un impacto humano moderado hasta hace unos años; sin embargo desde 1996 se inició el cultivo de trucha en jaulas flotantes, y engordadas con alimentos balanceados peletizados los cuales sumados a los desechos fecales constituyen un importante aporte de materia orgánica al ecosistema de las lagunas.

Cornell & Whoriskey (1993) y Buschmann (2001) reportaron casos de contaminación de lagos donde se cultivaban salmones y truchas arco iris en sistemas de jaulas y que resultaron en la eutrofización del ecosistema y el fracaso de la empresa.

En el presente trabajo se describe el deterioro observado desde 1995 al 2007 en siete lagunas andinas donde se realiza cultivo intensivo de trucha

Áreas de estudio

Siete lagunas andinas fueron estudiadas desde 1996 hasta el 2007. Las lagunas se sitúan en el departamento de Junín, en los Andes Centrales del Perú, en la cuenca alta del Perene (Tranca Grande, Habascocha, Pomacocha, Tipicocha, Huascacocha) y del Mantaro (Cucancocha y Ayhuin). Alrededor de ellas se desarrolla una ganadería extensiva (ovino, vacuno y auquénido). Con escasa vegetación natural tanto en áreas alejadas de las lagunas como alrededor de éstas. (Fig. 1; Tabla 1)

Todas las lagunas están ubicadas entre 4310 y 4330 m de altitud; el clima presenta dos periodos: lluvioso (octubre-abril),

en el que alcanzan el máximo nivel y periodo seco (mayo - setiembre) (SEDAPAL, 1999). La precipitación anual oscila entre 80 y 110 mm anuales, la temperatura varía desde los -2 hasta 16 °C. La temperatura de las lagunas varía entre 10 y 12 °C, las profundidades son mayores de 10 m, turbidez baja y buena

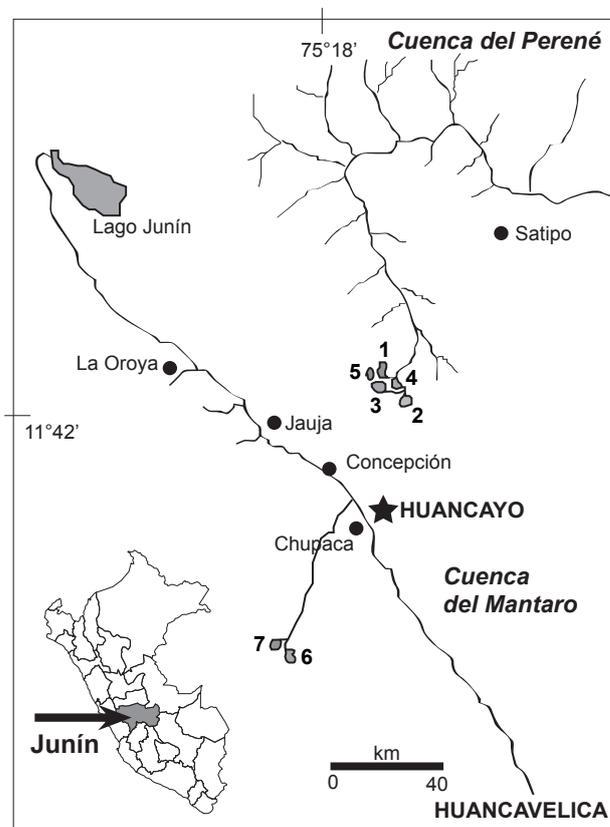


Figura 1. Ubicación de las cuencas del Perene y Mantaro mostrando las lagunas estudiadas: 1) Tranca Grande, 2) Habascocha, 3) Pomacocha, 4) Tipicocha, 5) Huascacocha, 6) Cucancocha y 7) Ayhuin.

Tabla 1. Principales características morfométricas de las lagunas altoandinas estudiadas, en Junín, Perú.

Lagunas	Posición geográfica		Altitud (m)	Área de la laguna (ha)	Profundidad media (m)	Desarrollo de línea de costa
Tranca grande	11°46'57S	75°14'42W	4 320	164	25	2,28
Habascocha	11°47'26S	75°13'42W	4 330	80	12	1,30
Pomacocha	11°44'50S	75°13'40W	4 310	120	9	1,40
Huascacocha	11°43'45S	75°13'44W	4 330	110	11	1,60
Tipicocha	11°43'40S	75°15'08W	4 320	90	10	1,45
Cucancocha	12°08'19S	75°36'37W	4 320	110	15	2,05
Ayhuin	12°06'39S	75°38'01W	4 320	105	15	1,78

oxigenación, son lagunas polimícticas y su volumen y extensión variables. En todas las lagunas se observó la presencia de parches de macrofitas en la zona litoral y un sedimento arenoso. Se registraron peces nativos en varios muestreos; por ejemplo *Orestias agassii* estuvo presente en las lagunas de Tranca Grande, Cucancocha y Ayhuin.

El cultivo en jaulas fue iniciado en Tranca Grande en el año 1995, y en las otras seis lagunas en 1996. Todas las lagunas en estudio son administradas por particulares, excepto Tranca Grande que lo es por la Dirección Regional de Producción (DIREPRO). Las jaulas tienen volúmenes entre 56 m³ (para alevines y juveniles) y de 87,5 m³ (engorde), se ubican en la zona pelágica, con 6 a 20 m aproximadamente entre el fondo y la jaula. Están construidas con palos de eucaliptos o caña de Guayaquil, red-bolsa, mallas de nylon y cilindros de aluminio o plástico. El nivel de producción es de 10 a 20 Tm/año. La conversión alimenticia de 1,3:1; el tiempo de crianza en la laguna para ser comercializado de diez meses promedio.

Las condiciones de cultivo para la fase de producción de engorde fueron: densidades de siembra (alevinaje) de 126 kg/m³ (153 truchas/kg de 8 cm), de 10 a 12 °C de temperatura del agua, 40 a 80 ppm de dureza, con valores mínimos de 7 mg/L de oxígeno disuelto y pH de 7 a 8. Las tallas comerciales se lograron a los 10 meses de cultivo con 250 g, observándose supervivencia de 90 a 95% y una tasa de conversión alimenticia de 1,4.

Material y métodos

Se realizaron colectas de agua para determinar fósforo total, oxígeno disuelto, transparencia, y de sedimento para determinar el tamaño de grano, en febrero, mayo, agosto y octubre; de los años 1996 al 2007; en una estación fija en la zona de mayor profundidad de las lagunas (aproximadamente a 50 m de las jaulas de cultivo).

Las mediciones del fósforo total se realizaron por el método del ácido ascórbico luego de una digestión con persulfato de potasio (APHA 1993). La concentración del oxígeno disuelto con el método de Winkler modificado por Carrit & Carpenter (1966). La transparencia empleando el disco de Secchi. La materia orgánica y los carbonatos se determinaron mediante el método de Dean (1974). El tamaño de partícula del sedimento (µm) se analizó de acuerdo a Krumbein & Pettijohn (1938) calculadas con las ecuaciones obtenidas a partir de la velocidad de asentamiento de Stokes.

El macrobentos y materia orgánica total y carbonatos fueron determinados en las siete lagunas solamente el año 2007. Para la colecta se utilizó una draga Ekman (0,04 m²), con tres replicas por estación; cada replica fue tamizada con mallas 0,5 mm y conservados en formol al 10% en frascos para su posterior de-

terminación taxonómica y análisis cualitativos y cuantitativos (Huamán et al. 2002). Una de las réplicas de sedimento fue utilizada para determinar el tamaño de grano, la materia orgánica y los carbonatos.

Los recuentos de organismos fueron realizados bajo microscopio estereoscopio en el laboratorio. Los valores de abundancia del macrobentos fueron expresados en individuos/0,04 m²

Los índices de diversidad H' de Shannon, equitabilidad J' de Pielou, el índice de Margalef para la riqueza de especies y el índice de dominancia de Berger-Parker fueron calculados según Magurran (1988).

El análisis de agrupamiento se realizó a partir de la matriz de abundancia de macrobentos y utilizando la distancia Euclidiana y el algoritmo UPGMA.

Resultados y discusión

Las concentraciones del fósforo total se incrementaron desde 1996 al 2007; en el mismo periodo, el oxígeno disuelto y la transparencia disminuyeron en todas las lagunas. Los rangos de variación fueron los siguientes: fósforo total de 1 – 152 µg/L, oxígeno disuelto en el fondo de 0,7 – 8 mg/L y la transparencia de 0,4 – 7,4 m (Tabla 2).

Durante el periodo de estudio, el tamaño de grano disminuyó de 960 µm, en 1996, a menor de 62 µm (cieno) en el 2007 (Tabla 2). El cieno fue de coloración blanca y desprendía un fuerte olor a ácido sulfhídrico.

En las lagunas Habascocha, Pomacocha, Huascacocha y Tipicocha la materia orgánica total y los carbonatos en el sedimento se fueron 42,45 y 37,63% respectivamente. En las lagunas Tranca grande, Cucancocha y Ayhuin tuvieron porcentajes menores, la materia orgánica fue 30,22 y los carbonatos 26,20%.

La macrofauna estuvo conformada por diez especies: *Dugesia* sp. (Turbellaria); *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus* sp. (Oligochaeta); *Hellobdella* sp. (Hirudinea); Insecta (*Chironomus* sp., Ephemeroptera, Trichoptera); *Hyaella* sp. (Amphipoda) y *Physa venustula* (Gastropoda); *Sphaerium* sp. (Bivalvia); tolerantes al enriquecimiento orgánico y concentraciones bajas de oxígeno, a excepción de los Amphipoda y los insectos con larvas tubícolas.

El número de individuos por laguna varió entre 7 y 35, y se observó las mayores abundancias en las lagunas Tranca grande, Cucancocha y Ayhuin al igual que el número de especies (7 a 8) y la diversidad (H') (1,22 a 1,26) (Tabla 3).

El análisis de agrupamiento de las lagunas acuícolas (Fig. 2) permite diferenciar dos grupos, de condiciones de mesotrofia y eutrofia. El primer grupo estuvo formado por las lagunas Tranca Grande, Cucancocha y Ayhuin, las cuales se encuentran en

Tabla 2. Valores promedios (febrero, mayo, agosto y octubre) para diferentes parámetros limnológicos en las lagunas altoandinas con cultivo intensivo de trucha, Junín, Perú, entre el año 1996 y el 2007.

	Fósforo total ($\mu\text{g/L}$)						
	1996	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Tranca Grande	6	30	30	28	28	25	25
Habascocha	26	32	88	98	110	128	140
Pomacocha	12	32	86	98	110	126	136
Huascacocha	12	30	86	96	108	110	120
Tipicocha	26	140	143	143	148	152	152
Cucancocha	1	10	12	18	25	28	28
Ayhuin	1	10	14	20	28	28	28

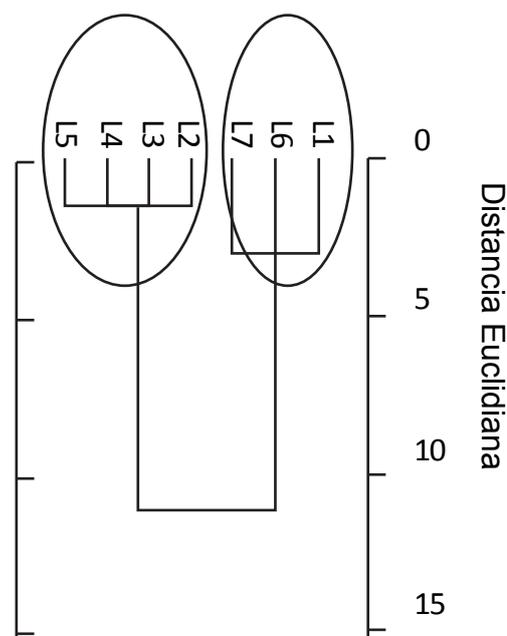
	Oxígeno disuelto (mg/L)						
	1996	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Tranca Grande	4,8	4,5	4,3	4,0	2,1	0,9	0,9
Habascocha	7,0	1,2	1,0	1,0	0,9	0,7	0,7
Pomacocha	8,0	1,8	1,0	1,0	0,9	0,7	0,8
Huascacocha	4,8	2,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,7
Tipicocha	3,0	2,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,9
Cucancocha	6,9	4,9	4,3	4,0	2,1	2,1	1,6
Ayhuin	6,9	4,9	4,3	4,0	2,1	2,1	1,6

	Transparencia (m)						
	1996	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Tranca Grande	7,4	5,6	4,7	4,6	4,8	4,4	4,4
Habascocha	3,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Pomacocha	4,1	1,1	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Huascacocha	3,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Tipicocha	3,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
Cucancocha	7,0	5,5	4,8	4,6	4,8	4,2	3,8
Ayhuin	6,8	5,8	5,0	4,6	4,8	4,0	3,4

	Tamaño de grano (μm)						
	1996	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Tranca Grande	960	100	90	80	76	<62	<62
Habascocha	600	100	90	80	76	<62	<62
Pomacocha	650	100	90	80	76	<62	<62
Huascacocha	550	100	90	80	76	<62	<62
Tipicocha	300	100	90	80	76	<62	<62
Cucancocha	-	1050	900	560	110	<62	<62
Ayhuin	-	1050	900	450	120	<62	<62

Tabla 6. Características del macrobentos en las lagunas altoandinas con cultivo intensivo de trucha, Junín, Perú, año 2007. Índice de riqueza de especies de Margalef, Índice de diversidad de Shannon (H'), índice de dominancia de Berger-Parker y equitabilidad (J') de Pielou.

Lagunas	Spp/0,04m ²	Ind/0,04m ²	Riqueza de spp.	Diversidad (H')	Dominancia	Equitabilidad (J')
Tranca Grande	7	35	1,42	1,22	0,94	0,44
Habascocha	2	7	0,22	0,00	0,62	0,00
Tipicocha	2	15	0,12	0,01	0,37	0,43
Huascacocha	2	20	0,00	0,2	0,36	0,00
Pomacocha	1	10	0,14	0,00	0,40	0,20
Cucancocha	8	28	1,52	1,24	0,82	0,48
Ayhuin	8	32	1,84	1,26	0,92	0,52

**Figura 5.** Dendrograma correspondiente al análisis de agrupamiento, de las lagunas altoandinas, Junín, Perú. Realizado con una matriz de densidades de macrobentos, distancia Euclidiana y UPGMA. (1) Tranca grande, (2) Habascocha, (3) Tipicocha, (4) Huascacocha, (5) Pomacocha, (6) Cucancocha y (7) Ayhuin.

condiciones de mesotrofia y con profundidades mayores de 15 m. El segundo grupo estuvo formado las Lagunas Habascocha, Tipicocha, Huascacocha y Pomacocha, las cuales se encuentran en condiciones de eutrofia y profundidades menores de 15 m.

Un problema importante en lagos y lagunas de alta montaña tropical, es el reciclado de la materia orgánica en los sedimentos (Dejoux & Iltis 1991). En lagos andinos, con temperatura media de 11 °C, el reciclaje se procesa de manera mucha más lenta que en otros lagos tropicales. Callisto & Esteves (1996) y Claude & Oporto (2000) mencionan que en los lagos tropicales existe una rápida descomposición de la materia orgánica por las altas temperaturas de sus aguas (>20 °C), favorecidas por la turbulencia, sus cubetas pocas profundas, además, que la mayor parte de la materia orgánica es degradada en la columna de agua antes de alcanzar el sedimento.

La piscicultura intensiva puede tener un impacto negativo sobre el ecosistema lagunar, entre otras cosas por la acumulación de materia orgánica sobre los fondos, proveniente de las excretas, materia orgánica muerta y la fracción de alimento no consumido (Buschmann, 2001). El aumento de materia orgánica en los fondos produce hipoxia y anoxia que conlleva a la disminución de la diversidad de las especies bentónicas y la predominancia de otras más tolerantes (Cornell & Whoriskey 1993).

En el caso del cultivo de salmones, alrededor de un 75% del nitrógeno, fósforo y carbono que ingresa al sistema como alimento, se pierde como alimento no ingerido, fecas y otros productos de excreción. Solo un 25% se convierte en carne para comercio. El fósforo se acumula principalmente en los sedimentos que se encuentran bajo las jaulas de cultivo, por lo que resulta un buen indicador de contaminación (Buschmann & Fortt 2005).

El tamaño de grano menor de 62 μm del sedimento, encontrado en el presente estudio, guarda relación con el tamaño

fino del alimento balanceado tipo peletizado. Tacon & Cruz (1998), Kiang (1999) y Buschmann (2001) reportan la acumulación en los sedimentos bajo jaulas de cultivo intensivo, la presencia de los alimentos balanceados peletizados, atribuyendo sus características de rápido hundimiento, poca compactación y menor digestibilidad, representando un riesgo importante en el desarrollo de la acuicultura.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la UNMSM (proyectos CSI 961001201, 021001201, 031001045, 051001121, 061001041, 071001081). Igualmente nuestro agradecimiento a los Biólogos: Víctor Manuel Ruez Oyola, Manuel Bedriñana Sosa, Milagros Ponce, Martín Silvera Solís, Andrés Mendoza, de la Dirección Regional de Producción, Junín, por la asistencia en campo. Al Dr. Enrique Vinatea Jaramillo por su invaluable colaboración en los trabajos de campo. Agradecemos a la Dirección Regional de Producción de Junín, por el préstamo de la embarcación y del transporte para los trabajos de campo.

Literatura citada

- APHA, AWWA, WPCF. 1993. Métodos Normalizados para el análisis de agua potables y residuales. 17a ed. Ediciones Díaz de Santos S.A. 1-1 a 10-220 pp
- Buschmann A.H. 2001. Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el Mundo. Registro de Problemas Públicos N°4. Terram Publicaciones. 67 pp.
- Buschmann A.H. & A. Fortt. 2005. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Revista Ambiente y Desarrollo* 21(3): 58-64.
- Callisto M. & F. A. Esteves. 1996. Composição granulométrica do sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural. *Acta Limnológica Brasiliensia* 8: 115-126.
- Carrit D. & J. Carpenter. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water. *J. Mar. Res.*, 24:286-318.
- Claude M. & J. Oporto. 2000. *Salmonicultura en Chile: Aspectos Sociales, economicos y ambientales*. Colección Sin norte. Lom Ediciones. 72 pp
- Cornell G.E. & F.G. Whoriskey. 1993. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture* 109: 101-117.
- Dean W.C. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments by on ignition: comparison with other methods. *Jour. Sed. Petrology* 44: 242-248.
- Dejoux C. & A. Iltis. 1991. El Lago Titicaca. Síntesis del Conocimiento Limnológico. Actual ORSTM Imp. Talleres Gráficos Hisbol. La Paz- Bolivia. 578 pp.
- Hansen P.V., A.D. Ervick, F.H. Schaanming, et al. 2001. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. The concept of the Mom System (modeling On-growing fish form-Monitoring). *Acuaculture* 194:75-92.
- Huaman M.P., M.G. Mariano, M.E. Chanco, et al. 2002. Estructura del macrobentos de la laguna de Paca, Junín. *Rev peru biol.* 9(1):29-38.
- Kiang J.K. 1999. The principles of extruding fishfeeds, *Feed Tech* 3(6): 48-49.
- Krumbein W.C. & F.J. Pettijohn. 1938. *Manual of sedimentary petrography*. 91-181.
- Magurran A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*, Taylor & Francis. 198 pp.
- Ministerio de Pesquería. 1997. *Pesca y Medio Ambiente en el Titicaca. Manual de Capacitación*. Proyecto Padespa. Edic. MMD.
- Phillips M.J., M.C.M. Beveridge & L.G. Ross. 1985. The environmental impact of salmonid cage culture on inland fisheries: present status and future trends. *Journal of Fish Biology* 27(sa): 123-137.
- SEDAPAL. 1999. *El País de las lagunas. Historia y Ecología de la Puna de Junín*. Sedapal. Taller Gráfica Biblios. Lima, Perú.
- Tacon, A., E. Cruz. 1999. *Gestión de la Acuicultura "Alimentación y Nutrición"*. En: *Acuicultura Sostenible: Desarrollo y Comercio*. Lima, Perú, 9-11 Junio, 1999. 36pp.