

Piscicultura. Una alternativa productiva y educativa para la rehabilitación de ambientes postexplotación minera. Batán, General Pueyrredón, Buenos Aires, Argentina

Juan C. Mallo^{*,**Δ}, Damián L. Castellini^{*}, Nahuel A. Zanazzi^{*}, María Fernández-Subiela^{*}, Enzo Tranier^{*}, Angelina Gorosito^{*} y María I. Prario^{*}

Se describe la aplicación de la piscicultura como una alternativa de recuperación ambiental productiva-educativa, postexplotación minera de áridos. Se seleccionó la cantera Paso de Piedra ubicada en la ciudad de Batán (Partido de General Pueyrredón) para sembrar a los peces. En primera instancia se realizó un estudio de base de las características físico-químicas del cuerpo de agua, midiendo *in situ* de enero 2012 a enero 2013, quincenalmente y a diferentes profundidades el oxígeno disuelto, la temperatura, el pH, la turbidez y la conductividad. En el mismo periodo se determinó cada mes la presencia y la abundancia de fitoplancton y zooplancton que permitió determinar su calidad y su productividad. Para determinar la presencia y la abundancia de nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, carbonatos y de materia orgánica particulada, se tomaron muestras de agua, también mensualmente. Después, se procedió al sembrado de ejemplares de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) de 28.7 ± 5.0 g, en un cultivo semi-intensivo utilizando jaulas flotantes en la zona más profunda del cuerpo de agua. Los resultados de su crecimiento en peso (210 g de ganancia promedio en peso) y de sobrevivencia (81.5%) obtenidos a lo largo de 220 días de engorda, demostraron que es factible esta actividad en estos ambientes antrópicos. Se considera que esta experiencia puede trasladarse a ambientes modificados por el hombre con características similares a las del sudeste bonaerense.

Palabras clave: Piscicultura, minería de áridos, rehabilitación, ambiente antrópico.

Fish farming. A productive and educational alternative for the rehabilitation of post-mining environments. Batan, General Pueyrredon, Buenos Aires, Argentina

Fish farming is described as a productive alternative environmental-educational recovery, post-mining of aggregates. The quarry of Paso de Piedra was selected to produce fish in the quarry Paso de Piedra, located in the city of Batan (General Pueyrredon). Prior to the fish introduction, a baseline study of the physico-chemical characteristics of the water body was done; measuring twice a month and at different depths *in situ* dissolved oxygen, temperature, pH, turbidity and conductivity, from January 2012 to January 2013. During this time, presence and abundance of phytoplankton and zooplankton was studied, to determine water quality and productivity. To determine the presence and abundance of nitrates, nitrites, ammonia, phosphates, carbonates and particulated organic matter, water samples were taken monthly. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) specimens of 28.7 ± 5.0 g were introduced in a semi-intensive farming using floating cages in the deepest part of the water body. The weight growth results (210 g average gain in weight) and survival (81.5%) obtained over 220 days of fish farming showed that this activity is feasible in these anthropic environments. This experience can be transferred to other anthropogenic environments with similar southeastern characteristics of Buenos Aires.

Key words: Fish farming, aggregate mining, rehabilitation, anthropic environment.

* Unidad Académica Mar del Plata. Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Argentina. ^Δ juancmallo@gmail.com, jcmallo@mdp.utn.edu.ar

** Comisión de Investigaciones Científicas PCIA. Bs.As. (CIC). Argentina.

Introducción

La actividad minera de áridos (orto-cuarcitas de la Formación Balcarce) se ha desarrollado en el Partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires, República Argentina, principalmente en las zonas de Estación Chapadmalal y Batán, donde tienen asiento desde hace varias décadas, las principales canteras y plantas de trituración de la provincia (Fig. 1a). En algunas de las canteras desarrolladas en este sector desde mediados del siglo XX, se han formado charcas antrópicas como un rasgo distintivo del afloramiento del acuífero freático y de las precipitaciones pluviales en las labores topográficamente más bajas. La ocurrencia de este hecho incluso ha ocasionado que algunas empresas del sector cancelen la explotación de esos yacimientos (Del Río *et al.* 2004).

El aporte freático, junto con el pluvial, confinan aguas en las partes más bajas de los huecos resultantes de la explotación minera, que no tienen posibilidad de fluir ni de infiltrar, por lo que se forman “charcas” que dan paso al inicio de un proceso de sucesión ecológica secundaria y que conducen a una transformación del ecosistema terrestre original a un conjunto de ecosistemas diversos: bañados, lagunas (de variada profundidad) y humedales, entre otros (Del Río *et al.* 2009¹). Estos neo-ecosistemas constituyen una característica ambiental y paisajística típica en el área intervenida (De Marco *et al.* 2008², 2012). A su vez, los datos hidrometeorológicos establecen la zona como subhúmeda-húmeda, mesotermal sin deficiencia de agua; su régimen pluvial regular es el orden de $800 \text{ mm} \cdot \text{año}^{-1}$, siendo los meses de verano los más lluviosos (Kruse 1986).

Los cuerpos de agua que se utilizan para desarrollar la acuicultura deben presentar determinadas características que los hacen aptos

para esta actividad, por lo que previamente a la elección de la especie que se desee cultivar debe realizarse una serie de estudios de base: de la calidad y la cantidad de agua con que se dispone. Este estudio consiste en determinar las características del cuerpo de agua, principalmente en lo referente a los parámetros físicos, químicos, bioecológicos y biológicos, entre otros. La acuicultura surge como una alternativa de rehabilitación económica y ambiental en estos ambientes, evitando que los sitios explotados se transformen en ambientes degradados y considerados pasivos postexplotación minera, alcanzando incluso alta valoración tanto paisajística como productivamente (Mallo *et al.* 2010). Con respecto a posibles fuentes de contaminación por la actividad extractiva de roca, se mencionan los residuos de pólvora utilizados para las voladuras, que dejan en el ambiente gases poco solubles en el agua, como el óxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, que no representan un riesgo en las cantidades utilizadas para las maniobras en este tipo de canteras, además de que ya han pasado cerca de 50 años del cese de la actividad minera en ésta (Industria Minera 2014). Las rocas aflorantes son ortocuarcitas y caolinitas pertenecientes a la formación Balcarce (Rodríguez *et al.* 2008).

En este estudio se describe la aplicación de la piscicultura como una alternativa de recuperación ambiental productiva-educativa en un ambiente postexplotación minera de áridos, para lo que se seleccionó la cantera Paso de Piedra de la ciudad de Batán, Partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires (Fig. 1b).

Materiales y métodos

Se seleccionó el cuerpo de agua de la cantera Paso de Piedra (Fig. 2) como resultado de un estudio de la calidad del agua con un multisensor paramétrico marca Horiba U10 con el que se tomaron cada quincena, de enero de 2012 a enero de 2013, los datos fisicoquímicos *in situ* de oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura, transparencia, etc., tanto superficialmente como a diferentes profundidades.

Cada mes se tomaron muestras de agua para poder determinar los valores de nutrientes a lo largo del periodo antes mencionado, que el

1. DEL RÍO JL, SG De Marco y M Osterrieth. 2009. Naturalidad, amenidad y minería: compatibilidades y conflictos. Partido de General Pueyrredón (Buenos Aires, Argentina). *II Congreso Nacional de Áridos*, pp: 497-500.
2. DE MARCO SG, MJ Bó, M Camino, A López de Armentia, JC Mallo, S Bazzini y JL del Río. 2008. Transformación de pasivos ambientales en ecosistemas acuáticos de alta naturalidad: Canteras inundadas del partido de General Pueyrredón. *I Congreso Argentino de Áridos*. Tomo I: 93-100.

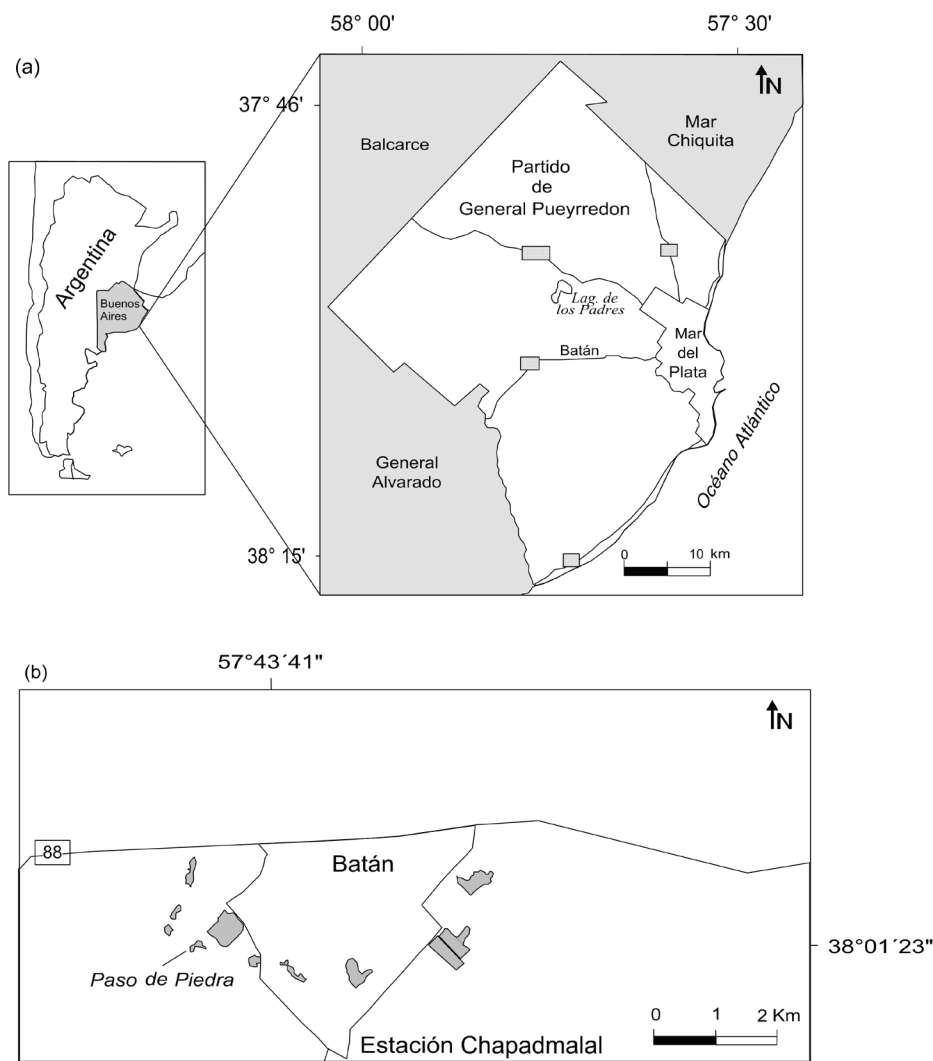


Fig. 1. a) Ubicación del Partido de General Pueyrredón, b) Ubicación de la cantera Paso de Piedra, Argentina.

Laboratorio de Análisis Industriales de la Unidad Académica Mar del Plata (UTN) analizó con la metodología correspondiente.

Los ejemplares juveniles de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) sembrados, fueron provistos por la Estación Hidrobiológica de Necochea (según convenio con la Unidad Académica Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional). Se transportaron por vía terrestre, acondicionados en un tanque de fibra de vidrio de 1 000 litros con aireación continua hasta la cantera Paso de Piedra (Batán), donde se realizó la aclimatación correspondiente y su posterior siembra.

Se sembraron 800 crías en cuatro contenedores flotantes en el cuerpo de agua de dicha

cantera el 7 de mayo de 2012 (200 ejemplares en cada uno), con 12.64 ± 1.3 cm de talla promedio y 28.70 ± 5.0 g de peso promedio.

Se realizó un seguimiento mensual para observar crecimiento en talla (largo total y largo estándar), con un ictiómetro con precisión de 1 mm. Para observar su crecimiento en peso se utilizó una balanza digital con precisión de 0.1 g EK4150 para calcular la biomasa de cada jaula. En cada muestreo mensual se capturaron al azar 30 individuos por jaula y se les anestesió con una solución acuosa de benzocaína (1:10 000), previamente a esto se les sometió a ayuno de 24 horas.

Las variables biológicas calculadas fueron la tasa de crecimiento específico (SGR) y el factor de conversión alimentaria (FCA):



Fig. 2. Contenedores flotantes de engorda de peces en la Cantera Paso de Piedra, Argentina.

$SGR = [(\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})) / \text{días}] \cdot 100$
 $FCA = (\text{alimento entregado}) / (\text{ganancia de peso vivo})$

Se utilizó alimento balanceado comercial con índice de proteína bruta de 42% del que se suministró todos los días muy temprano por la mañana y a última hora de la tarde, una ración que se calculó según el trabajo Phillips *et al.* (1963) y que varió a lo largo del periodo de engorda de 10% a 2% de la biomasa de peces en cada jaula, según sus recomendaciones.

El sistema de engorda consistió en cuatro contenedores o jaulas flotantes cuadradas con una dimensión de 3x3 m y 3 m de profundidad con una malla de 1 cm de abertura y provistas de muertos en el fondo. Se ubicaron en la zona más profunda de la cantera (Mallo *et al.* 2012³) (Fig. 2).

Los peces se engordaron por un periodo de 220 días (de mayo a diciembre 2012), hasta que alcanzaron un peso promedio final de 230 g; se cosecharon en su totalidad para luego ser faenados o procesados.

Los datos del peso de los individuos del muestreo final se analizaron con el paquete estadístico Minitab 16; se compararon las distintas jaulas a partir de la prueba de ANDEVA, para evaluar si hubo alguna diferencia en la ganancia final de peso (Sokal y Rohlf 1995).

Resultados

Análisis físico-químicos del cuerpo de agua

Los datos obtenidos *in situ* con el multisensor HORIBA U10 durante la engorda, fueron los siguientes: oxígeno disuelto superficial entre 5.7 mg · l⁻¹ y 9.0 mg · l⁻¹, pH entre 7.85 y 9.99, temperatura ambiente entre 9.5 °C y 24.8 °C, temperatura superficial del agua entre 7.5 °C y 24.5 °C y una turbidez de 55 cm a 238 cm. Los valores promedio de los nutrientes registrados (nitratos, nitritos, amonio no ionizado, nitrógeno total,

3. MALLO JC, J Leggiero y MI Prario. 2012. Relación universidad-empresa en la generación de alternativas de rehabilitación productiva de canteras de áridos mediante acuicultura en el partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires Argentina. *III Congreso Nacional de Áridos*. Área B, pp: 403-409.

fósforo total, clorofila *a* y feopigmentos), de abril a diciembre 2012 y los obtenidos en el trabajo de Bazzini (2012), se presentan en la *tabla 1*.

Tabla 1

Valores promedio de los nutrientes en la Cantera Paso de Piedra en el período de engorda de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (A) y los valores promedio registrados por Bazzini (2012) durante el año 2008 (B)

Parámetros	A	B
	Promedio	Promedio
Nitrógeno total ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	5.28	-
Amonio ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.05	1.60
Nitritos ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.04	0.84
Nitratos ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	1.75	24.76
Fósforo total ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	0.06	0.13
Sólidos totales susp. ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	7.00	5.17
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	6.15	29.16
Feopigmentos ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	1.46	22.98

En la *figura 3* se observa la variación de temperatura y oxígeno disuelto superficial durante los meses de cultivo.

Engorda de truchas

Se cosecharon los ejemplares el 13 de diciembre de 2012; en la *tabla 2* se muestran los resultados por jaula, una vez pasados 220 días de cultivo.

En los muestreos mensuales no se registraron individuos con deformidades ni hubo presencia de parásitos externos ni signos de infecciones bacterianas. Durante la revisión patológica de los animales no se detectaron parásitos intestinales o anomalías en los órganos internos. Para estos análisis se utilizó como referencia a Ronald (1981).

En la *figura 4* se presentan las curvas de crecimiento para cada jaula durante todo el periodo de engorda.

La biomasa de peces cosechada en la totalidad de las jaulas alcanzó 130.70 kg; se procesaron sólo 95.30 kg, pues se dejaron 70 truchas en una jaula para observar su crecimiento y su supervivencia en la época estival. Luego del procesamiento se obtuvieron 37.63 kg de filete. Para calcular el rendimiento se pesaron 15 truchas al azar con un peso total de 3.238 kg, de las cuales se obtuvieron filetes sin piel y sin espinas con un peso total de 1.43 kg, es decir, un rendimiento de 44%. Los filetes fueron acondicionados (eliminación de espinas, recortes, limpieza), foliados en envases plásticos con tapa y sellados para evitar la deshidratación y la merma de calidad. Se congelaron a -15°C .

Se utilizó un total de 120 kg de alimento, lo que dio un factor de conversión menor a uno (FCA = 0.92) y una SGR = $0.96\% \cdot \text{día}^{-1}$.

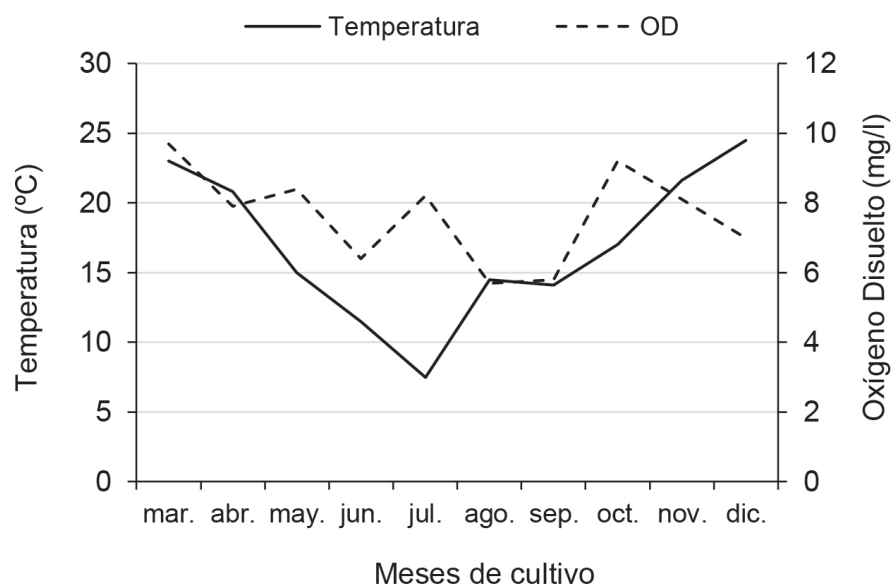


Fig. 3. Variación de la temperatura y OD durante la engorda de peces.

Tabla 2
Resultados finales de engorde de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*

Jaula	Peso promedio (g)	Talla promedio (cm)	Mortalidad (núm: día ⁻¹)	Supervivencia (%)	Ganancia final promedio en peso (g)
1	241.4 ± 20.0	26.8 ± 2.1	0.14	85.0	212.7
2	239.7 ± 24.9	27.5 ± 1.5	0.17	81.5	211.1
3	245.9 ± 30.4	26.8 ± 1.5	0.14	85.0	217.2
4	227.7 ± 30.1	26.2 ± 1.7	0.17	81.0	199.0

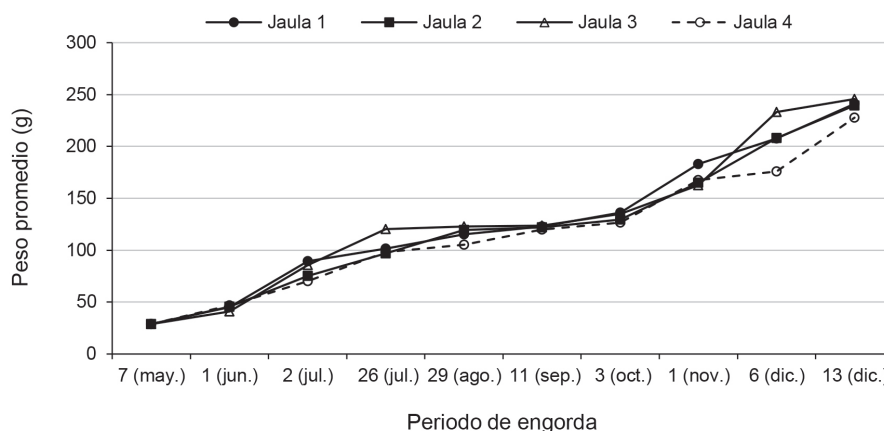


Fig. 4. Curvas de crecimiento en peso de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* en cada jaula a lo largo del tiempo.

El costo⁴ del alimento suministrado durante la engorda fue de \$18/kg; el precio de la trucha entera eviscerada al público en la zona fue de \$80/kg y el de filete de \$150/kg, lo que da como resultado:

Gasto de alimentación: 120 kg · \$18/kg = \$2 160 pesos argentinos.

Gastos faenado y envasado: \$800 pesos argentinos.

Venta: en el caso de que se vendiera la totalidad de lo cosechado, se obtendrían teóricamente 115 kg de trucha entera eviscerada equivalentes a \$9 200 y, en el caso del filete, 57.5 kg. Por tanto, \$8 625 pesos argentinos.

La ganancia es:

Trucha entera eviscerada: \$9 200 (ventas) - \$3 380 (gastos) = \$5 820.

Filete: \$8 625 (ventas) - \$3 380 (gastos) = \$5 245.

Los resultados de la prueba de ANDEVA no muestran que exista una diferencia significativa en las ganancias de peso entre las jaulas, dando un valor $p = 0.095$ con un nivel de significancia de 95 porciento.

Discusión y conclusiones

La explotación minera de áridos se refiere a la extracción de material granulado o grava que se utiliza como materia prima en la construcción.

De acuerdo con los resultados obtenidos respecto a los parámetros físicos-químicos de la cantera, se puede afirmar que no se generó degradación en la calidad del agua. Comparando los valores de nutrientes obtenidos en este trabajo con los de Bazzini (2012), no hubo alteraciones durante el periodo de engorda y están dentro de un intervalo que posiciona a este cuerpo de agua como *bueno* según el Índice Simplificado de Calidad de Aguas (ISQA). La única variable que cambió significativamente fue la turbidez que mostró intervalos amplios: el mínimo registrado

4. En pesos argentinos.

fue de 55 cm en el mes de septiembre, días después de una tormenta que arrastró sedimentos de una loma cercana; en la siguiente medición de octubre se observó una turbidez de 230 cm debido a la decantación de los sedimentos. Con respecto a la temperatura y el oxígeno disuelto, se observa en la *figura 3* que no hubo grandes alteraciones por los aumentos de temperatura, sólo se registraron bajas de oxígeno relacionadas con el aumento de la turbidez resultante de la tormenta mencionada. También al comparar con otros trabajos en cuerpos de agua de la provincia de Buenos Aires con similares características (Quirós 2005, Quirós *et al.* 2005), se observó que las variables no mostraron valores que indiquen que la laguna de la cantera sea un cuerpo eutrófico luego de la cosecha. La biomasa cultivada durante este trabajo no afectó la calidad de la charca. Son necesarios estudios sobre la carga máxima de biomasa cultivable para establecer un margen orientativo para futuros trabajos.

El crecimiento en talla y peso demuestra que al cabo de 220 días una trucha puede llegar a tener el tamaño plato (250 g) y se puede comercializar y consumir. Por otro lado, al comparar las variables biológicas analizadas, con las experiencias realizadas por Morales y Quirós (2007), se encontró un valor de FCA = 0.92, que indica una buena conversión alimenticia, probablemente favorecida por la productividad primaria del cuerpo de agua y una SGR = $0.96\% \cdot \text{día}^{-1}$, que es bajo, pero entra en el intervalo de esta especie.

En lo tocante a la mortalidad, los datos con que se cuenta fueron obtenidos después de una tormenta en septiembre y de un muestreo en noviembre con ejemplares que murieron por el calor y la manipulación para obtener sus datos morfológicos. Se observa en la *figura 4*, que el aumento de peso en las cuatro jaulas fue similar durante todo el proceso de engorda y al final no hubo diferencias significativas entre ellas. Es importante destacar que son escasos los antecedentes publicados respecto a la engorda de trucha arco iris en la provincia de Buenos Aires, entre ellos el trabajo de Zeiss-Caro (2000), que incluye un análisis de los factores ambientales, biológicos y económico de un proyecto para una futura instalación de micro emprendimiento en baja escala, en una zona no tradicional de desarrollo de la piscicultura de salmónidos.

Finalmente, se puede inferir, que los valores de biomasa cosechada (el FCA y el rendimiento en filete), de acuerdo con las condiciones de cría dentro de este sistema artificial que emplea contenedores flotantes y aplica un tipo de cultivo semi-intensivo, son resultados alentadores para futuros emprendimientos en éste y otros ambientes del área del sudeste bonaerense con características similares. El presente trabajo representa una posible alternativa para la reutilización de estos ambientes modificados por el hombre e improductivos. Esto se refleja en los costos de producción y los valores obtenidos para la venta de una cosecha con las características del sistema planteado, que puede generar una ganancia significativa, a la vez que la posibilidad de diversificar las actividades del sector productor local.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado dentro del Convenio de Cooperación Recíproca y de Protocolos específicos suscritos entre la Universidad Tecnológica Nacional de Mar del Plata y la Empresa Canteras Yaraví S.A. Los autores agradecen a la directora de la Unidad Académica Mar del Plata de la UTN, Lic. Juana Bau, al Arq. Javier Leggiero y la Lic. Mónica Ruggero (Canteras Yaraví S.A.) por su buena disposición y el apoyo continuo a esta investigación. Este trabajo fue financiado por el PID UTN 1670 año 2013.

Literatura citada

- BAZZINI S. 2012. Evaluación del estado trófico y la calidad ambiental en humedales del sudeste bonaerense mediante el uso de indicadores. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina. 150p.
- DEL RÍO JL, M Caballé, JC Mallo, ML Osterrieth, E Kirilovsky, N Denisienia, D Muntz, SG de Marco, MJ Bo, V Bernava Laborde, J Martínez Arca, A López de Armentia, N Borreli, M Fernández Honaine y F Álvarez. 2004. Estrategias de recuperación de áreas degradadas por explotaciones mineras a cielo abierto en el partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires: sus posibilidades de restauración,

- reparación o rehabilitación productivas. CIC Proyecto N° 553/04. Centro de Geología de Costas y del Cuaternario. Dirección de Minería de la provincia de Buenos Aires. Argentina. 149p.
- DE MARCO S, M Bazzini, JC Mallo y M Camino. 2012. Charcas y humedales antrópicos en canteras de áridos del sudeste bonaerense. *En: Sustentabilidad de la minería en áreas periurbanas: Una aproximación multidimensional*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, pp: 103-119.
- INDUSTRIA MINERA. 2014. *Manual de buenas prácticas*. Superintendencia de riesgo en el trabajo. Ministerio de Trabajo, empleo y seguridad social. Argentina. 54p.
- KRUSE E. 1986. Aspectos geohidrológicos de la Región Sudoriental de Tandilia - Cuenca de los Aos. Vivorata, Las Brusquitas y El Durazno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41(3-4): 367-374.
- MALLO JC, S De Marco, S Bazzini y JL del Río. 2010. Aquaculture: an alternative option for the rehabilitation of old mine pits in the Pampasian Region, Southeast of Buenos Aires, Argentina. *Mine Water Environmental* 29(4): 285-293.
- MORALES GA y R Quirós. 2007. Desempeño productivo de la trucha arco iris en jaulas bajo diferentes estrategias de alimentación. *Asociación Latinoamericana de Producción Animal* 15(4): 121-129.
- PHILLIPS AM, AV Tunison y GC Balzer. 1963. Trout feeds and feeding. *Fish and Wildlife Service. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife. Circular* 159.
- QUIRÓS R. 2005. *Ecología lagunas de las Pampas. Investigación y Ciencia*. Argentina. 13p.
- QUIRÓS R, MB Boveri, CA Petracchi, AM Rennella, JJ Rosso, A Sosnovsky y HT Von Bernard. 2005. The effects of the Pampa wetlands agriculturization on shallow lakes eutrophication. *En: JG Tundisi, T Matzsumura-Tundisi y C Sidagis-Galli (eds.). Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gestão*. São Carlos, Rede EUTROSUL, PROSUL, pp: 1-16.
- RODRÍGUEZ J, A Sisul, A Tineo y C Torres. 2008. Hidrogeología de Argentina. *Boletín Geológico y Minero* 117(1): 7-23.
- RONALD JR. 1981. *Patología de los peces*. Ed. Mundi Prensa. 372p.
- SOKAL RR y FJ Rohlf. 1995. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd edition. W.H. Freeman, New York. 887p.
- ZEISS-CARO E. 2000. El cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en regiones de llanura y clima templado. El caso de Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista AquaTIC* Núm. 9. Marzo 2010. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?c=79>

Recibido: 14 de abril de 2014.

Aceptado: 30 de septiembre de 2014.