



PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) USANDO EFLUENTE DE PISCIGRANJA DE TRUCHAS
PRODUCTION OF GREEN HYDROPONIC FORAGE OF BARLEY (*Hordeum vulgare*) USING TROUT FARM'S EFFLUENT

Carhuapoma Osnayo, W.¹, Curi Castillo, G.¹, Chávez Araujo, E.R.^{1,2}, Contreras Paco, J.L.*^{1,3}

¹Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería. Ciudad Universitaria de Paturpampa, Huancavelica, Perú.

²Laboratorio de Biotecnología Molecular -Facultad de Ciencias de Ingeniería UNH, Perú

³Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos-Facultad de Ciencias de Ingeniería UNH, Perú.

*correspondencia: joselecpunh123@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo fue determinar el efecto del efluente de pozas de trucha sobre la producción de forraje verde hidropónico de cebada (FVH). Las actividades fueron: La oxidación del amoníaco ($N-NH_4^+$) – en el efluente de las pozas de trucha – hasta nitrato ($N-NO_3^-$) en un biofiltro (nitrificación) y el uso del efluente en la producción de FVH. Se utilizó el diseño completamente al azar con tres tratamientos: 100% de agua del canal de abastecimiento (T0), 50% de efluente del biofiltro más 50% de agua del canal de abastecimiento (T1) y 100% de efluente del biofiltro (T2); con 10 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: tiempo de desarrollo del biofiltro, contenido de $N-NO_3^-$ en el biofiltro completamente desarrollado, porcentaje de proteína y altura de planta los días 4, 8, 12 y 16 de producción; y producción de biomasa del FVH el día 16. El biofiltro instalado para la generación de $N-NO_3^-$ se desarrolló a los 90 días, a un pH medio de 8.23 y una temperatura media de 14.9 °C. El contenido de $N-NO_3^-$ (mg/L) en el efluente del biofiltro fue de 2.2 y en el de las pozas de trucha, 1.2. No se

encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en porcentaje de proteína del FVH, pero se observó un efecto altamente significativo ($P < 0.01$) en la altura de planta los días 4, 8, 12 y 16, asimismo en la producción de biomasa del día 16. Para ambas variables el tratamiento T2 se ubicó en el rango A, el tratamiento T1 en el rango B y el tratamiento T0 en el rango C.

Palabras clave: Biofiltro, nitrificación, biopelícula, forraje verde hidropónico.

ABSTRACT

The objective was to determine the effect of trout farm effluent on the production of green hydroponic forage of barley (GHF). The activities were: oxidation of ammonia (N-NH_4^+) in the trout farm effluent to nitrate of nitrogen (N-NO_3^-) in a biofilter (nitrification), and the use of this effluent in the production of GHF. Design was completely randomized with three treatments: 100% of water from water supply channel (T0), 50% of water from biofilter effluent, plus 50% of water from water supply channel (T1), and 100% of water from biofilter effluent (T2); with 10 replications. Variables assessed were: development time of biofilter; N-NO_3^- content in fully developed biofilter; percentage of protein and plant height on 4th, 8th, 12th, and 16th day production; and biomass production of GHF on 16th day. By the end of the 90th day, the biofilter installed to generate N-NO_3^- was developed at a medium pH of 8.23 and at a medium temperature of 14.9°C. N-NO_3^- content (mg/L) in biofilter effluent was 2.2 while trout farm effluent was 1.2. No significant difference was found in protein percentage of GHF ($P < 0.05$). However, there was a highly significant effect ($P < 0.01$) on plant height the 4th, 8th, 12th, and 16th days, and biomass production on the 16th day. For both variables, treatment T2 was placed in the A range, treatment T1 in B range and treatment T0 in C range.

Key words: Biofilter, nitrification, biofilm, green hydroponic forage

INTRODUCCIÓN

La acuicultura como actividad productiva de carácter intensivo requiere de la utilización de una serie de recursos que, tras su uso o metabolismo, generan residuos con su correspondiente impacto en el medio. La capacidad del medio para absorber esos residuos y disminuir su impacto ambiental marca el límite admisible para el desarrollo de toda actividad (Santiago y Ambrosio, 2006).

La producción de peces, como cualquier otra producción de organismos vivos, trae consigo algunos impactos en el medio ambiente, que incluyen desde liberación de excretas, restos de alimento y medicamentos, hasta “contaminantes genéticos” como ocurre en el caso de algunas especies exóticas como la trucha (especie que no es oriunda del Perú). Comúnmente el suministro de alimento es el principal causante del deterioro de la calidad del agua. El aporte de nutrientes en los estanques no es del todo aprovechado y en el momento de la limpieza de fondos o de la cosecha, se vierte agua con gran cantidad de materia orgánica a los cuerpos de aguas naturales. En los sistemas de producción piscícola en estanques, solamente el 30% de los nutrientes suministrados se transforma en producto, siendo el resto acumulado en los sedimentos o liberado en el efluente que, generalmente, conduce hacia fuentes de agua superficial.

La utilización de vegetación en combinación con sistemas de producción acuícola, actualmente denominada “acuaponía”, puede ser una alternativa de gran utilidad para disminuir la generación de residuos procedentes de la acuicultura, principalmente nutrientes y partículas sólidas en suspensión. Adicionalmente, puede representar una cosecha secundaria mediante la implementación de sistemas integrados, sobresaliendo el alto rendimiento de las plantas como respuesta a la presencia de elevadas concentraciones de nutrientes generados por la descomposición microbiana en los efluentes de la acuicultura (Iturbide, 2008).

El biofiltro, consiste en una caja, tanque o jaula lleno previamente de un sustrato (piedras de 25 mm de tamaño aproximadamente), que posibilite la fijación de las bacterias nitrificantes. Como inóculo para realzar el cultivo se toma sedimento de las pozas de trucha, el cual se traslada al biofiltro.

El "filtro percolador" permite la aplicación del efluente proveniente de las pozas de trucha de manera continua sobre el lecho, a la vez posibilita la circulación del aire a través de los espacios vacíos. El agua se dispersa homogéneamente en la parte superior, dando como resultado una carga hidráulica uniforme en la profundidad del lecho.

El objetivo general del presente trabajo es determinar el efecto de la utilización de efluente de piscigranja como fuente de nutrientes sobre la producción de forraje verde hidropónico (FVH). Los objetivos específicos son: determinar el tiempo de desarrollo del biofiltro, transformar el amoníaco del efluente de piscigranja en nitrato a través de un biofiltro y a continuación evaluar el efecto en la producción de FVH.

MATERIAL Y METODOS.

El experimento fue conducido en la piscigranja de truchas e invernadero del asilo de ancianos “Santa Teresa Jornet”, ubicado en la región Huancavelica, provincia de Huancavelica, distrito de Ascensión (Perú), a una altura de 3716 m.s.n.m., latitud Sur 12° 46’ 48.57’’ y longitud Este 74° 59’ 15.53’.

Para el biofiltro (diseño del filtro percolador) se construyó un recipiente cilíndrico, que no permitiese el paso de la luz, con una medida de 0.16 m de diámetro x 1.90 m de altura. La altura del lecho fue de 1.50 m. El material a usar como lecho fue “piedra chancada” de un tamaño promedio de 45 mm. Las piedras previas a su utilización fueron lavadas, luego desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1%, con el fin de obtener un lecho libre de microorganismos, que no sean los que se necesiten para el proceso de la nitrificación.

El efluente de las pozas de trucha fue rociada sobre el lecho del biofiltro con una tasa de carga hidráulica de 4.7 m³/día.

Como inóculo para la realización del cultivo en el biofiltro (formación de biopelícula) se utilizó la biopelícula adherida a la superficie de las pozas de cultivos de trucha, la cual se colectó en un envase y se trasladó al lecho del biofiltro, distribuyéndose en todo el lecho por acción de la gravedad y la presión del agua. El tiempo de desarrollo del biofiltro se determinó por observación macroscópica de la formación, desarrollo y desprendimiento de la biopelícula sobre un soporte (Capdeville, 1992; citado en Proyecto MELISSA, 2009). Al mismo tiempo cuando el biofiltro estaba desarrollado, se procedió a determinar la cantidad de nitrógeno en forma de nitrato (N-NO₃⁻) con un espectrofotómetro (equipo HACH DR 2800) y el “Método de reducción de cadmio” (Hach Company, 2005).

La producción del FVH comenzó con la determinación del porcentaje de germinación (las semillas procedían de la misma zona de Huancavelica), selección de impurezas, pesado (381g de cebada/bandeja), lavado con hipoclorito de sodio al 1% más agua y el remojo por 24 horas.

Los siguientes pasos fueron: el proceso de germinación en una cámara oscura por 48 horas, luego se paso a la siembra en las bandejas (área de 51.5 cm x 37 cm), manteniéndolas en la oscuridad hasta que emergieran las plántulas (4 días). Después se les ubicó en el área de luz, la instalación de las unidades experimentales fue a una misma altura, los cuales estuvieron ubicadas en 5 filas x 6 columnas (total 30 unidades). Luego se les designó al azar los tratamientos (T₀, T₁ y T₂) que iba tomar cada uno.

El riego fue de 4 a 6 veces por día (cada uno con su respectivo tratamiento), dependiendo del clima, el primer riego fue a las 8:00 am y el último riego fue a las 4:00 pm. Si el clima era muy caluroso, requerirá hasta 6 riegos. La cosecha se realizó a los 16 días de producción después de la emergencia.

Los tratamientos aplicados fueron: T0 (100% de agua de entrada a las pozas de trucha), T1 (50% de efluente del biofiltro y 50% de agua de entrada a las pozas de trucha) y T2 (100% de efluente del biofiltro). El contenido en proteína bruta (N x 6,25) del FVH se determinó por el método de Micro Kjeldahl (AOAC, 1990). Para medir la altura de planta se tomó aleatoriamente una planta de la zona central de cada bandeja, marcándose con un anillo de 0.5 cm de diámetro, y midiéndose con una cinta métrica desde la base del grano hasta la última hoja apical. Estos procedimientos se repitieron los días 4, 8, 12, y 16. La producción de biomasa se determinó el día de la cosecha (día 16).

Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres tratamientos y diez repeticiones. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + T_i + S_{ij}$, donde: Y_{ij} = Variable de la j -ésima observación debido al efecto del i -ésimo tratamiento, μ = Media poblacional, T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento y S_{ij} = Error experimental. Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Las variables estudiadas fueron el contenido en nitrógeno en forma de nitrato ($N-NO_3^-$) en el biofiltro completamente desarrollado, la cantidad de proteína y la altura del FVH en los días 4, 8, 12 y 16 de producción, y la producción de biomasa del FVH el día 16. Todas las variables fueron analizadas con el software estadístico Statistical Analysys System (SAS, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo del biofiltro y producción de nitrato

El tiempo que demoró en desarrollarse el biofiltro fue de 90 días, observándose el día 90 el desprendimiento de las células en la interfase biopelícula/fase líquida, según lo indicado por Capdeville (1992). Además, se comprobó al tacto el recubrimiento total de las muestras extraídas del medio de soporte (piedras chancadas) por una biopelícula de estructura gelatinosa, lo que indica que en el último estadio del proceso de colonización del soporte por parte de las células, éste es cubierto de forma completa u homogénea (Nogueira, 1998; Tijhuis *et al*, 1995; citados en Proyecto MELISSA, 2009). Tras esta etapa, el biofiltro, pasó a una

situación pseudoestacionaria, en la que la velocidad de formación de biomasa o biopelícula era similar a la de desprendimiento (Garrido, 1996; citado en Proyecto MELISSA, 2009).

El biofiltro se desarrolló a un pH medio de 8,23, lo que está en desacuerdo con lo observado por Kubitzka (2006) de que el pH ideal para el desarrollo del biofiltro es de 7-8. Sin embargo, Galli y Miguel (2007) mencionan que los biofiltros pueden desarrollarse en un rango de pH mucho más amplio, de 6 a 9, debido a la adaptación de las poblaciones bacterianas. La temperatura media a la que se desarrolló el biofiltro fue de 14.9 °C.

En el presente trabajo, una vez desarrollado el biofiltro, la cantidad de nitrato presente en su efluente fue de 2.2 mg/l N-NO₃⁻, mayor que la obtenida en el efluente procedente de las pozas de trucha, de 1.2 mg/l N-NO₃⁻. Este aumento de 1 mg/l N-NO₃⁻ en el biofiltro con respecto a la poza de trucha, está de acuerdo con Puigcerver y Tort (1996), Arcos (2002) y Ambrosio y Tejero (2000), quienes observan que los biofiltros aumentan la generación de nitrato (nitrificación) de las aguas residuales con fuente de nitrógeno (amonio). Los resultados de nitratos obtenidos en 90 días y con 500 kg de truchas son superiores a los obtenidos por Sarmiento (2011), quien obtuvo unos valores de 0.03-0.23 mg/l obtenidos en 120 días y con 30 kg de trucha/m³. Estos hechos indican que a mayor densidad de biomasa (cantidad de truchas) hay mayor generación de desechos (NH₃, NO₂⁻, NO₃⁻).

Contenido en proteína del FVH

Los valores de proteína bruta del FVH en materia fresca (Tabla 1) obtenidos para el T2 fueron 13.02 % a los 4 días, 14.07% a los 8 días, 15.56% a los 12 días y 16.98% a los 16 días. Estos valores son superiores a los obtenidos por Contreras y Tunque (2011), 10.31 % en el FVH de cebada a los 20 días de producción. Curasma y Quispe (2011) obtuvieron un contenido en proteína del 16.4% a los 17 días de crecimiento, algo inferior al valor obtenido en nuestro experimento a los 16 días de crecimiento. El valor obtenido por Chang (1995) al final de su producción fue de 15% PT, lo cual es superado por el presente estudio (16.98%). Tarrillo (2002) menciona valores de proteína bruta que oscilan entre 16 y 22%. La FAO (2001) menciona que a partir día 12 de producción se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH y Amaya (1998) muestra que el mayor porcentaje de proteína, 17.4%, se obtiene a los 12 días de siembra. El presente estudio muestra lo contrario, ya que a 12 días de crecimiento se obtuvo un valor de proteína del 15.56%, aumentando el día 16 hasta el 16.98% (los valores de proteína bruta se refieren a materia fresca). Esta discrepancia podría atribuirse

a las diferencias en las condiciones de tiempo y espacio en las que se desarrolla el periodo experimental.

Tabla 1: Contenido de proteína bruta del forraje verde hidropónico en materia fresca (Análisis de varianza)

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios de porcentaje de nitrógeno			
		Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Tratamiento	2	0.33 ns	0.20 ns	1.33 ns	0.33 ns
Error	27	0.24	0.21	0.43	0.61
Medias (%)		12.81	13.93	15.23	16.79
CV (%)		3.85	3.32	4.30	4.64

¹ns = no significativo

Altura de la planta

Los resultados de altura de planta del FVH a los 4, 8, 12 y 16 días después de la emergencia, en relación a los tratamientos aplicados, se muestran en las Tablas 2 y 3. Amaya (1998) obtuvo una altura de 20-25 cm en un periodo de 9 a 12 días, Tarrillo (2002) indica un periodo de crecimiento de 10-14 días para obtener forraje de una altura de 20-25 cm, y Contreras y Tunque (2011) obtuvieron una altura de 16.78 cm de altura a los 20 días de producción. Castro y Ccencho (2008) obtuvieron alturas de 17.19 cm y 15.75 cm el día 16 en el FVH con soluciones nutritivas de la Universidad Nacional de Huancavelica y la Universidad Nacional Agraria La Molina, respectivamente, valores superiores a los observados en el presente estudio, 10.85 cm de altura, pero superiores a los obtenidos por Ruiz y Ramos (1999), 10.12 cm a los 15 días de crecimiento.

Tabla 2: Altura de planta en el forraje verde hidropónico (cm), (Análisis de varianza).

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios de la altura de planta			
		Día 4	Día 8	Día 12	Día 16
Tratamiento	2	5.63**	18.00**	18.83**	18.22**
Error	27	0.96	1.87	2.71	2.38
Medias (cm)		5.60	7.10	8.53	9.76
CV (%)		17.50	19.27	19.30	15.80

¹** = p<0.01

Tabla 3: Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta (cm) del forraje verde hidropónico a los 4, 8, 12 y 16 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.

Día de medición	Tratamiento		
	T0	T1	T2
4	4.85b	5.60ab	6.35a
8	5.64b	7.33a	8.29a
12	6.98b	9.04a	9.58a
16	8.25b	10.18a	10.85a

Letras distintas indican diferencia estadística por la prueba de Tukey, a 5% de probabilidad.

Producción de la biomasa de forraje verde hidropónico

El análisis de varianza para la producción de biomasa a los 16 días después de la emergencia (Tabla 4), presenta una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) debido a la aplicación del efluente de poza de trucha como fuente de nitrógeno.

Tabla4: Producción de biomasa de forraje verde hidropónico (Análisis de varianza)

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios de la altura de planta
Tratamiento	2	15.89 **
Error	27	0.31
Medias (kg/m ²)		7.51
CV (%)		7.47

^{1**} = $p < 0.01$

Los resultados de la prueba de Tukey al 5% para la producción de biomasa a los 16 días después de la emergencia, mediante la aplicación del efluente de poza de trucha se muestran en la Tabla 5.

Tabla5: Prueba de Tukey al 5% para la producción de biomasa.

Tratamiento	Biomasa (kg)
T2	8.71 a
T1	7.62 b
T0	6.19 c

Letras distintas indican diferencia estadística por la prueba de Tukey, a 5% de probabilidad.

La producción obtenida de FVH por bandeja en el presente trabajo fue de 1.40 kg/bandeja, obtenida a partir de 0.381 kg de semilla (3.7 kg FVH por kg de semilla), valor inferior al obtenido por Tarrillo (2008), 6 -8 kg de FVH por kg de semilla y al indicado por la FAO (2001) que menciona producciones de 12-18 kg de FVH por kg de semilla. La producción de FVH obtenido fue de 6.71 kg/m², inferior a la obtenida por Contreras y Tunque (2011), de 9.37 kg/m² y por Castro y Ccencho (2008), que obtuvieron 31.43 kg/m² FVH y 37.65 kg/m² utilizando diferentes soluciones nutritivas.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo concuerdan con los de Cortez *et al.* (2008), quienes observaron en las aguas residuales la presencia de la mayoría de los nutrientes necesarios, salvo potasio y magnesio, para el cultivo hidropónico de lechuga, no encontrando diferencias significativas entre cultivares en la productividad y el peso fresco de las plantas. En el presente trabajo si se observaron diferencias significativas en cuanto a la altura de planta y peso fresco de la biomasa del FVH.

CONCLUSIONES

Puede concluirse que es factible utilizar el efluente de piscigranjas para la producción de forraje verde hidropónico de cebada.

BIBLIOGRAFIA

- Amaya, C. 1998. Cultivos hidropónicos. Bogotá, Colombia.
- Ambrosio M. J.; Tejero I. 2000. Reducción simultanea de DBO (C), NH₄⁺ y desnitrificación de un reactor de biopelícula. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Mendoza - Argentina.
- Arcos, D. R. 2002. Calidad de agua en un sistema de recirculación con biofiltro para la producción intensiva de post-larvas de camarón *Litopenaeus vannamei*. Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas. Guayaquil – Colombia.
- Association of Official Agricultural Chemists-AOAC. 1990. Official methods analyses. 15 ed. Virginia. v. 1, 648p.
- Castro, P.; Ccencho, E. 2008. Influencia de dos soluciones nutritivas en la composición química y producción de la cebada hidropónica. Tesis Ing. Zootecnista. UNH. Huancavelica, Perú. 121p.

- Chang, R. 1995. Producción de forrajes y germinados. En Hidroponía un nuevo campo en la agricultura, centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral. Departamento de Biología de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú, p.59.
- Contreras J. L.; Tunque M. 2011. Evaluación del rendimiento de la arveja, cebada y trigo en asociación, en la producción de germinados hidropónicos. Tesis Ing. Zootecnista. UNH. Huancavelica - Perú.
- Cortez G.; Araujo J.; Bellingieri P.; Dalri A. 2008. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alfafa em hidroponia (Brasil). Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. volumen 13. Numero 4. 494 - 498 pp.
- Curasma A.; Quispe J. 2011. Efecto de la sustitución gradativa del alimento balanceado por el germinado de cebada en raciones de cuyes (*Cavia Porcellus*) en la etapa de crecimiento. Tesis Ing. Zootecnista. UNH. Huancavelica - Perú.
- FAO, (2001). Forraje Verde Hidropónico. Manual técnico. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Hach Company. 2005. Espectrofotometro DR 2800, Manual del usuario. 1º edición. Alemania.
- Iturbide, K. 2008. Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación”. Tesis para optar el grado de maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Guatemala.
- Kubitza, F. 2006. Sistemas de recirculación cerrada. Disponible en: http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/pesca/acuicultura/01=Cultivos/03.Otros_Sistemas. Argentina.
- Proyecto MELISSA. 2009. Alternativa de sistema de soporte de vida micro-ecológico (Micro-Ecological Life Support System Alternative). Agencia Europea del Espacio. España.
- Puigcerver M.; Tort LL. 1996. Evaluación de dos medios bacterianos aceleradores del proceso de nitrificación en filtros biológicos de cultivos marinos. Universidad Autónoma de Barcelona. Unidad de Fisiología Animal. Facultad de Ciencias. 08193 Bellaterra (Barcelona), España.
- Ruiz, B. J.; Ramos, E. 1999. Cultivo Hidropónico de Avena y Cebada. Resumen de la XXII Reunión Científica Anual de la Asociación Peruana de Producción Animal. Huancavelica. Perú.
- Santiago J. M.; Ambrosio L. 2006. Manual de capacitación para la aplicación de prácticas medio ambientales en la pesca y la acuicultura. Puno-Perú.

Sarmiento D. F. 2011. Eficiencia productiva de trucha arco iris, bajo un sistema de recirculación de aguas con diferentes densidades de carga animal en la zona de Pailones, Iasa, Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército Departamento de Ciencias de la vida. Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. Sangolqui – Ecuador.

Statistical Analysis System – SAS. 2008. System for Microsoft Windows. Release 9.2. Cary: SAS institute, (CD-ROM).

Tarrillo, M. 2002. Artículo. Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal, disponible en: www.forrajehidroponico.com.

Tarrillo, H. 2008. Forraje Verde Hidropónico. Disponible en: www.forrajehidroponico.com