

Uso sostenible del agua residual de la pesca a partir del cultivo de microalgas. Caso de estudio EPIGRAN

Teresita de Jesús Romero López

e-mail: teresitaromerolope@gmail.com

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana

Gerardo Suárez Álvarez

e-mail: gerardoeloy650@gmail.com

Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP), Ave 1ra, Santa Fé, Playa, La Habana

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el municipio de Manzanillo, provincia Granma, con el apoyo de la Industria Pesquera de Manzanillo. La investigación tuvo como objetivo proponer un sistema de tratamiento capaz de disminuir el potencial contaminante de las aguas residuales de la Empresa EPIGRAN con el empleo de la microalga *Chlorella* sp. Para ello se abordaron las lagunas de alta velocidad, evaluadas con antelación por especialistas de la pesca. De esta forma, se potenciará el uso sostenible del agua residual, ya que se alcanzarán subproductos de alto valor agregado para la alimentación animal, la industria farmacéutica y del cosmético. El agua clarificada tendrá una DBO₅ de 50 mg/L como máximo y se obtendrán 4,5 kg/m³ de biomasa algal húmeda (1,0 kg/m³ de biomasa seca).

Palabras clave: EPIGRAN, laguna alta velocidad, microalga, tratamiento.

Sustainable use of fishing wastewater from microalgae cultivation. Study case EPIGRAN

ABSTRACT

This work was carried out in Manzanillo municipality, Granma province, with the support of Manzanillo Fishing Industry. The objective of the research was to propose a treatment system capable of reducing the contaminating potential of wastewater from the EPIGRAN Company with the use of the microalgae *Chlorella* sp. For this, the high-speed lagoons were approached, evaluated in advance by fishing specialists. In this way, the sustainable use of wastewater will be promoted, since high value-added by-products will be obtained for animal feed, the pharmaceutical and cosmetic industries. The clarified water will have a maximum BOD₅ of 50 mg/L and 4.5 kg/m³ of wet algal biomass will be obtained (1.0 kg/m³ of dry biomass).

Keywords: EPIGRAN, high-speed lagoon, microalgae, treatment.

INTRODUCCIÓN

"Las aguas residuales no deberían ser vistas como una carga para los gobiernos y la sociedad, sino como una oportunidad económica que puede convertirse en un recurso valioso" (Rodríguez et al, 2020).

Para ello, se requiere ante todo un cambio de paradigma entre los decisores, de modo que se proporcionen las pautas a seguir que conlleven a una mejora en la planificación, gestión y financiamiento a los tratamientos de las aguas residuales, a modo de recuperarlas y hacerlas disponibles a la sociedad. De esta forma, las plantas de tratamiento serían más sostenibles ambiental y financieramente.

En esta dirección se encamina la propuesta realizada a la Empresa Pesquera Industrial de Granma (EPIGRAN) donde se enclava la industria procesadora de mariscos y pescados, la cual no cuenta con tratamiento a sus aguas residuales, y que en la actualidad van a parar directamente a la zona costera, provocando considerables y diversos efectos negativos sobre los organismos acuáticos y la pesca, motivo suficiente para imponer límites en los niveles contaminantes a las aguas de desecho.

MATERIALES Y MÉTODOS

La empresa EPIGRAN se encuentra situada en la región sur de la provincia Granma ($20^{\circ} 19'47,59''$ N y $-77^{\circ} 09'14,35''$ W). La misma posee en su estructura dos instalaciones fundamentales: una ubicada en el municipio Manzanillo (INDUMAN) y la otra en el municipio Niquero (INDUNIQ). INDUMAN se localiza dentro del área que ocupa EPIGRAN como un gran complejo mixto empresarial e industrial (figura 1).



Figura 1. Imagen satelital de la Empresa EPIGRAN con las instalaciones procesadoras (INDUMAN)

A partir de las características de los residuales de INDUMAN, la cual procesa camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), pepino de mar (*Isostichopus badionotus*), ostión de mangle antillano (*Crassostrea rizophorae*) y algunas especies de pescado, se produce un estimado de residuales líquidos de 100-130 m³/d, que proceden principalmente del procesamiento de las especies mencionadas, la limpieza y desinfección de equipos e instalaciones y de las aguas de refrigeración con descarga directa al mar (20° 19'52,60" N y - 77° 09'16,06" W).

En 2020 se efectuó la caracterización a los residuales de esta industria, determinándose los parámetros siguientes: demanda biológica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total (PT), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), sólidos sedimentables (S. Sed), sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites (G y A), coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), pH y temperatura (T), todos ellos según los métodos estándares descritos por Grasshoff et al. (1999) y el APHA (2012).

Para valorar la posibilidad de tratar los residuales con un sistema biológico, se determinó el índice de biodegradabilidad (IB) con la fórmula más abajo expuesta y siguiendo lo estipulado en la escala de valores mostrada.

$$IB = DQO / DBO_5 \quad (1)$$

IB= 1,00 - 2,50 ----- Biodegradable

IB= 2,50 - 5,00 ----- Medianamente biodegradable

IB= 5,00 ----- Poco biodegradable

Con el objetivo de dimensionar las distintas operaciones unitarias que se formulan más adelante, así como la propuesta de materiales a utilizar en las diferentes fases del tratamiento a las aguas residuales que se generan en el proceso de las especies citadas, se abordaron los apuntes de Spellman (2003) y Riffat (2013), así como se tuvo en cuenta la experiencia de especialistas en la temática y personal que se vincula de manera directa en la protección del medio ambiente.

Según la caracterización realizada a los residuales de INDUMAN se obtuvieron los resultados que se señalan en la tabla 1 y que fueron interpretados según la norma de vertimiento NC 521:2007 (2007). Estos resultados apoyaron la propuesta del sistema de tratamiento a implementar en INDUMAN, con objetivo final de obtener algún beneficio tangible, exponiendo así un uso sostenible del agua residual a partir del empleo de microalgas. La propuesta en su conjunto contó con las siguientes operaciones unitarias: tamizado, tanque séptico, cámara de rejillas, foso de bombeo, trampa de grasas, sedimentador primario, tanque de cultivo madre y sistema de lagunas de alta velocidad, sistema parcialmente recomendado por Oscanoa et al. (2020).

Según estos valores, solo cumplen lo establecido por la norma de vertimiento NC 521:2007 (2007) la temperatura, el pH, los S. Sed y los CF, aunque las G y A se presentaron en el límite.

Una vez calculado el IB de los residuales de INDUMAN que fue de 1,8 (biodegradable según escala de valores), se concluyó que es posible poner en práctica un tratamiento biológico a esta industria; de ahí que se formulara el esquema de la figura 2, que se corresponde con los efluentes provenientes de la cocina comedor, así como de las salas de proceso.

Tabla 1. Datos de caracterización de los residuales industriales de INDUMAN

Parámetro	Unidad	Promedio	Rango	LMP NC 521:2007
T	°C	30	22-45	40
pH	u	7,8	6,9-9,6	5,5-9
DBO ₅	mg/l	650	310-880	75
DQO	mg/l	1 200	420-1 990	190
PT	mg/l	7,9	2,2-9,0	5
NTK	mg/l	40,3	11-60	20
S. Sed	ml/30 min	2,5	1-10	10
SST	mg/l	255	200-1 200	75
G y A	mg/l	34	30-80	30
C T	NMP/100 ml	240	200-400	---
C F	NMP/100 ml	110	80-400	400

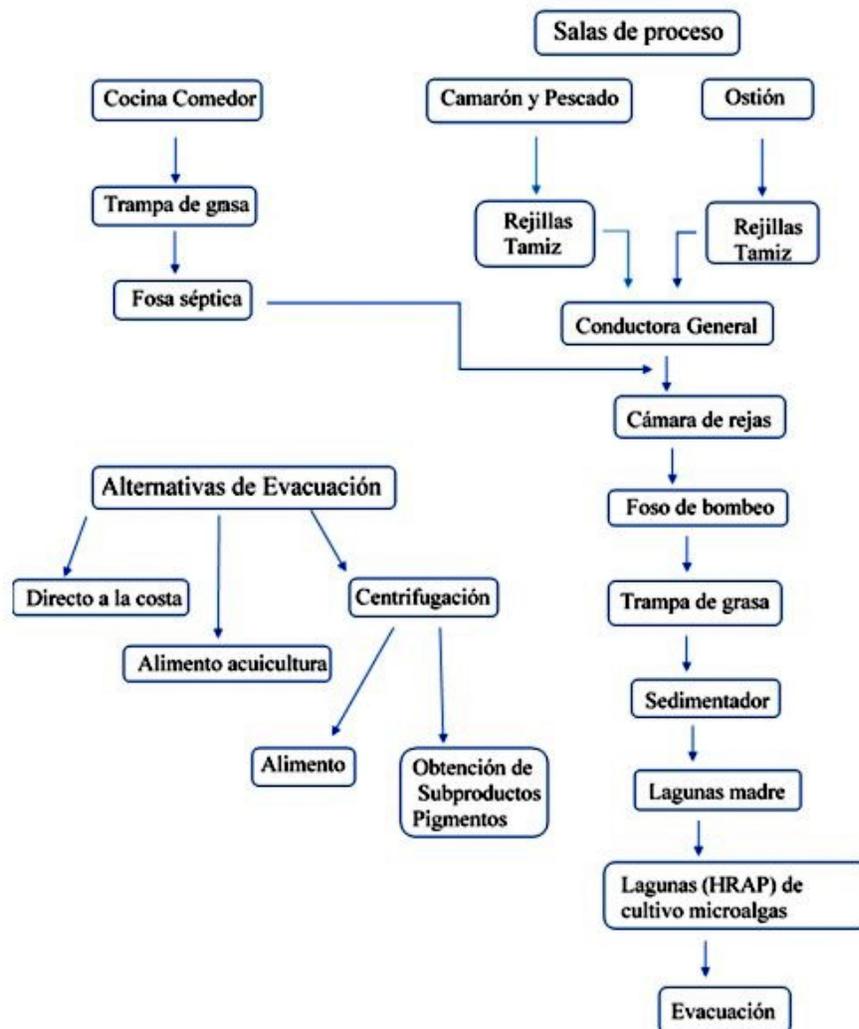


Figura 2. Sistema integral de tratamiento propuesto para los efluentes de la cocina comedor y las salas de proceso de INDUMAN

A continuación, se presentan los esquemas que conciernen a las distintas operaciones a ejecutar en la industria, para darle solución a los residuales de la cocina comedor y las salas de proceso.

Residuales provenientes de la cocina comedor

En la actualidad, la cocina comedor cuenta con un tanque séptico, el cual posee una trampa de grasa, desconociéndose la frecuencia de limpieza y el destino final del reboso. Además, el estado constructivo se cataloga como deficiente, por lo que se propone su rediseño.

Tanque séptico

Para el diseño del tanque séptico se contemplará el volumen de 6 a 8 m³/d, correspondiente al agua residual producida por la cocina comedor. Se recomienda generalmente que el período de retención mínimo sea de 5 d, por lo que la capacidad del tanque séptico propuesto deberá contemplar un volumen no menor de 30 m³.

El tanque séptico dispondrá de dos compartimientos en serie. El primero tendrá 6 m de largo por 3 m de ancho y una altura del agua de 2 m (36 m³). Este diseño permitirá un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 5 d. La segunda cámara será aproximadamente igual a 1/3 del volumen de la primera, por lo que las dimensiones serán de 3 m de largo por 3 m de ancho y la misma altura (2 m).

En la figura 3 se presenta la vista en planta del tanque séptico a diseñar.

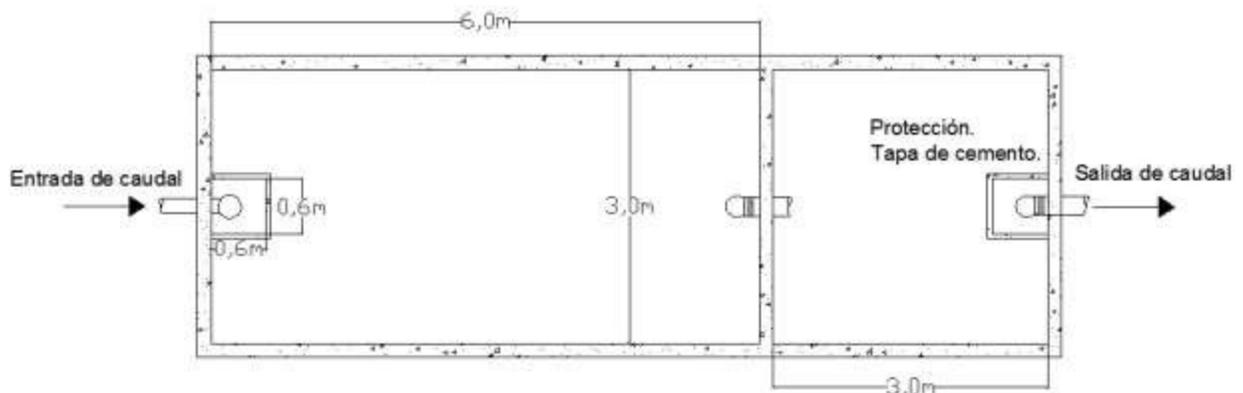


Figura 3. Vista en planta del tanque séptico

Residuales provenientes de las salas de proceso

Las diferentes salas de proceso descargan sus aguas residuales a un canal colector que las evacua hacia la costa, proponiéndose las siguientes operaciones unitarias que mejorarán considerablemente la calidad del efluente por secciones y en el destino final, el mar adyacente.

Rejillas tamiz

Se recomienda que a la salida de las salas de proceso se instalen cestas con tamices que remuevan cualquier material sólido, como restos de exoesqueletos de crustáceos, espinas, guantes o material de desecho de los embalajes que se manipulen y puedan obstruir los canales de distribución del residual. Estos tamices poseen aberturas de las mallas con valores que varían de 2,5 a 6,0 mm y tienen la capacidad de remover mediante el tamizado, entre un 20 y 35 % de sólidos suspendidos de gran tamaño.

Cámara de rejas

El objetivo de la cámara de reja es propiciar la retención de toda basura, materiales sólidos, gruesos y en general, todos aquellos desperdicios presentes en el agua que presenten peligros para el buen desempeño de las operaciones diseñadas al respecto. Se ubicará antes del foso de bombeo, en secciones transversales del flujo de agua, a la salida general de los salones de proceso.

Esta cámara de rejas será doble, con parrillas removibles. Las parrillas deberán ser removibles para facilitar su limpieza. La altura del canal donde se ubicarán las mismas será de 25 cm y el ancho de 35 cm, para un área transversal de $0,088 \text{ m}^2$.

En la figura 4 se observa una vista frontal de la cámara de rejas propuesta.

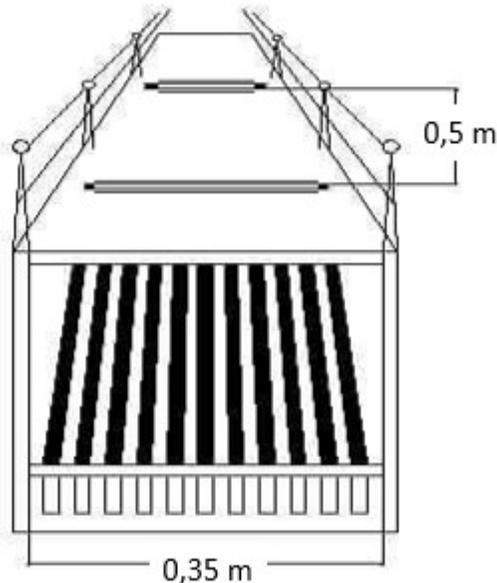


Figura 4. Vista frontal de la cámara de rejas

Foso de bombeo

El foso de bombeo (figura 5) tendrá un volumen que permita un flujo de bombeo de 20 a 30 m^3/h , considerando un gasto total de $120 \text{ m}^3/\text{d}$ de residual en dos turnos de trabajo y sus dimensiones serán 3,2 m de largo; 3,2 m de altura y 3,0 m de ancho ($30,7 \text{ m}^3$).

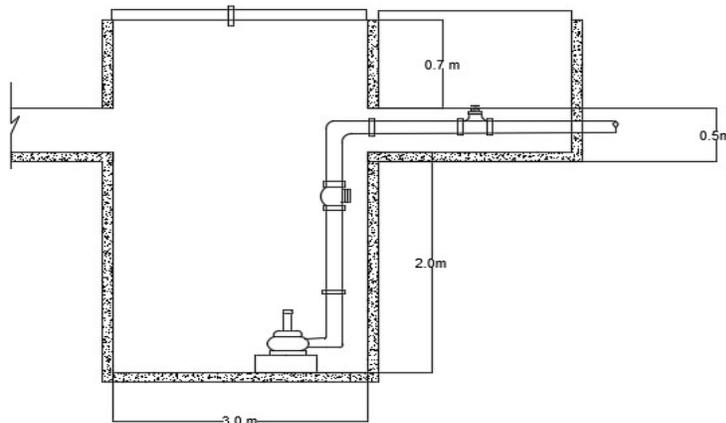


Figura 5. Vista frontal del foso de bombeo

Trampa de grasa

El tiempo de retención (TR) propuesto, según rango recomendado por Allende (2001) es de 30 min. Considerando unos 10 m³/h de residual, las dimensiones útiles para el agua serán 1,6 m de altura, por 1,6 m de ancho y por 2 m de largo (5 m³) (figura 6).

Para la construcción de la trampa para grasas, se deberá diseñar la misma, según lo propuesto por CEPIS (2003).

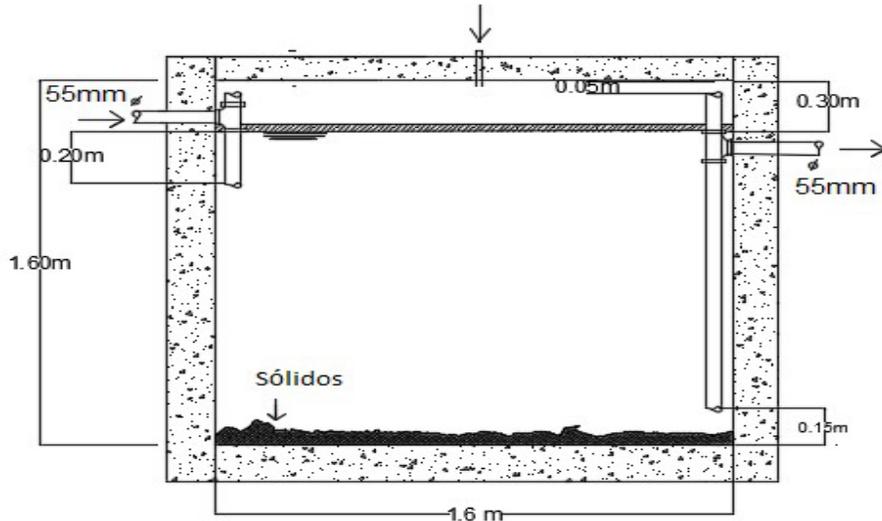


Figura 6. Vista en planta de la trampa de grasa

Sedimentador

Los sedimentadores primarios son aquellos encargados de recibir las aguas residuales crudas antes de que se produzca el tratamiento biológico. Pueden estar constituidos por cuatro partes: una zona de entrada o estructura hidráulica de transición que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador, una zona de sedimentación, una zona de salida constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que recolectan el efluente y una zona de recolección de lodos, formada por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados (Dodane y Bassan, 2020).

Para tanques rectangulares, la relación longitud-ancho puede variar entre 3:1 y 5:1; profundidades de agua mayores a 2 m, longitudes menores a los 90 m, anchos de 3 a 24 m y pendientes suaves, 1 o 2 % (OPS, 2005).

Las dimensiones del sedimentador propuesto para INDUMAN serán: 10 m largo, 1,5 m de ancho y 2 m de altura (30 m³) para un TR de 2 h. La velocidad de flujo será de 0,075 m/min. El residual remanente tendrá una DBO₅ entre 520 y 620 mg/l y los SST entre 80 y 150 mg/l.

En la figura 7 se plasma la vista en planta del sedimentador que se propone para la depuración de los residuales de INDUMAN.

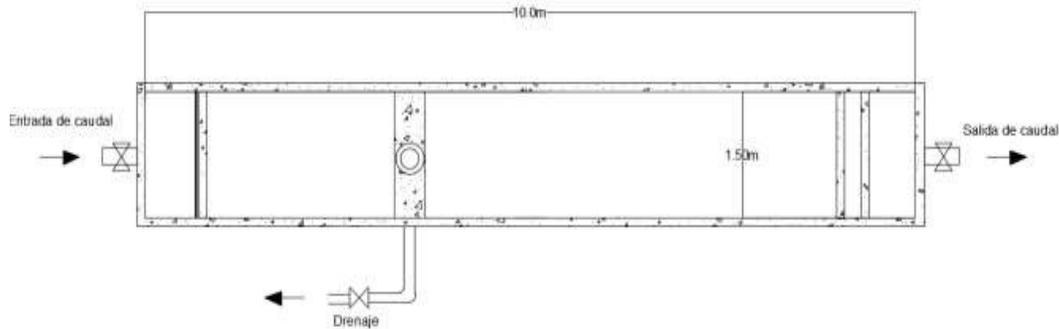


Figura 7. Vista en planta del sedimentador rectangular

Laguna madre

Es un tanque que servirá para mantener un cultivo madre de algas, que se utilizará como inóculo con *Chlorella* sp en las lagunas de alta velocidad.

La estructura estará dividida internamente a la mitad por un tabique con pasarela para circular las microalgas en ambas partes de los dos tanques propuestos. Estas microalgas se utilizarán para inocular las lagunas de alta velocidad, para facilitar una determinada concentración inicial en cada laguna, que después de seis días de cultivo, podrán ser cosechadas por el método elegido.

Las dimensiones de estas lagunas son las siguientes: largo: 10 m; ancho: 2 m; profundidad: 0,5 m, aunque la altura útil del agua 0,4 m (8 m³ o 16 m³ por las dos); volumen total: 10 m³ y área total: 40 m² (20 m² por cada una) (ver vista en planta en la figura 8).

El proceso de agitación será por medio de un sistema de ruedas de paletas durante 6-8 h en el horario diurno y la velocidad de agua de 20- 25 cm/seg.

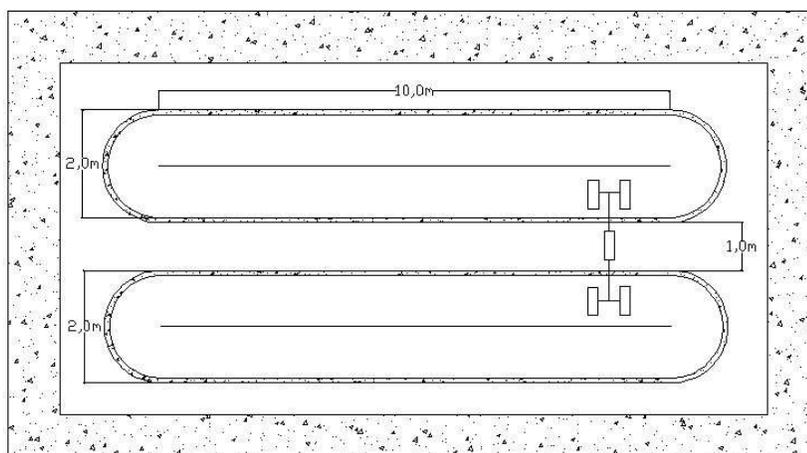


Figura 8. Vista en planta de las lagunas de cultivo madre

Lagunas de alta velocidad para el cultivo masivo de microalgas

Las lagunas de alta velocidad recibirán al día los 120 m³ de residual clarificado procedente del sedimentador. Aquí las algas crecen a su máxima velocidad. El movimiento que se le imprime a la masa líquida facilita la utilización de todo el potencial de nutrientes del medio y de la luz incidente y no permite la ocurrencia de la sedimentación de microalgas. El TR calculado para que se alcance la biomasa máxima de alga en el residual pesquero es de 5 a 6 d. El volumen de

cada laguna será de 120 m³ aproximadamente y el sistema completo constará de seis tanques, para un volumen total de 720 m³. Las lagunas estarán separadas entre sí por una distancia de 1,5 m, para garantizar la instalación de los motores que accionarán los ejes de paletas y permitir la limpieza de las mismas.

Cada laguna poseerá dos canales interconectados, para mantener un flujo lineal en el caldo de cultivo (residual). Esto es necesario para acelerar el crecimiento de las microalgas y obtener mayor biomasa celular en el menor tiempo posible. La velocidad del agua dentro del estanque será no menor de 25 cm/seg y en los extremos de la laguna se colocarán “baffles” o deflectores para evitar la formación de zonas muertas, respecto a la agitación dentro de cada laguna.

Las dimensiones de las lagunas serán: largo: 65 m; ancho: 4 m; profundidad: 0,5 m (altura máxima del agua – 0,45 m); ancho de cada canal: 2 m; volumen útil del agua: 120 m³ y área: 260 m² (1 560 m² para las seis lagunas).

Los canales de circulación tendrán un ancho de 2 m y en la zona de viraje, la sección curvilínea del canal de salida será más estrecha (0,9 a 1 m). De esta manera aumentará la velocidad del líquido para evitar la sedimentación de las algas.

La altura exterior de las lagunas será de 0,65 m y dentro de 0,45 m para que las algas puedan aprovechar al máximo la luz solar que le provee la energía para su función depuradora. Cada laguna estará internamente dividida por un tabique que conformará dos canales intercomunicados de 2 m de ancho cada uno, por los que circulará el agua residual con la biomasa algal. En las zonas de viraje, la sección curvilínea del canal será más estrecha de 1,3 a 1,5 m; así se permitirá el aumento de la velocidad de circulación en los extremos y la no sedimentación de la biomasa.

El sistema comprenderá seis lagunas (figura 9 - vista en planta) para una producción mensual aproximada de 2 a 3 t de alga seca, en correspondencia a 120 m³ de cultivo en el caso de *Chlorella sp*, en estrecha relación con las condiciones climáticas y de operación del sistema. El residual remanente tendrá una DBO₅ entre 40 y 50 mg/l.

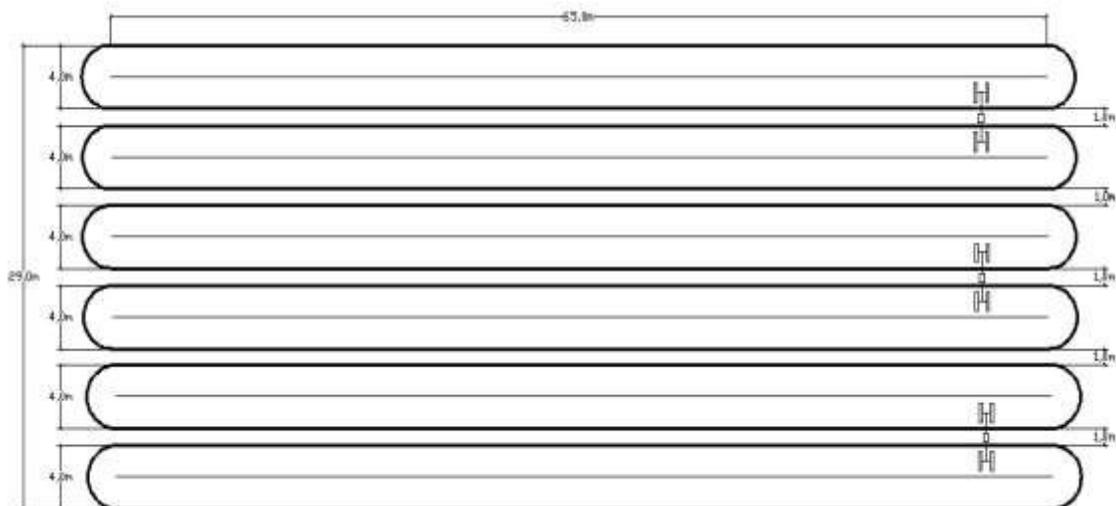


Figura 9. Vista en planta del sistema de lagunas de alta velocidad

Por pares de lagunas se ubicará un eje intermedio con una rueda de paletas para cada canal (figura 10), que posibilitarán el movimiento continuo del medio en su interior y mantendrán las algas en suspensión.

La velocidad de rotación de las ruedas de paletas deberá permitir consecuentemente, una velocidad en el agua de 20 a 25 cm/seg. Las paletas se ubicarán de forma tal que estén separadas 0,4 m de cada borde y a unos 5 cm del fondo de cada laguna.

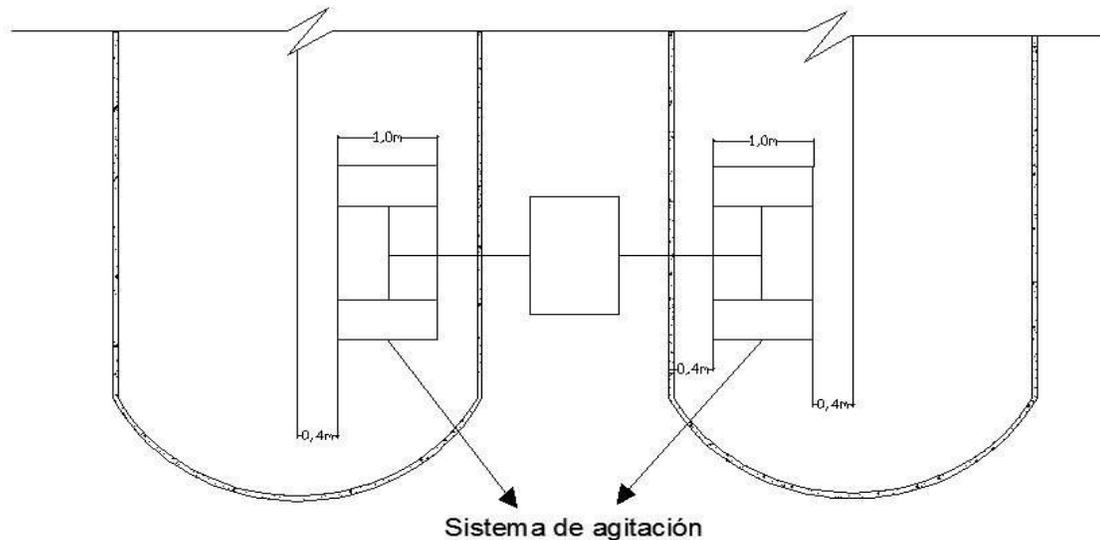


Figura 10. Vista en planta del sistema de agitación por paletas

Las algas aquí producidas y extraídas del medio residual, tendrán amplio uso en la alimentación animal y en la industria farmacéutica y cosmética; así lo aseveran Romero (2004, 2005) y Hernández-Pérez y Labbé (2014); el efluente resultante después de separar las microalgas, será amigable con el medio ambiente, una vez que los parámetros físico-químicos cumplirán con lo establecido por la norma cubana de vertimiento NC 521:2007 (2007).

CONCLUSIONES

Según los valores de caracterización de los residuales de INDUMAN, se determinó que los mismos son susceptibles de ser tratados con sistemas biológicos.

La planta de tratamiento propuesta para INDUMAN, ocupará un área aproximada de 2 625 m² de un total disponible de unos 4 000 m² y en ella serán tratadas las aguas residuales procedentes de los talleres de proceso de camarón, pescado, pepino de mar y ostión, o de cualquier especie que se incluya en los salones de proceso, así como los residuales de la cocina comedor que actualmente están conectados a la misma red hidráulica.

La purificación de los residuales será por lagunas de alta velocidad con obtención de la microalga *Chlorella* sp. Una vez separadas las mismas, el sistema brindará un efluente con una DBO₅ de 40 a 50 mg/L.

La biomasa seca, que alcanzará un valor aproximado de 1 kg/m³ de cultivo al día (2-3 t de biomasa seca al mes) se emplearán en la alimentación de especies de la acuicultura y camaricultura, así como para la obtención de bioderivados con un alto valor económico.

REFERENCIAS

- Allende, I.** (2001). Diseño Hidráulico de plantas de tratamiento para aguas residuales. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. (ISPJAE). 305 pp. La Habana, Cuba.
- APHA** (2012). Standard Methods for the examination of waters and waste waters. 22th Ed. New York, USA. American Public Health Association: Washington, American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Pollution Control Federation. Washington, DC, AWWA cat. No. 10085, 1926 pp. ISBN 9780875530130
- CEPIS** (2003). Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. OPS/CEPIS/03.81. UNATSABAR. Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural: 11 pp. Lima, Perú.
- Dodane, P. H. y Bassan, M.** (2020). Tanques de Sedimentación y Espesamiento. Capítulo 6. pp: 121-138. In: Strande, L; Ronteeltap, M y Brdjanovic, D. (Ed). Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación. 1ra edición. IWA Publishing. Alliance House, 428 pp. ISBN 9781780408019 (Hardback), ISBN: 9781780408026 (eBook). Londres, UK.
- Grasshoff, K.; Kremling, K. y Ehrhardt, M.** (1999). Methods of Seawater Analysis. 3th Ed. Wiley VCH, Verlag EmbH. 634pp. ISBN 9783527295890
- Hernández-Pérez, A. y Labbé, J.** (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. Microalgae, culture and benefits. Revista de Biología Marina y Oceanografía. Vol. 49, N°2: 157-173, DOI 0.4067/S0718-19572014000200001
- NC 521:2007.** (2007). Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. Norma Cubana. Obligatoria Experimental. 1ra Edición. Oficina Nacional de Normalización. ICS, C. Habana, Cuba.
- OPS** (2005). Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. OPS/CEPIS/05.163. UNATSABAR. CEPIS. OPS. 40 pp. Lima. Perú.
- Oscanoa, A.; Cervantes, M. y Fabre, P.** (2020). Manual para la producción de biomasa microalgal en condiciones de invernadero. Handbook for the production of microalgal biomass under greenhouse conditions. Inf Inst Mar Perú, Vol. 47 / No. 3 /:332-356. ISSN 0378-7702. Perú.
- Riffat, R.** (2013). Fundamentals of wastewater treatment and engineering. IWA Publishing. Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK ISBN13 9781780401317. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL 33487-2742. Version Date: 20120727. 353 pp. ISBN-13: 978-0-203-81571-7. London.
- Rodríguez, D. J.; Serrano, H.A.; Delgado, A.; Nolasco, D. y Saltiel, G.** (2020). De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. Banco Mundial. Washington, DC.: 63 pp. Extraído de: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823SP.pdf>
- Romero, L. T.** (2004). Procedimiento de obtención de cuproclorofila, formulaciones de productos a partir del principio activo y método de tratamiento. Certificado de patente de invención. No. de publicación: 22940. Int. Cl: A 61K 35/78, A 61 P 15/02. OCPI. Cuba.
- Romero, L. T. de J.** (2005). Uso de la microalga *Chlorella* spp en la depuración de los residuales líquidos de la industria pesquera y su aprovechamiento. Tesis presentada en opción al título de Doctora en Ciencias Técnicas. CIH, Cujae. La Habana, Cuba.

Spellman, F. R. (2003). Handbook of water & wastewater treatment plant operations. LEWIS Publishers. A CRC Press Company. TD434.S64. 628.1ç62-200304011. CRC Press LLC. 669 pp. ISBN 1-56670-627-0

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores.

Teresita de Jesús Romero López

<https://orcid.org/0000-0001-9572-8333>

Realizó contribuciones en el diseño de la Investigación, discusión de los resultados y la escritura del informe final.

Gerardo Suárez Álvarez

<https://orcid.org/0000-0001-8943-7134>

Realizó contribuciones en el diseño de la investigación, análisis de los resultados y discusión de los mismos, así como en la escritura del documento.