

Planificación energética ISO 50001 en una granja piscícola continental

ISO 50001 energy planning in an inland fish farm

JAVIER HUMBERTO NARVÁEZ CUENCA¹ - IVÁN CAMILO DURÁN TOVAR²

1. Magíster en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Doctor en Ingeniería Eléctrica. Profesor asociado del Programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

javier.narvaez@mail.escuelaing.edu.co - ivan.duran@escuelaing.edu.co

Recibido: 13/06/2023 Aceptado: 22/07/2023

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En la granja piscícola San Francisco, donde se cultiva tilapia nilótica, se desarrolló la planificación energética con base en la norma ISO 50001, construyendo el perfil de demanda energética y determinando oportunidades de mejora del desempeño energético, mediante la simulación del comportamiento diario del oxígeno disuelto (OD) en estanques, evaluando la alternativa de reemplazar el actual monitoreo manual de OD por sistemas de monitoreo automático y continuo, lo que permite reducir los tiempos de operación de la aireación mecánica.

Palabras claves: Sistema de gestión de la energía (SGEn), eficiencia energética, piscicultura continental.

Abstract

At the San Francisco Fish Farm, where Nilotic tilapia is cultivated, energy planning has been developed based on the ISO 50001 standard. The energy demand profile was constructed, and opportunities for improving energy performance were identified by simulating the daily behavior of dissolved oxygen (DO) in ponds. An evaluation was conducted to explore the alternative of replacing the current manual DO monitoring with automatic and continuous monitoring systems, enabling the reduction of mechanical aeration operation times.

Keywords: energy management system, energy efficiency, inland fish farming.

INTRODUCCIÓN

La piscicultura continental se lleva a cabo en estanques artificiales, normalmente construidos en zonas rurales. En esta clase de piscicultura, la renovación del agua es restringida por razones de tipo ambiental, para evitar que las sustancias tóxicas producidas por la degradación de los alimentos y los desechos biológicos de los peces lleguen a los ríos. Debido a las condiciones de estanqueidad, se utiliza aireación mecánica con motores eléctricos, principalmente para mantener los estanques en los niveles de oxígeno requeridos para la crianza sana de los peces. La demanda de energía eléctrica por este uso representa el segundo mayor costo, después de la alimentación, razón por la cual es necesario mejorar la eficiencia energética de las granjas piscícolas. La norma internacional ISO 50001 es adecuada para aplicar en la piscicultura, ya que estipula los requisitos para los sistemas de gestión de la energía (SGEn) en organizaciones de toda índole, con el propósito de permitir que mejoren sus desempeños energéticos. Así, en la granja piscícola San Francisco Fish SAS (SFF), ubicada en zona rural del municipio de Tello, en el departamento del Huila, a 30 km de Neiva, su capital, se desarrolló una planificación energética con base en la ISO 50001.

ESTADO DEL ARTE

La revisión del estado del arte para el desarrollo de la planificación energética en una organización permite conocer el contexto y la proyección de las actividades que esta ejecuta, así como la actualidad de las tecnologías aplicables, para establecer un proceso eficiente en sí mismo, eficaz, perdurable en el tiempo y que tenga alto grado de adaptabilidad a los cambios tecnológicos, los cuales se producen cada vez con mayor velocidad.

Eficiencia y gestión energética

En la primera década del presente milenio, la agenda del cambio climático hizo que la energía adquiriera relevancia, hasta que después del 2010, creció el reconocimiento del importante papel que desempeña la eficiencia energética, para alcanzar las metas de mitigación del calentamiento global (Fawks, 2016). La Agencia Internacional de la Energía (IEA, por su sigla en inglés)

establece que las medidas de eficiencia energética adoptadas han tenido gran impacto en la economía mundial, pues se estima que la energía utilizada en el 2017 habría sido 12 % mayor, de no ser por las mejoras en eficiencia aplicadas desde el año 2000, de tal manera que está en el corazón de su agenda de modernización y le otorga el reconocimiento de recurso energético principal (*first fuel*). Así mismo, proyecta que en un escenario en el cual se aplicaran al sector industrial todas las medidas disponibles en esta materia, desde ahora hasta el 2040, el valor agregado por cada unidad de energía podría duplicarse (International Energy Agency, 2017; International Energy Agency, 2018a). Por su parte, el gobierno colombiano, en procura de contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), meta a la que se comprometió en la COP21, por intermedio del Ministerio de Minas y Energía (MME) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), basado en información y análisis de los dos sectores de consumo prioritario (transporte e industria), desarrolló el Plan Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2020 (PAI), identificando las características de consumo (energético, tecnologías, procesos, prácticas operacionales, etc.) y las propuestas de eficiencia energética (EE) más costoefectivas, esperando obtener resultados positivos a corto y mediano plazo. El PAI establece que el gobierno nacional promoverá la adopción de sistemas de gestión de la energía compatibles con la ISO 50001 (Unidad de Planeación Minero Energética, 2017).

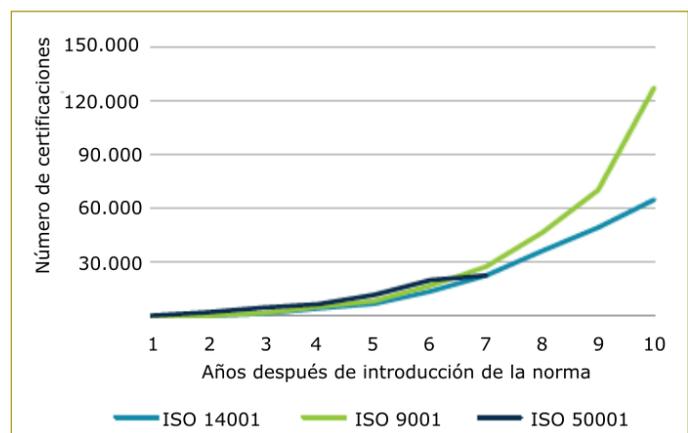


Figura 1. Progreso de certificaciones ISO 50001, comparado con el de otros sistemas de gestión.

Fuente: Energy International Agency, Energy Efficiency: Analysis and Outlooks to 2040, 2018.

Organizaciones europeas reportan ahorros energéticos de un 26 % en promedio, luego de la implementación de SGEN ISO 50001 (International Energy Agency, 2017b). En Estados Unidos, estudios realizados con datos de organizaciones industriales que forman parte del programa Superior Energy Performance (SEP) del US Department of Energy (DOE), les atribuyen a los SGEN ahorros energéticos promedio del 11,1 % después del segundo año de implementación, y ahorros en costos del 10 % (Therkelsen, McKane, Sabouni, Tamm, Rao y Scheihing, 2015).

La importancia de ISO 50001 se ha incrementado desde su primera publicación en el año 2011. Al final del 2017, había registradas cerca de 23.000 certificaciones en el mundo, 13 % más que en el 2016, siendo Alemania el país con mayor número de organizaciones certificadas. La tasa de implementación de los SGEN basados en la norma, según el número de certificados cada año durante los primeros siete años, se comportó de una manera similar a las de otros sistemas de gestión. A continuación se muestra que en el año número 10 después de haber sido publicadas, la ISO 14001 tenía alrededor de 60.000 certificaciones y la ISO 9001, cerca de 120.000 (International Energy Agency, 2018b). Sin embargo, en el año 2018 se reportaron 18.059 certificaciones ISO 50.0001 (figura 1). Esta disminución podría deberse a que la norma se revisó y actualizó ese mismo año. Las políticas que propendan a la adopción de SGEN y otras medidas de eficiencia serán esenciales, particularmente en los sectores menos energético-intensivos, en los que existen altos potenciales de ahorro (International Energy Agency, 2018b).

Actualidad de la piscicultura

La acuicultura se dedica al cultivo de organismos acuáticos, mediante técnicas adecuadas y controladas (Merino, Salazar y Gómez, 2006). Pueden ser crustáceos, como el camarón, moluscos o peces. En el mundo, desde 1961, el crecimiento de consumo de pescado ha duplicado el crecimiento de la población. En el año 2016, el consumo per cápita de pescado llegó a 20,3 kg; de los 171 millones de toneladas de producción pesquera, el 47 % lo aportó la acuicultura (FAO, 2018). En la figura siguiente (figura 2) se muestran las producciones de pesca de captura y acuicultura desde el año 1950, en la cual se evidencia que, a finales del siglo pasado, había un

aplanamiento marcado en la curva del comportamiento de la pesca de captura, que coincide con el crecimiento de la acuicultura en general.

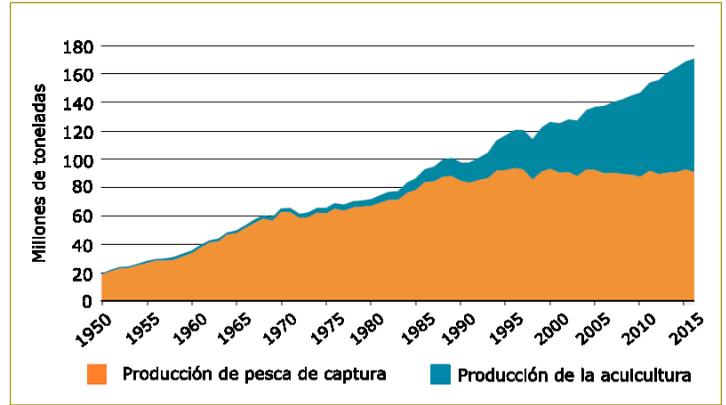


Figura 2. Evolución de la producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura.

Fuente: FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*, 2018.

La piscicultura trata exclusivamente del cultivo de peces. Esta actividad se lleva a cabo mediante encerramientos tipo jaulas, en cuerpos de agua de uso público, como el mar, represas y ríos; también se desarrolla en tierra firme, utilizando estanques de tierra, piedra-cemento, concreto o geomembranas (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, 2019). La piscicultura que se realiza en estanques en tierra firme se llama comúnmente continental. En Colombia, la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (Aunap) clasifica a las organizaciones piscícolas así (tabla 1).

Tabla 1
Clasificación de acuicultores en Colombia, según Resolución 1607 de 2019

Tipo de acuicultor	Producción [ton]	Espejo de agua [ha]
De subsistencia	< 10	< 0,65
Pequeño	10,1 - 22	0,65 - 1,5
Mediano	22,1 - 240	1,51 - 15
Grande	> 240	> 15

A continuación se muestra cómo la industria acuícola colombiana ha venido creciendo sostenidamente durante la última década. Las cifras sectoriales presentadas por el Ministerio de Agricultura estipulan que en el periodo

2010-2019 la producción aumentó 113 %, pasando de 80.255 a 171.026 toneladas entre tilapia, trucha, cachama, otras especies nativas y camarón, generando 51.308 empleos directos y 153.921 indirectos, con una participación del 0,19 % del PIB nacional y 2,88 % del PIB agropecuario (figura 3).

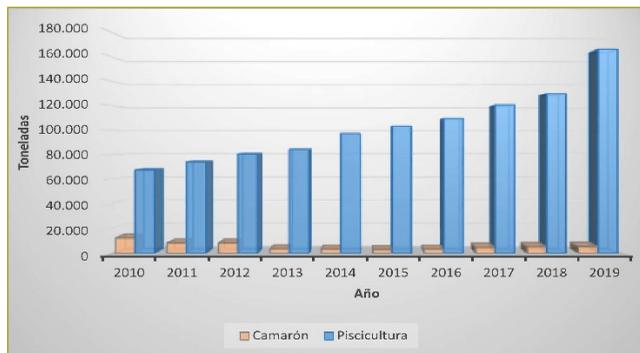


Figura 3. Producción acuícola en Colombia 2010-2019.

Fuente: Ministerio de Agricultura, *Cadena de la acuicultura*, 2019.

Como se puede ver a renglón seguido (tabla 2), las especies más cultivadas en el país, por cuenta de la piscicultura continental, son la tilapia y la trucha, así como también la cachama, aunque en menor medida (Ministerio de Agricultura, 2020).

Tabla 2
Porcentajes, por especies, de producción piscícola en Colombia (2019)

Especie	Producción
Tilapia	58 %
Trucha	16 %
Cachama	19 %
Otras especies	7 %

Fuente: Ministerio de Agricultura, *Cadena de la acuicultura*, 2019.

El desarrollo óptimo de la trucha se da en aguas frías, con temperaturas entre 14 y 16 °C, mientras que las tilapias, o las mojarra, se producen mejor en aguas con temperaturas entre 25 y 30 °C. Estas son resistentes a condiciones adversas, como bajos niveles de oxígeno disuelto y salinidad. En Colombia se cultivan dos especies de tilapias: la tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*), que es muy apetecida en el mercado nacional, y la tilapia plateada (*Oreochromis niloticus*), de la cual se obtienen filetes de mayor tamaño y más homogéneos, lo cual es un requerimiento importante para la exportación.

Como en todas las actividades humanas hoy en día, para que la piscicultura sea una actividad socialmente viable y económicamente rentable, sus procesos se deben enfocar en los conceptos de eficiencia en general, así como en los estándares modernos de sostenibilidad. La piscicultura continental tiene importantes restricciones en el uso del agua. Por una parte, ya que esta normalmente proviene de ríos o quebradas, las autoridades competentes limitan los volúmenes de captación; por otra, como el agua residual de la piscicultura queda fuertemente contaminada, existen controles que requieren tratamientos químicos antes de ser vertida nuevamente a los afluentes naturales. Toda vez que los procesos de recuperación de la calidad del agua implican costos adicionales, los piscicultores deben tratar de minimizar los volúmenes de agua utilizados.

Brechas tecnológicas en agricultura

Las innovaciones tecnológicas están creando grandes oportunidades para el mejoramiento de la eficiencia energética. En Colombia, desde finales del milenio pasado, se comenzó a implementar tecnología de automatización y de sistemas (*Supervisory Control and Data Acquisition*, Scada). En las fábricas de procesamiento de bebidas y alimentos, por ejemplo, o en las plantas del sector de hidrocarburos, entre otros, hoy día las operaciones no podrían imaginarse siquiera sin la utilización de sensores electrónicos, el control mediante interfaces hombre-máquina, ni computadores y tecnología de comunicación para disponer de la información digital correspondiente a los procesos productivos. Por el contrario, en la generalidad del sector agrícola, el aprovechamiento de tecnologías disponibles para conseguir operaciones más eficientes es muy bajo.

De cara al futuro, la urgencia por la sostenibilidad global obliga a que la agricultura sea repensada para revertir esta situación. Es así como la FAO sostiene que, durante este decenio que comienza, se vislumbra una “revolución agrícola digital” en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), para aprovechar el potencial que tiene la agricultura de satisfacer necesidades de la población, de tipo alimentario, de empleo, de generación de riqueza y cuidado del medio ambiente.

Las innovaciones y tecnologías digitales pueden ser parte de la solución. La denominada “cuarta revolución

industrial” (industria 4.0), que integra tecnologías como la cadena de bloques, internet de las cosas, inteligencia artificial y realidad inmersiva, ofrece oportunidades para integrar a los agricultores en un sistema digital, que permita monitorear las cadenas de valor en tiempo real y en forma hiperconectada, con capacidad de hacer gestión más detallada y precisa (Trendov, Varas y Zeng, 2019).

Para el caso concreto de la piscicultura, se presenta entonces la oportunidad de integrar las actuales tecnologías de medición de la energía y de los parámetros de calidad del agua en los estanques, con tecnologías de comunicaciones para acceso remoto de información. Al utilizarlas en el marco de la norma ISO 50001, junto a métodos de análisis de información adecuados, es posible configurar sistemas de gestión altamente estandarizados, compactos y de fácil implementación.

Sistemas de gestión de la energía ISO 50001

La norma ISO 50001 es el documento en el que se especifican los requisitos para un sistema de gestión de la energía (SGEn) de una organización, que le permiten establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar continuamente la eficiencia en el uso de la energía, en favor de la competitividad y reducción de GEI. Esta define un sistema de gestión de la energía, como el conjunto de elementos de una organización interrelacionados para establecer la política energética, con objetivos y metas energéticas, así como los planes de acción y los procesos para darle cumplimiento (Icontec, 2019). Como aparece en el esquema siguiente (figura 4), la norma está basada en el modelo PHVA (Planear

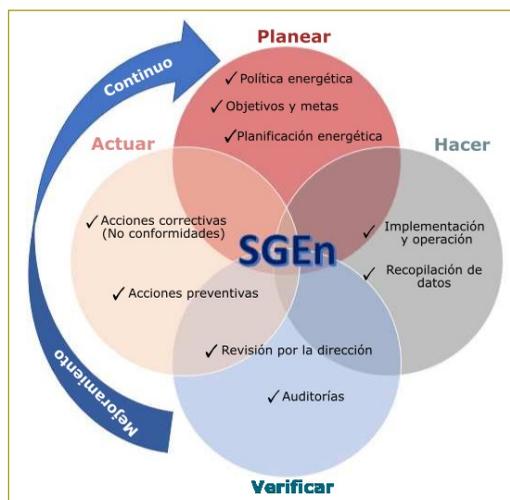


Figura 4. Esquema de SGEn ISO 50001 en ciclo PHVA.

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001 (primera actualización).

- Hacer - Verificar - Actuar), utilizado en los estándares ISO 9001 e ISO 14001 para los sistemas de gestión de la calidad y ambiental, respectivamente, ampliamente conocidos por la industria y el comercio colombianos, lo cual favorece su implementación en el país.

El proceso medular de un SGEn ISO 50001 es la planificación energética, toda vez que en él se procesa la información referente al uso que la organización hace de la energía, con el propósito de diagnosticar su desempeño y obtener planes de acción que conduzcan a la eficiencia. Se puede describir como el conjunto de actividades que conforman un proceso, el cual toma como entrada las condiciones actuales del empleo de la energía en una organización, y las transforma en planes de acción para mejorar su desempeño energético (figura 5).

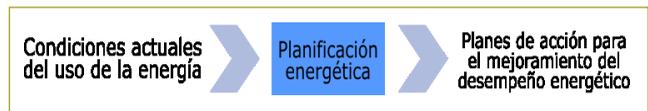


Figura 5. Esquema de proceso de una planificación energética.

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001 (primera actualización).

Aunque el significado de “eficiencia energética” puede considerarse intuitivo, una definición que goza de bastante aceptación es la del Lawrence Berkeley National Laboratory: “Utilizar menos energía en la prestación de igual servicio” (OCDE/IEA, 2016). La Directiva de Eficiencia Energética de la Unión Europea la considera como la relación entre el resultado en desempeño, bienes, servicios o energía, y una cantidad determinada de energía de entrada. Emplear la energía de una manera eficiente implica reducir su demanda, para obtener menores costos de consumo, disminuir las emisiones de GEI y otros contaminantes, bajar los requerimientos de inversiones en infraestructura y aumentar la seguridad energética de la sociedad en general (Erbach, 2017).

Un indicador conveniente a la hora de analizar el desempeño energético de un sistema productivo es la intensidad energética, que es la relación entre la energía consumida y la producción.

MARCO TEÓRICO

Factores que afectan el comportamiento diario de OD en los estanques

El problema que se presenta en la piscicultura es que la tasa de consumo de oxígeno debido a las actividades biológicas que tienen lugar en los estanques es mayor que la tasa de recuperación por medio del intercambio químico con la atmósfera. Por esta razón, las fuentes naturales de oxígeno se deben complementar utilizando aireación mecánica. La energía necesaria debido a este uso se podría reducir si se evita la operación de los aireadores cuando el nivel de oxígeno disuelto (OD) es superior al mínimo límite requerido. Para estimar este ahorro potencial, se requiere construir las curvas de OD a lo largo del día, para cada semana de los ciclos productivos. Aunque la dinámica del oxígeno disuelto en los estanques depende de procesos que están influenciados por muchas variables físicas, químicas y biológicas, que la hacen realmente compleja, el análisis se puede simplificar considerando los aportes y consumos de los principales factores que influyen.

En condiciones de estanqueidad total, es decir, sin que se lleve a cabo el proceso de recambio de agua, la curva de $OD_i(t)$ en un intervalo de tiempo determinado queda definida por la ecuación (1), en la que para cada instante t , OD_F es el oxígeno disuelto neto generado por el fitoplancton, OD_V es el oxígeno que aporta el viento, OD_S el oxígeno consumido por el sedimento, y OD_{Bn} el oxígeno que consumen los peces de acuerdo con la masa corporal en la semana n . Cada componente de la ecuación está dado en unidades de masa de O_2 sobre volumen.

$$OD_i(t) = OD_F(t) + OD_V(t) - OD_S(t) - OD_{Bn}(t) \quad (1)$$

El factor que más aporta al OD en los estanques es la producción neta de oxígeno a causa del fitoplancton, la cual es máxima cuando la densidad poblacional del fitoplancton es intermedia. Para poblaciones con densidades bajas, las tasas de fotosíntesis por unidad de biomasa son altas debido a que la cantidad de luz es mayor; sin embargo, hay poco fitoplancton para desarrollar fotosíntesis.

Por otra parte, para densidades altas, debido a la turbidez del agua, hay menos luz a profundidades cercanas a la superficie y, además, mayores consumos de oxígeno. En la figura siguiente (figura 6) se muestran las

variaciones de las concentraciones de OD en estanques con diferentes densidades de fitoplancton durante un periodo de 24 horas, que ya incluyen las afectaciones por el viento y la sedimentación.

Se observa que las concentraciones de OD son menores cuando empieza la mañana y su valor se va incrementando gradualmente hasta un máximo que ocurre al final de la tarde, y luego decrece durante la noche (Boyd y Lichtkoppler, 1979).

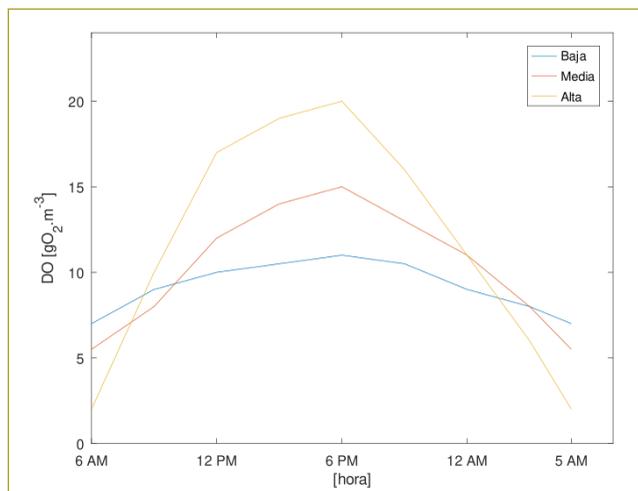


Figura 6. Curva de OD para densidades bajas de fitoplancton. Fuente: Boyd y Tucker (1998). *Pond aquaculture water quality management*.

El recambio de agua también incide en el OD, según los caudales que se manejen, aunque estos son menores debido a las restricciones al uso del agua. Teniendo en cuenta la variación de OD en el estanque por cuenta de los recambios de agua diarios, donde hay diferencia de OD en los flujos de entrada y salida, la variación de la masa de oxígeno $O(t)$ queda definida por la ecuación (2) en $[gO_2/h]$:

$$\frac{dO(t)}{dt} = Q_e \cdot DO_e - Q_s \cdot DO(t) + V_k \cdot \frac{dDO_i(t)}{dt} \quad (2)$$

Donde $O(t)$ es la cantidad de oxígeno en el instante t , expresado en $[gO_2]$, con el oxígeno disuelto dado en $[mgO_2/L]$; DO_e es el del agua que entra; $DO(t)$ es el resultante de la mezcla del agua nueva con la que yace en el estanque antes del recambio, y $OD_i(t)$ es el que se mantiene en el estanque afectado por fitoplancton, viento, sedimento y respiración de los peces, determinado por la ecuación (1); Q_e y Q_s son los caudales de entrada

y salida, respectivamente; V_k es el volumen del estanque dado en $[m^3]$, que permanece constante.

En razón de que, durante el recambio, el caudal de entrada es igual al de salida, haciendo $Q_e = Q_s = Q$, la ecuación (2) en $[gO_2/h]$ queda así:

$$\frac{dO(t)}{dt} = Q \cdot DO_e + V_k \cdot \frac{dDO_i(t)}{dt} - Q \cdot DO(t) \quad (3)$$

Por otro lado, se tiene que para todo instante t , la cantidad de oxígeno en el estanque es igual al producto del OD , por el volumen del estanque. Entonces:

$$O(t) = DO(t) \cdot V_k \quad [gO_2] \quad (4)$$

Derivando, y teniendo en cuenta que V_k es constante:

$$\frac{dO(t)}{dt} = \frac{dDO(t)}{dt} \cdot V_k \quad [gO_2] \quad (5)$$

Igualando las ecuaciones (3) y (5), se obtiene la ecuación (6) en $[gO_2/m^3h]$, donde $dDO_i(t)/dt$ es la tasa de cambio del OD en el estanque por los demás factores diferentes del recambio.

$$\frac{dDO(t)}{dt} + \frac{Q}{V_k} \cdot DO(t) = \frac{Q \cdot DO_e}{V_k} + \frac{dDO_i(t)}{dt} \quad (6)$$

METODOLOGÍA

La ISO 50001, al ser pensada para cualquier tipo de organización, brinda libertad sobre la forma de construir un SGen, en el sentido de que es la organización la que, en el proceso de planificación, define su desempeño energético, fija sus propias metas energéticas y también la forma de demostrar su cumplimiento con la mejora del desempeño definido. Por lo tanto, es indispensable que los esfuerzos invertidos en la planificación se canalicen para conseguir SGen acordes con los tamaños y contextos de las organizaciones, con las premisas de que sean realizables y realistas, considerando los recursos materiales y humanos disponibles, así como también que su implementación y mantenimiento sean eficientes en sí mismos; de esta manera, la estructuración de los requisitos estipulados en la ISO 50001 y el modelo PHVA

constituyen el marco metodológico de la planificación energética desarrollada en SFF.

Por su parte, la dinámica de los procesos productivos que se llevan a cabo, al igual que los criterios de operación que se manejan y el “saber hacer” de la granja piscícola, dieron las pautas para la construcción de los procedimientos que se consideraron más adecuados para la organización a corto plazo. La planificación energética es el proceso principal de la ISO 50001, que interactúa con los demás componentes del sistema de gestión para mantener un mejoramiento continuo.

Una vez asegurado el liderazgo, establecida la política energética y comprendido el contexto de la organización, la norma requiere que en la planificación se lleve a cabo la revisión energética, que consiste en identificar los tipos de energía utilizados y, mediante análisis, evaluar sus usos actuales y pasados, determinando los usos significativos de la energía (USE).

La planificación requiere determinar indicadores energéticos para hacer seguimiento a los USE, así como establecer líneas base que sirvan como referencia para posteriores revisiones al desempeño. También hay que definir un plan de recopilación de datos y determinar oportunidades para mejorar el desempeño energético. Con los resultados se especifican los objetivos y metas del SGen, y además se establecen los planes de acción para alcanzarlos.

A continuación, se presenta la metodología seguida (figura 7).

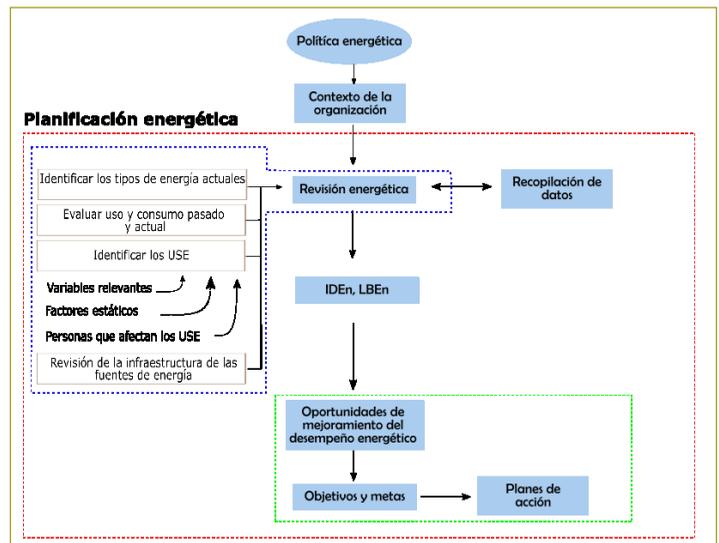


Figura 7. Diagrama de flujo que describe la metodología para el desarrollo de la planificación energética en SFF.

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001 (primera actualización).

En SFF se llevan a cabo actividades propias de la piscicultura de la especie tilapia nilótica, desarrollando dos tipos de proceso: alevinaje y engorde. Los procesos de alevinaje tienen una duración de siete semanas y se llevan a cabo en estanques con mayor infraestructura que los de engorde, recubiertos con mallas de nailon para proteger la producción, puesto que cuando los peces están muy pequeños, son más vulnerables a las aves de presa. Los peces con biomasa en el rango de 3-5 g se depositan en un estanque y se crían hasta que alcanzan biomasa alrededor de 30 g, para luego trasladarlos a otro estanque donde entran al proceso de engorde o se venden a otras piscícolas. A diferencia de los procesos de alevinaje, en los cuales la duración de los ciclos se ajusta a la programación, en los procesos de engorde existen mayores oscilaciones en los tiempos planeados, ocasionadas por las condiciones del mercado. No obstante, se busca que estos ciclos sean desarrollados hasta obtener peces con biomasa entre 500 g y 600 g.

El área total de las instalaciones de la granja piscícola es de 120.198 m². Actualmente, dispone de once estanques de producción, construidos en tierra; además, tiene un estanque adicional, utilizado como sumidero de las aguas residuales. El agua se toma de un canal de riego cuya fuente es el río Fortalecillas, afluente del río Magdalena. Las aguas residuales deben depositarse en el sumidero, donde se realiza un proceso de decantación antes de vertirlas nuevamente al canal de riego.

REVISIÓN ENERGÉTICA

La revisión energética se enfocó en la caracterización de la demanda para cada uno de los tipos de procesos productivos, alevinaje y engorde, para determinar sus desempeños actuales en términos de energía consumida por unidad de producción, es decir, de intensidad energética.

La infraestructura eléctrica está conformada por un transformador de media a baja tensión de 112,5 kVA, con respaldo de un generador diésel. Hay ramales aéreos para distribución de baja tensión que alimentan los tableros de los aireadores localizados cerca de los estanques, desde donde el operador de la granja piscícola los enciende y apaga manualmente. Para el proceso de pesca, se utiliza una grúa con un motor eléctrico de 3 HP para alzar la red con los peces capturados hasta las compuertas de un camión cisterna que se parquea sobre

la vía de acceso. Además, la energía se utiliza para la iluminación, cargas menores para actividades de mantenimiento y una unidad de vivienda en el interior de la granja piscícola donde reside el operador con su familia.

En SFF, la energía eléctrica se utiliza exclusivamente para actividades relacionadas con la producción piscícola, ya sean operativas o administrativas. La identificación de las cargas instaladas, así como sus condiciones de operación, se hizo mediante descripción del operador de la granja piscícola. Posteriormente, los parámetros nominales de las cargas se verificaron midiendo con analizador de redes y una pinza voltiamperimétrica que tiene funcionalidad de medición de energía para periodos cortos. En la figura siguiente se muestran las cargas que componen la demanda (figura 8).

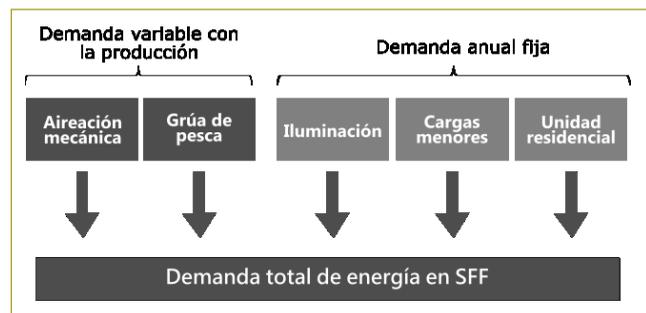


Figura 8. Esquema de las cargas que componen la demanda en SFF.

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de consumos

En virtud de que no existe submedición, los usos de la energía se deben estimar de acuerdo con mediciones de potencias nominales y criterios de operación. La demanda de iluminación corresponde a 12 reflectores tipo LED que funcionan todos los días desde las 6:00 p.m. hasta las 6:00 a.m.; con mediciones se verificó que la potencia nominal es de 140 W, en tanto que el consumo por las cargas menores se calculó de acuerdo con un promedio mensual estimado por el operador. Además, se determinó que el consumo de la vivienda es acorde con la demanda típica de una unidad residencial de la zona rural. Para el caso de la grúa de pesca, se midió la energía consumida durante una actividad de pesca mientras se cargaba un camión cisterna y de acuerdo con la biomasa izada el factor de consumo fue de 1 [Wh/kg].

En cuanto a la aireación mecánica (AM), para mantener la cantidad de oxígeno requerida en los estanques los

aireadores operan durante los tiempos en que los valores de OD bajan a niveles críticos. De este modo, la variable que determina su funcionamiento es el oxígeno disuelto; si el valor medido en un estanque es menor de 3 [mg/L], entonces se activa la aireación mecánica (figura 9).

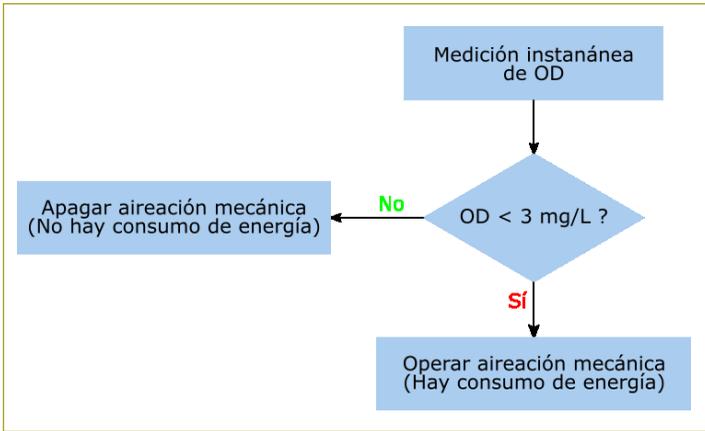


Figura 9. Criterio para activación de aireación mecánica.
Fuente: Elaboración propia.

Los aireadores utilizados son de tipo *splash*, con capacidades de 2 HP, cuya cantidad depende del tamaño del estanque, densidad de siembra y etapa del proceso productivo. En un estanque con cinco aireadores, se verificó que sus potencias de operación variaban desde 1,48 kW hasta 1,79 kW, así que para los cálculos se decidió utilizar un promedio de 30 aireadores, los cuales se pusieron en funcionamiento en un momento determinado. La potencia registrada fue de 45,3 kW, lo que dio como resultado una potencia promedio de 1,51 kW por aireador.

Se verificó que el factor de potencia de los aireadores es 0,7, por lo cual se dispone de un banco de condensadores en el barraje principal, para compensar la energía reactiva total aportada por los aireadores. Para ambos tipos de proceso, se calculó el índice de consumo (IC), es decir, el consumo promedio de energía en un periodo sobre la producción promedio en el mismo periodo. Para el cálculo de las biomasa se tuvo en cuenta el crecimiento de la biomasa registrado en un ciclo de alevinaje y en otro de engorde, considerando las tasas de supervivencia constantes durante toda la duración de los ciclos. El de alevinaje se desarrolló en el estanque 3 con 300.000 alevinos iniciales, densidad de siembra de 72,1 pez/m² y tasa de supervivencia de 80 %. El de engorde se desarrolló en el estanque 5 con 87.000 peces iniciales, densidad de siembra de 8,8 pez/m² y tasa de supervivencia de 90 %. En las tablas siguientes (tablas 3 y 4) se muestran las esti-

maciones realizadas para los ciclos de alevinaje y engorde, obteniéndose índices de consumo de 0,233 kWh/kg y 0,383 kWh/kg, respectivamente.

Tabla 3
Estimación de índices de consumo en un ciclo de alevinaje utilizando los criterios de operación

Semana	Biomasa [kg]	Número de aireadores	Tiempo semanal [h]	Energía semanal [kWh]	Energía semanal [kWh]	Índice de consumo [kWh/kg]
1	1,832	1	84	127	127	0,069
2	2,687	1	84	127	254	0,094
3	4,101	2	84	254	507	0,124
4	5,580	2	84	254	761	0,136
5	6,661	3	84	381	1.142	0,171
6	7,457	3	84	381	1.522	0,204
7	8,160	3	84	381	1.903	0,233

Tabla 4
Estimación de índices de consumo en un ciclo de engorde utilizando los criterios de operación

Semana	Biomasa [kg]	Número de aireadores	Tiempo semanal [h]	Energía semanal [kWh]	Energía semanal [kWh]	Índice de consumo [kWh/kg]
1	5.616	2	84	254	254	0,045
2	7.664	2	84	254	507	0,066
3	9.428	2	84	254	761	0,081
4	10.750	3	84	381	1.142	0,106
5	11.902	3	84	381	1.522	0,128
6	13.140	3	84	381	1.903	0,145
7	14.250	3	84	381	2.283	0,160
8	15.044	4	84	507	2.790	0,185
9	15.889	4	84	507	3.298	0,208
10	17.173	4	84	507	3.805	0,222
11	18.826	4	84	507	4.313	0,229
12	20.678	5	84	634	4.947	0,239
13	22.616	5	84	634	5.581	0,247
14	24.528	6	84	761	6.342	0,259
15	26.258	6	84	761	7.103	0,271
16	27.785	6	84	761	7.864	0,283
17	29.672	7	84	888	8.752	0,295
18	32.350	7	84	888	9.640	0,298
19	35.189	8	84	1.015	10.655	0,303
20	37.446	8	84	1.015	11.669	0,312
21	38.937	9	84	1.142	12.811	0,329
22	39.807	9	84	1.142	13.952	0,351
23	40.960	9	84	1.142	15.094	0,369
24	43.181	9	84	1.142	16.236	0,376
25	45.830	10	84	1.268	17.504	0,382

Consumo pasado y USE

Para evaluar el consumo de energía pasado, por la misma razón de que en la granja piscícola actualmente no existe submedición, se hicieron dos cosas. Por una parte, se recurrió a la facturación efectuada en los años 2017-2019 por el operador de red, que es Electrohuila, considerando que las veces que hubo cortes en el suministro por medio de la red externa se operó con el generador diésel de respaldo, teniendo en cuenta un factor de 90 % en la confiabilidad de las redes de esta empresa.

Por otra parte, tomando la información histórica de la biomasa cosechada en cada proceso durante el periodo 2017-2019, para estimar la demanda por concepto de grúa de pesca se utilizó el factor de consumo medido; para la AM se tomaron los índices de consumo estimados al final de cada ciclo y se consideraron las cargas fijas. Se encontró que los resultados obtenidos de las dos formas son aceptablemente aproximados para los años 2017 y 2019, y se corroboró que la AM es por mucho el uso de la energía que demanda el mayor consumo, representado con el 92,5 % del total de energía utilizada durante el periodo analizado 2017-2019 (figura 10) y se determinó como el USE en la planificación desarrollada.

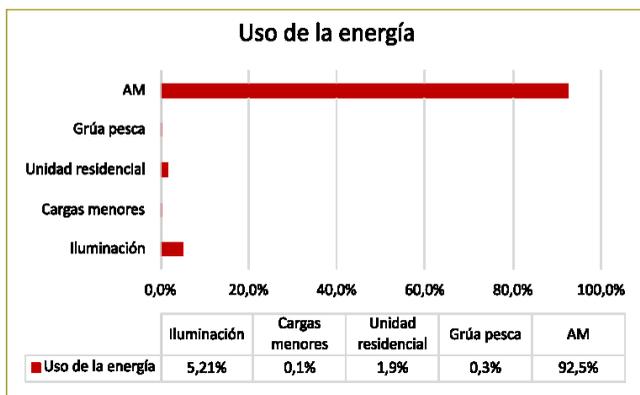


Figura 10. Usos principales de la energía eléctrica en SFF, de acuerdo con la producción y los consumos de energía registrados en el periodo 2017-2019.

Fuente: Elaboración propia.

Indicadores de desempeño (IDEn) y líneas base (LBEn)

Los indicadores de desempeño energético (IDEn) son unidades o medidas del desempeño energético que la organización debe definir en su SGEN, de acuerdo con los procesos productivos y apropiados para hacerles seguimiento. En el caso de SFF, como el requerimien-

to de energía eléctrica asociado a la AM depende de la etapa de crecimiento de los peces, y debido a que siempre hay producciones que van en etapas distintas en cada estanque, por lo cual sus tasas de consumo de oxígeno también difieren, no son recomendables IDEn que abarquen más de un estanque.

Adicionalmente, las condiciones que se presentan en cada ciclo productivo se pueden considerar particulares debido a las múltiples variables involucradas, como las climáticas, o tipos de comida, factores biológicos propios de la procedencia de los alevinos sembrados, enfermedades o tasas de supervivencia no esperadas. Así, para el desarrollo de la planificación energética se consideró apropiado definir los índices de consumo de cada ciclo.

La norma requiere que, cuando existan variables relevantes que puedan afectar la equivalencia de las condiciones específicas en dos periodos que sean objeto de comparación, se debe efectuar una normalización de las LBEn. Para esto, se pueden utilizar las variables relevantes que no son controlables. Como los IDEn definidos dependen de una determinada densidad de siembra que puede variar en cada ciclo, se decidió normalizarlos dividiéndolos por el valor de la densidad de siembra y multiplicándolos por 1000, de tal modo que los IDEn normalizados están dados en unidades de $[kWh.m^2/kg.pes]$. A continuación, se describen los IDEn definidos:

- $IE_nBa_i = (Ea_i)/(Ba_i)$ es el índice de consumo energético en ciclo de alevinaje, definido como la relación entre la energía eléctrica consumida en un ciclo productivo de alevinaje i , Ea_i , y la producción de biomasa en ese mismo ciclo Ba_i . Sus unidades están dadas en $[kWh/kg]$.
- $IE_nBe_i = (Ee_i)/(Be_i)$ es el índice de consumo energético en ciclo de engorde, definido como la relación entre la energía eléctrica consumida en un ciclo productivo de engorde i , Ee_i , y la producción de biomasa en ese mismo ciclo Be_i . Sus unidades están dadas en $[kWh/kg]$.

La herramienta de comparación de las variaciones ocurridas en el desempeño, conforme a los resultados obtenidos en las revisiones energéticas, son las líneas base que se construyen con valores de los IDEn en condiciones específicas. En las figuras siguientes (figuras

11 y 12) se representan las líneas base con sus respectivas normalizaciones, para ambos tipos de proceso. En razón de que en SFF se continúan buscando densidades de siembra que resulten óptimas financieramente, se estimaron valores para cada uno de los IDEn en rangos de densidades de siembra que son usuales en la granja piscícola. Sin embargo, todas las curvas representadas corresponden a un mismo desempeño energético, determinado por los criterios de operación actuales, con los que se calcularon. Se tiene que los valores de los indicadores se incrementan a medida que los procesos productivos avanzan en el tiempo, puesto que el consumo de energía aumenta a una tasa mayor que la de crecimiento de la biomasa.

Por otra parte, se observa también que las curvas se desplazan hacia arriba a medida que crecen las densidades de siembra, ya que mayores poblaciones de peces requieren mayores cantidades de oxígeno y, en consecuencia, mayor número de aireadores operando.

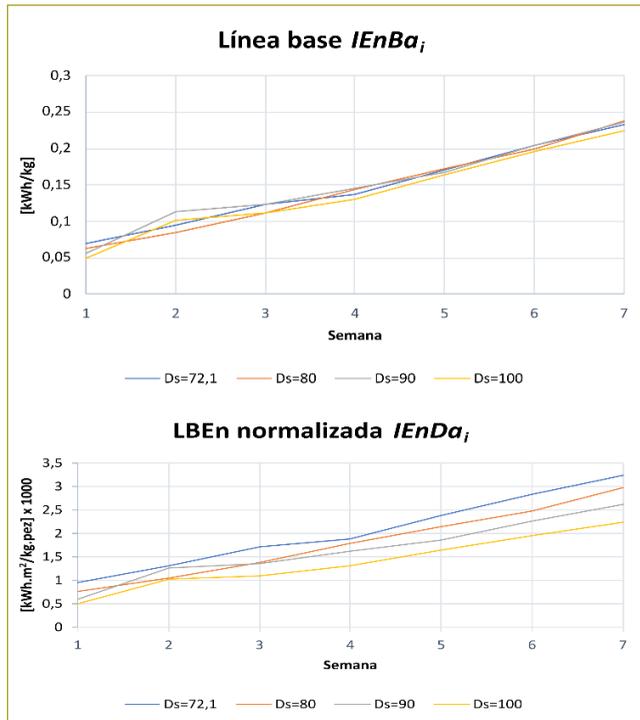


Figura 11. LBEn para los IDEn definidos, que equivalen a un mismo desempeño energético con diferentes valores de D_s en ciclos de alevinaje.

Fuente: Elaboración propia.

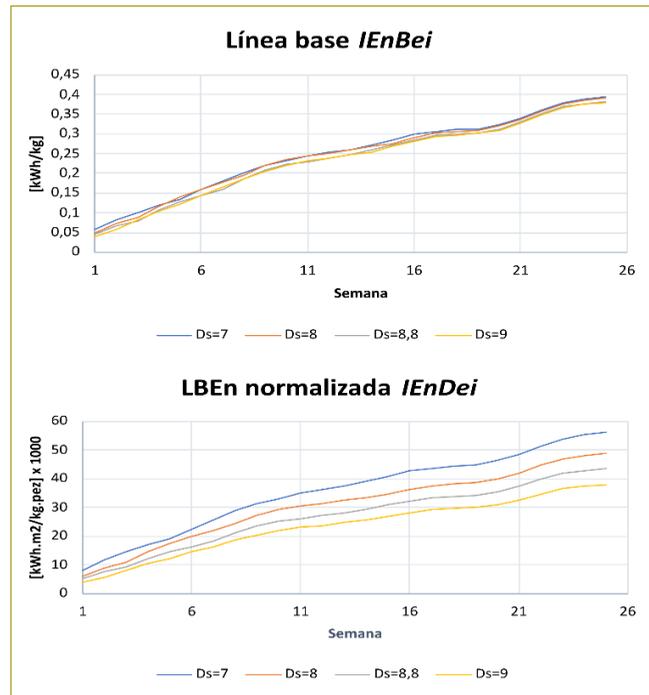


Figura 12. LBEn para los IDEn definidos, que equivalen a un mismo desempeño energético con diferentes valores de D_s en ciclos de engorde.

Fuente: Elaboración propia.

Recopilación de datos

Para hacer seguimiento a los IDEn definidos para el desarrollo de la planificación energética en SFF, se necesita que en cada ciclo productivo se mida la energía consumida y se registre la producción. Para esto, se requiere que se implemente submedición en cada uno de los tableros de arrancadores y que desde un mismo tablero no se alimenten aireadores de estanques distintos. Considerando que quincenalmente se hacen mediciones muestrales de la biomasa de los peces, en los mismos periodos se deberá registrar la energía consumida en los tableros asociados al ciclo productivo. En un formato único para determinado ciclo, deberá apuntarse el consumo de energía, biomasa de la muestra de peces y estimación de la población de acuerdo con el factor de supervivencia observado. Estos datos también se deberán registrar en caso de un evento especial en el ciclo que afecte el consumo de energía, como por ejemplo una pesca parcial o picos de mortalidad. Dicho formato deberá contener, en su encabezado, la información correspondiente a la fecha de inicio, densidad de siembra, cantidad de peces sembrados, y al final, también deberá registrarse la biomasa obtenida en la pesca. Los valores

que se registren al final de cada ciclo serán los utilizados para el cálculo de los IDEn definidos.

Oportunidades de mejoramiento

Las oportunidades de mejoramiento del desempeño en la planificación están basadas en reducir las brechas tecnológicas en el monitoreo del OD (y así controlar de manera directa la variable relevante). Se identificó que las mediciones actuales de tipo manual, que se realizan a los niveles de OD en los estanques, pueden resultar afectadas en su precisión por diferentes factores, ya que las condiciones del agua en un punto específico son susceptibles de cambios entre los momentos de medición debido al movimiento de los peces, los recambios de agua, la lluvia o el viento. Así, se propone implementar un sistema de monitoreo automático que tome mediciones en intervalos de tiempo aceptablemente reducidos; aun cuando el punto de medición seguiría siendo estático, se obtendrían tendencias más ajustadas del comportamiento del OD a lo largo del día.

Al hacer un sondeo de mercado en el sector de la piscicultura en Colombia, se encuentran disponibles equipos de marcas reconocidas, que permiten supervisión continua, así como generar registros históricos mediante aplicaciones dedicadas con *software* de supervisión. Así mismo, es posible utilizar sondas de medición conectadas físicamente a dispositivos de comunicaciones inalámbricos, que emplean tecnología satelital o GPR para hacer llegar los datos a internet, desde donde se pueden visualizar en PC o teléfonos inteligentes y mejorar el control de los tiempos de operación de la AM, así como obtener información requerida para relacionarla con los de la submedición de energía y buscar el mejoramiento continuo mediante la implementación de un SGEN ISO 50001, como se representa a continuación (figura 13).

RESULTADOS

Los ahorros potenciales de energía que se podrían conseguir mediante la implementación de un sistema de monitoreo automático se calcularon analizando el comportamiento diario del OD en los estanques, con base en los aportes y consumos de los principales factores que lo afectan. SFF tiene autorizado actualmente un suministro de agua de 18 L/s por parte de las autoridades ambientales, y dentro de lo que esta limitación



Figura 13. Esquema propuesto de SGEN.

Fuente: Elaboración propia.

implica, de todas maneras, diariamente se procura hacer recambios menores de agua con el objeto de desgasificar los estanques de sustancias nocivas, limpiar sedimentación y evitar colores verdosos.

En razón de esto, en los análisis realizados se tomaron de una figura anterior (figura 6) los datos correspondientes a producción de oxígeno por poblaciones de fitoplancton de bajas densidades. Utilizando hoja de cálculo, se tiene que la tendencia de la curva sigue la ecuación (7) en $[mg\ O_2/L]$ con $R^2 = 0,9785$. Es importante subrayar que esta curva corresponde a producciones en días soleados y que incluye las afectaciones por el viento y la sedimentación.

$$OD_f\ vs(t) = -0,023t^2 + 0,573t + 7,245 \quad (7)$$

La tasa de respiración de los peces utilizada fue la determinada por Schroeder con su fórmula general en función de la biomasa individual de un pez, que aunque aproximada, es útil para determinar el consumo de oxígeno a temperaturas en el rango 20-30 °C, donde W es la masa de un pez dada en g (Boyd y Tucker, 1998).

$$\text{Consumo_oxígeno} = W^{0,82} [mgO_2 / \text{pez.h}] \quad (8)$$

Resolviendo la ecuación (6) con los datos de la tabla siguiente (tabla 5), y utilizando GNU Octave, se hicieron simulaciones para obtener en cada semana el instante en que el OD llega al límite mínimo establecido, lo que permite calcular el tiempo en que estrictamente se requiere poner en funcionamiento los aireadores. El sistema automático de monitoreo de OD señalaría

estos momentos. En las figuras siguientes (figuras 14 y 15), se muestran las curvas resultantes de la dinámica de OD para un día típico en ambos tipos de proceso.

Tabla 5

Datos utilizados en simulaciones con GNU Octave de dinámica de OD en un día típico

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad de siembra P. Alevinaje	[pez/m ²]	72,1-100,0
Densidad de siembra P. engorde	[pez/m ²]	7,0-10,0
Profundidad promedio de estanque	[m]	1,8
Caudal de recambio	[m ³ /h]	36
Temperatura de estanque	[°C]	29
Presión atmosférica en Tello	[atm]	0,9968
OD agua de suministro	[mg O ₂ /L]	5
Inicio de recambio	[Hora]	6:00 p.m.
Final de recambio	[Hora]	6:00 a.m.
Densidad de fitoplancton	-	Baja

Ahora, tomando los tiempos de AM estrictamente requeridos, pero manteniendo el criterio actual para la determinación del número de aireadores, se calcularon nuevamente los IC. No obstante, las reducciones de tiempo calculadas se han obtenido considerando la curva de aporte neto de OD por el fitoplancton en días despejados, razón por la cual es necesario aplicar un factor de corrección que contemple los días nublados, durante los cuales el aporte del fitoplancton es menor.

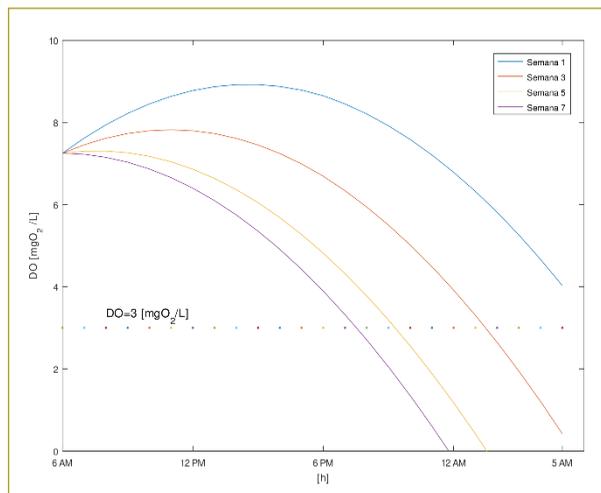


Figura 14. Dinámica de OD durante un día típico, para diferentes semanas en el proceso de alevinaje.

Fuente: Elaboración propia.

Para esto, se recurrió a la información meteorológica disponible en The Power Project (NASA Prediction of Worldwide Energy Resources), tomando en cada mes la cantidad de días totalmente despejados o parcialmente nublados, de acuerdo con las probabilidades de ocurrencia correspondientes a la hora 012 GMT en la ubicación de SFF. Así, se estima que en el año hay 134 días, en los cuales es factible la reducción de tiempo de operación de los aireadores; por ende, el ahorro en el consumo de energía proyectado se restringe a un 36,7 %.

Finalmente, resulta que en los procesos de alevinaje podrían conseguir ahorros hasta de 14,3 % con $D_s = 72,1 \text{ pez/m}^2$ y en los de engorde de 14,8 % con $D_s = 7 \text{ pez/m}^2$.

CONCLUSIONES

En la granja piscícola SFF, ubicada en el municipio de Tello (Huila), en la que se cultiva tilapia nilótica, se desarrolló la planificación energética basada en la norma ISO 50001, con el objetivo de encontrar mecanismos que permitan reducir los costos asociados al consumo de energía, ocasionados principalmente por la utilización de aireación mecánica en los estanques de producción, que funciona con motores eléctricos. Esta iniciativa se originó atendiendo a la necesidad que hoy en día tienen las organizaciones de adoptar un rol activo sobre sus propios requerimientos energéticos; en consecuencia, con los cambios de paradigmas que

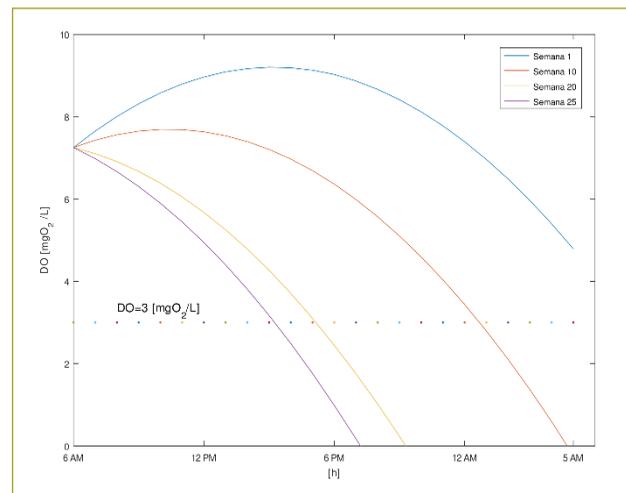


Figura 15. Dinámica de OD durante un día típico, para diferentes semanas en el proceso de engorde.

Fuente: Elaboración propia.

están aconteciendo a escala global respecto a la gestión de la energía, con el propósito de que los aparatos productivos sean competitivos, al mismo tiempo que sostenibles. Mediante la construcción de las líneas base de los indicadores de desempeño definidos en la planificación energética desarrollada, se obtuvo la caracterización de la demanda, que permitiría hacer proyecciones en consumos de acuerdo con la producción planeada, al igual que hacerles seguimiento. Se identificó la AM como el uso más significativo que se hace de la energía en SFF, con el OD como la variable relevante que provoca su consumo.

Conseguir mejoras en el desempeño de la AM produciría impactos significativos en el incremento de la eficiencia energética de la granja piscícola. El método actual de medición manual e instantánea de OD no permite el aseguramiento de la operación de los aireadores estrictamente cuando es necesario y el número de mediciones diarias queda limitado por la disponibilidad del recurso humano, que también debe atender muchas otras actividades; por lo tanto, se dificulta hacer seguimiento a las variaciones del OD, ya que pocas mediciones distanciadas en el tiempo quedan afectadas por variaciones en la homogeneidad del agua que no se pueden controlar, entre los instantes de cada medida. Los planes de acción resultantes de la planificación energética en SFF están basados en el aprovechamiento de las mejores tecnologías actualmente disponibles en el mercado para la medición del OD.

Como resultado de simulaciones analíticas de la variación diaria del OD, considerando los volúmenes productivos y criterios de operación actuales en SFF, así como el crecimiento de la biomasa verificada en un ciclo de alevinaje con $72,1 \text{ pez}/\text{m}^2$ sembrados, y en otro de engorde con $8,8 \text{ pez}/\text{m}^2$, se tiene que podrían conseguirse ahorros en el consumo de energía hasta de 14,3 % en procesos de alevinaje y de 14,8 % en los de engorde.

El potencial de reducciones de tiempo de AM se reduce a medida que aumentan las densidades de siembra, puesto que, en poblaciones mayores, los tiempos requeridos de AM superan los considerados para las densidades de siembra que actualmente se manejan en SFF. En virtud de que las simulaciones analíticas se hicieron suponiendo un mismo comportamiento del crecimiento de la biomasa con diferentes valores de las densidades de siembra, y considerando las obser-

vaciones hechas por el personal operativo de la granja piscícola, en el sentido de que es posible que el crecimiento de la biomasa disminuya cuando se incrementa el tamaño de las poblaciones, cabe suponer, que en ese caso, los índices de consumo de energía sean menores que los obtenidos en las simulaciones; sin embargo, incluso en ese caso, también se debe tener en cuenta que la cantidad de aireadores y sus tiempos de operación también se reducirían, ya que el requerimiento de oxígeno de los peces depende sus biomasa.

La tecnología disponible actualmente en el mercado ofrece sistemas de medición capaces de registrar medidas en intervalos de cinco minutos o menos, que permitirían construir con mucho mayor precisión las tendencias del comportamiento del OD durante todos los días de los ciclos de producción, facilitando ajustes en los tiempos de operación de los aireadores, buscando que el consumo de energía se efectúe estrictamente cuando es requerido. Se realizó la evaluación técnica y económica a un sistema de monitoreo continuo de OD, que incluye una estación de monitoreo en cada uno de los once estanques de producción. Cada estación consiste en una sonda de medición de OD y otra de temperatura, que deben sumergirse en el agua. Los datos registrados son subidos a la nube y administrados en una plataforma web accesible en PC o teléfono inteligente.

Al observar los análisis y evaluaciones desarrollados en la planificación energética para SFF, se recomienda tener en cuenta para los planes de acción, priorizar la implementación del control de la AM con monitoreo continuo de OD, ya que se lograría un impacto sobre la eficiencia energética como tal de la granja piscícola, lo cual contribuiría a mitigar los riesgos asociados a los incrementos en las tarifa de energías, así como los causados por las restricciones en el uso del agua, que se prevé que aumenten a corto plazo debido a los efectos del calentamiento global. Se necesita también la submedición de energía eléctrica, mediante la instalación de medidores en los tableros de los aireadores, para poder hacer seguimiento al desempeño energético de cada ciclo de producción.

En resumen, es recomendable un SGEN en SFF, debido a que el consumo de energía eléctrica es un componente de peso en los costos totales de producción.

REFERENCIAS

- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (2019). Aunap. Resolución 1607 del 25 de julio de 2019. Disponible en [https://www.aunap.gov.co/2021/11/16/acuicultura-de-subsistencia-un-paso-adelante-para-fortalecer-la-actividad/#:~:text=Por %20medio %20de %20la %20Resoluci %C3 %B3n,en %20el %20uso %20 del %20agua](https://www.aunap.gov.co/2021/11/16/acuicultura-de-subsistencia-un-paso-adelante-para-fortalecer-la-actividad/#:~:text=Por%20medio%20de%20la%20Resoluci%C3%B3n,en%20el%20uso%20del%20agua).
- Boyd, C. y Lichtkoppler, F. (1979). Water quality management in fish culture. *Research and Development Series*, 22, 7-9. Disponible en <https://aurora.auburn.edu/bitstream/handle/11200/1088/0192FISH.pdf?sequence=1>.
- Boyd, C. y Tucker, C. (1998). *Pond aquaculture water quality management*, 75-84. Kubler Academics Publishers. Disponible en <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-5407-3>.
- Erbach, G. (2017). Understanding energy efficiency. *European Parliament Research Service* (EPRS), 1. Disponible en [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI\(2015\)568361_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI(2015)568361_EN.pdf).
- FAO (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma, no. CC BY-NC-SA 3.0 IGO, p. vii. Disponible en <https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-state-of-world-fisheries-and-aquaculture/es>.
- Fawks, S. (2016). *A brief history of energy efficiency. Only Eleven Percent. Blog*. Disponible en <https://www.onlyelevenpercent.com/a-brief-history-of-energy-efficiency/>.
- Icontec (2019). Norma técnica colombiana NTC-ISO 50001 (primera actualización). Requisitos con orientación para uso, 2019. Adopción idéntica por traducción de la ISO 50001: 2018.
- International Energy Agency (2017a). Energy efficiency 2017. *Market Report Series*, 11. Disponible en <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2017>.
- International Energy Agency (2017b). Energy efficiency 2017. *Market Report Series*, 76. Disponible en <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2017>.
- International Energy Agency (2018a). Energy efficiency 2018: analysis and outputs. *Market Report Series*, 99. Disponible en <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2018>.
- International Energy Agency (2018b). Energy efficiency 2018: analysis and outputs. *Market Report Series*, 110-112. Disponible en <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2018>.
- Merino, C., Salazar, G. y Gómez, D. (2006). *Guía práctica de la piscicultura en Colombia*, 1. Incoder. Disponible en <https://www.aunap.gov.co/documentos/OGCI/Guia-Practica-de-Piscicultura-en-Colombia.pdf>.
- Ministerio de Agricultura (2020). *Cadena de la acuicultura*. Presentación, 4 y 11, primer trimestre 2020. [https://sioc.minaagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2020-12-30 %20 Cifras %20Sectoriales.pdf](https://sioc.minaagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2020-12-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf).
- OCDE/IEA (2016). *Indicadores de eficiencia energética: fundamentos estadísticos*, 18-19. Disponible en <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00332.pdf>.
- Therkelsen, P., McKane, A., Sabouni, R., Tamm, Y., Rao, P. y Scheihing, P. (2015). Development of an Enhanced Payback Function for the Superior Energy Performance Program. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, Buffalo, NY, 7. Disponible en <https://www.osti.gov/servlets/purl/1237331>.
- Trendov, N. M., Varas, S. y Zeng, M. (2019). Tecnologías digitales en la agricultura y zonas rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (pp. 1-2). Roma. Disponible en <https://www.fao.org/3/ca4887es/ca4887es.pdf>.
- Unidad de Planeación Minero Energética (2017). Plan de acción indicativo de eficiencia energética, 2017-2022, p. 12.