DOI: http://dx.doi.org/10.30972/eitt.604393

Calentamiento de estanques para piscicultura mediante manta térmica y captadores flotantes

Ing. Mareva Yamile Gutierres Sosa[1]; Dr. Gustavo Raúl Figueredo[2]; Ing. Hugo Daniel Zurlo[3]

RESUMEN

La acuicultura es un importante sector de producción alimenticia animal con un continuo crecimiento durante los últimos años. Los peces pueden criarse en granjas y son sensibles a las fluctuaciones en la temperatura del agua, sobre todo a los descensos en los meses invernales que pueden disminuir la tasa de reproducción, el crecimiento y ocasionar la muerte de los mismos en casos más extremos, por lo que este parámetro debe ser controlado. Se presentan los resultados de los ensayos efectuados en dos modelos a escalas de estanques, consistentes en piletas de 0,5 m de ancho por 1 m de largo y 0,5 m de profundidad. En la primera se trabajó colocando en su superficie diferentes materiales flotantes y la segunda funcionó como testigo. Se ensayaron captadores flotantes con cubierta curva de acetato y mantas térmicas o film alveolar. Las experiencias fueron efectuadas bajo las condiciones climáticas del NEA durante la temporada invernal y de primavera. Se diseñó y ensayó un colector solar flotante con una doble cubierta de acetato que tuvo una respuesta aceptable respecto al incremento de temperatura buscado. Pueden obtenerse efectos mejores maximizando el área de la superficie transparente captadora de la radiación solar y disminuyendo lo mayor posible el área de los bordes del colector, ya que se comprobó que de esta manera se obtuvieron mayores incrementos de temperatura. Para mostrar los resultados obtenidos se representaron las diferencias entre dos piletas de ensayo para los distintos modelos de colectores.

[1] (UTN-FRRe-GITEA, mareygs@gmail.com

[2] UTN-FRRe-GITEA, grfigueredo@gmail.com

[3] UTN-FRRe-GITEA, hzurlo@gmail.com

Palabras clave: captadores solares flotantes, mantas térmicas, estanques piscicultura.

INTRODUCCIÓN

El uso térmico de la energía solar para sistemas de calefacción de agua es una de las tecnologías más empleadas mundialmente. Los invernaderos son los sistemas más aplicados ya que proveen incrementos significativos en la temperatura del agua, las mantas solares también presentan resultados similares. Sin embargo, hay poca información disponible sobre colectores solares probablemente debido a su elevado costo inicial.

Se analizaron alternativas de bajo costo para el calentamiento de agua de estanques para piscicultura. Esto se debe a que en la temporada de invierno la temperatura ambiente cae por debajo de 10 ˚C y esto ocasiona un aumento en la mortalidad de peces y una gran reducción en la producción. La buena salud de los peces y la tasa de producción son funciones de la temperatura del agua del estanque. Zhu et., (1998) analizaron las principales pérdidas de calor del agua para un sistema de invernadero y mencionaron que la mejor manera de mantener el aislamiento es controlando los siguientes flujos de calor: la convección entre la cubierta y el aire exterior, la radiación térmica entre la cubierta y el suelo y la radiación térmica entre la cubierta y la superficie del agua. Dilip Jain, (2005) presentó un modelo analítico transitorio de la eficiencia de un invernadero para calentamiento de un estanque para piscicultura. Los estudios paramétricos involucraron los efectos de longitud, ancho, profundidad e inclinación del revestimiento del estanque de peces. El rendimiento del estanque de peces se evaluó en términos de ganancia de temperatura, eficiencia térmica media y nivelación de la carga térmica. La principal restricción económica en las actividades invernales de un estanque de cultivo de peces es la necesidad de realizar operaciones en un estanque cubierto para mantener las temperaturas adecuadas del agua. Hasta el presente, pocos autores han informado sobre el modelado térmico de un estanque de invernadero de piscicultura para predecir la temperatura del estanque durante todo el año. Klemestson y Rogers, (1985) probaron un estanque de refugio de invernadero o plástico que podría lograr un aumento de 2,8-4,4 ˚C en la temperatura del agua de cada mes del año en comparación con un estanque al aire libre. Zhu et., (1998) reportó que un sistema de estanques de invernadero modelizado puede lograr una mejora de 5,2 ˚C en la temperatura del agua de un estanque de 1 m de profundidad, en comparación con la temperatura del aire exterior.

Se estima que acontecerá un gran desarrollo de la piscicultura en la región

del NEA. Actualmente en la provincia de Chaco, en la localidad de la Leonesa, se cultiva arroz con rotación de pacú, lo que trae beneficios medioambientales y económicos. Con una densidad de 2.000 peces sembrados por hectárea se logra una producción de entre 3.000 y 3.500 kilos de pacú por hectárea. Actualmente se alcanzaron las 850 hectáreas. En septiembre en una pileta recién armada, se siembra arroz en forma convencional, en seco como cualquier cultivo, ese arroz se cosecha en marzo del siguiente año, momento en el que se inunda con 80 centímetros de agua y se siembran los juveniles de pacú de 200 gramos, que en lo que queda de ese año, se alimentan de los restos del cultivo, el rastrojo, las plagas de arroz (como los caracoles), las malezas que puedan haber quedado y el plancton que resulta de las descomposición de todas estas materias. Al llegar la primavera, cuando las temperaturas superan los 20 grados, se le da al pacú alimento balanceado, y para abril-marzo, se obtiene el producto terminado que se pueden empezar a capturar entre marzo y septiembre del siguiente año con un peso de aproximadamente 1,8 kg. Entonces, a la primavera siguiente se puede volver a sembrar arroz, en un sistema que puede ser pre-germinado. Martínez Dodda, (2019)

Para los próximos años se estima un aumento en la producción de pacú por lo cual es de gran importancia el estudio de proceso de la influencia de la temperatura del agua con el fin de mantener controlada la misma en los meses de invierno. Según una noticia reportada por el Instituto Universitario de Formosa, en la localidad de Laguna Blanca se prevé también la implementación de un sistema de cultivo arroz con rotación de cría de peces en el ámbito universitario. Será el segundo del país en realizar este tipo de rotación, es el primero en la provincia, pero sobre todo, el primero en un ámbito universitario, donde lo criado y lo cosechado será para utilizar en el comedor universitario próximo a inaugurarse y si existe un sobrante podrá ser comercializado. Agenfor, (2019).

En la región del NEA, la provincia de Misiones es la primera en producción comercial de peces cultivados de aguas cálidas de la Argentina, siendo la única provincia del NEA que desarrolla política de estado en el Desarrollo de la Acuicultura (piscicultura). Existen aproximadamente (no censados) 2000 productores que poseen estanques utilizados como reservorios de agua y aprovechan para criar peces. Estimándose una superficie de 1000 ha. En este contexto, teniendo en cuenta el desarrollo que va teniendo la piscicultura tanto a nivel de pequeños productores, cooperativas y empresas privadas, se puede estimar que en el término de diez años, la piscicultura en Misiones alcanzará una producción

de aproximadamente 7.000 (siete mil) toneladas. Más Producción, (2019).

Cabe mencionar que, junto con Misiones, también Formosa, Corrientes, Chaco, Santa Fe y Salta, están encarando la piscicultura, con diferentes grados de desarrollo y planificación. El mayor establecimiento productor se halla en la Provincia de Misiones, estimándose que existen más de 20 productores pequeños y medianos dedicados a su cultivo. Sus producciones pueden abarcar desde una hectárea hasta 150 ha y con proyecciones de mayor tonelaje. Más Producción, (2019).

Cuando se analizan los motivos que dieron origen a la iniciativa comercial, surge entre ellas el avance de las aguas contaminadas, las modificaciones ocasionadas por las represas hidroeléctricas en los lechos de los ríos y los cambios sustanciales que se han producidos en el ecosistema. Estos factores, sumados a la pesca indiscriminada, y otros fenómenos acompañantes han contribuido a la notoria disminución de la "capacidad de carga" de los ríos, ya muy lejana a la originaria, por lo que el mejoramiento de la situación apunta a la siembra de juveniles en algunos tramos de los grandes ríos. Martínez Dodda, (2019).

En Misiones, la empresa Cultivo Dorado, perteneciente a Gerula SA, que produce además la yerba mate Romance, arrancó hace cuatro años con la nueva unidad de negocios, entre San José y Apóstoles, donde reproduce pacú, boga, sábalo, surubí, dorado y salmón de río (estos tres últimos en extinción). Cultivo Dorado posee una estación de reproducción, estanques para engorde y un frigorífico para la faena. "Es un negocio sustentable con protección del medio ambiente. En este rubro, el futuro estará vinculado a todo lo que sea cultivo, porque los ríos no van a tener peces para proveer o porque estarán protegidos para pescar", aseguró el gerente. La empresa cerró el pasado viernes su primera venta a una cadena de supermercados. Friedlander, (2019)

Se presentan las evoluciones en función del tiempo para diferentes condiciones climáticas de: i) las temperaturas, ii) los flujos de calor intercambiados; para dos estanques: a) un estanque abierto a la atmósfera, utilizado como testigo, sin utilizar ningún dispositivo adicional y b) otro estanque en el que sucesivamente se ubicaron los captadores flotantes y las mantas térmicas para incrementar la temperatura. Se establece cuales son las características que más influyen y cuál es el dispositivo que mejor resultado ofrece.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de la temperatura del agua en las piletas se

realizaron mediciones cada 15 minutos mediante sensores de temperatura tipo Pt100 envainados en acero inoxidable, conectados mediante 3 conductores con un sistema de adquisición de datos de 6,5 dígitos de la marca Rigol. En cuanto a la medición de la temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y otras variables meteorológicas se realizaron mediciones cada 10 minutos mediante una estación meteorológica modelo Vantage PRO2 de la marca Davis que incluye: pluviómetro, anemómetro y sensores de temperatura, humedad y radiación solar. Para mejor precisión, los sensores de humedad y temperatura estuvieron ubicados en su correspondiente abrigo meteorológico.

Para ensayar los diferentes modelos de colectores solares se construyeron dos piletas que simulan a un estanque de 65 cm de profundidad, 60 cm de ancho x 110 cm de largo. Se utilizaron placas de 3 cm de espesor de poliestireno expandido como aislante en el fondo y las paredes. La impermeabilización se logró con un film de polietileno y la estructura se basó en un marco de perfiles de hierro cerrado por chapas galvanizadas.

Atendiendo a las premisas que se habían establecido en la etapa de diagnóstico, entre ellas que el captador sea liviano, de bajo costo, construcción sencilla, sin partes en movimiento y sin consumo de energía, se diseñó en primer lugar un captador consistente en un marco rectangular de poliestireno expandido cubierto por una lámina de acetato, para favorecer el efecto invernadero y reducir las pérdidas por evaporación entre otras ventajas. Durante los ensayos se detectaron dos inconvenientes importantes: en primer lugar la cara inferior de la lámina de acetato se cubría de gotas debido a la condensación del vapor de agua, lo que disminuía la trasmitancia de radiación de la cubierta. En segundo lugar, sobre la superficie superior se acumulaba el agua del rocío nocturno y de lluvia. Para solucionar el primer inconveniente se ensayaron colectores de doble cubierta de acetato, la inferior en contacto directo con el agua y la superior en contacto con la atmósfera, generando en su interior una cámara estanca que evita la presencia de vapor y su posterior condensación. Estos colectores de doble cubierta se ensayaron y se obtuvieron mejoras térmicas importantes, pero adolecían todavía del inconveniente del agua de rocío y de lluvia que a su vez favorecían el rápido y progresivo ensuciamiento de la cubierta superior.

Para solventar este último inconveniente se diseñó un captador con la superficie superior con una doble pendiente en V invertida, de forma que se escurra el agua de rocío y de lluvia, favoreciendo su secado y reduciendo consecuentemente el ensuciamiento.

Figura 1: Vistas del captador flotante curvo

El captador está construido en base a tres mamparos de poliestireno expandido de alta densidad, que le dan forma y estructura al estar recubiertos por una sola lámina de acetato que hace de cubierta inferior, rodea a los mamparos y también hace de cubierta superior con pendiente "a dos aguas" (*figura 1).* Entre las dos caras y los mamparos se forman 2 volúmenes estancos que le provén flotabilidad, generan el efecto invernadero y minimizan las pérdidas de calor por convección y evaporación del agua.

Figura 2: Vista de la pileta con la manta térmica y detalle de la misma.

Como manta térmica se utilizó una membrana de polietileno con burbujas, conocida como *film alveolar*, utilizada comúnmente para embalaje, la cual poseía burbujas de aproximadamente 10 mm de diámetro y de 4 mm de altura, llenas con aire. La manta seca y limpia de 0,36 m2 de superficie se colocó sobre la superficie del agua de una de las piletas para realizar los ensayos *(Figura 2).*

BALANCE ENERGÉTICO

En un trabajo previo se desarrolló un modelo termodinámico simple que describe los cambios en la energía interna de las piletas al aire libre que simulan los estanques de acuicultura, (Gutierres *et al.*, 2018). Suponiendo despreciables los flujos de energía relacionados con las filtraciones de agua hacia las napas subterráneas, los originados en las lluvias, en los desbordamientos de agua, los relacionados al agua de reposición y a los intercambios con las paredes de las piletas, la conservación de la energía en estado transitorio estará dada por:

$$\left(\frac{dU}{dt}\right) = q_{rad} - q_{evap} \pm q_{fondo} \pm q_{conv} = \mathrm{Q_{neto}} \qquad (1)$$

La variación de la energía interna U con respecto al tiempo t es igual al calor neto intercambiado Q_{neto} que incluye el calor intercambiado por radiación Q_{rad}, por conducción a través del fondo Q_{fondo}, por convección en la superficie Q_{conv} y el necesario aporte para la evaporación del agua Q_{evap}. La energía interna dentro del volumen de control está dado por:

$$U = m_w C\ T \qquad (2)$$

En el modelo la masa de agua m_w y el calor específico C se suponen constantes. Durante las experiencias se mide el tiempo y la temperatura del agua de las piletas T, por lo cual se puede calcular la derivada de la temperatura con respecto al tiempo. Conocidos la masa del agua contenida en la pileta y la derivada de la temperatura con respecto al tiempo se puede calcular el calor neto intercambiado.

$$Q_{neto} = m_w C \left(\frac{dT}{dt}\right) \qquad (3)$$

RESULTADOS

Inicialmente se efectuaron pruebas en las piletas sin usar ningún tipo de colector. Los resultados evidenciaron que puede existir una diferencia entre ambas de hasta 0,2 ˚C, esto se debe a los errores asociados al proceso de medición en sí mismo.

Experiencias con captador flotante curvo

En la *figura 3* se exponen parte de los resultados de una experiencia realizada desde el 20/06/19 a las 12:00 pm hasta el día 16/08/19 a las 10:20 am. Al inicio del periodo seleccionado se produce la entrada de un frente frío con un abrupto descenso de temperaturas y posteriormente se mantiene un periodo de tiempo estable con temperaturas ambiente mínimas de 5°C y máximas de 25°C aproximadamente.

En los gráficos, la temperatura del agua de la pileta con el captador se designa como T_c/col, y corresponde a la línea continua de color negro, mientras que la temperatura del agua de la pileta testigo se nombra como T_s/col y corresponde a la línea continua de color rojo. La temperatura del aire ambiente (T_amb) se representa con la línea color verde. Todas las temperaturas están expresadas en grado Celsius. La velocidad del viento promedio para un periodo de 15 minutos (Vel.V) está en Km/h.

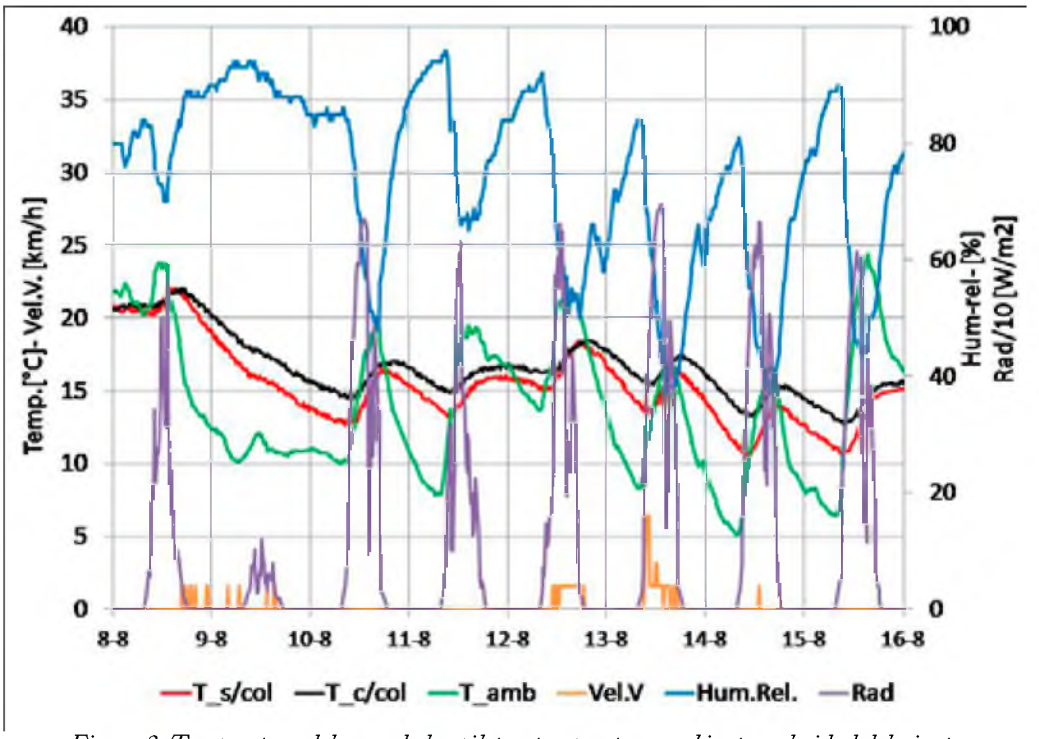

Figura 3: Temperatura del agua de las piletas, temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar para 8 días.

Durante el periodo analizado las velocidades del viento no tuvieron valores significativos, a excepción del día 13/08 que tuvo un viento entre 2 m/s y 6 m/s. A pesar de esto, las curvas de calentamiento y enfriamiento mantienen su comportamiento, por lo cual podría decirse que éste fenómeno no influye en las pendientes. La humedad que se representa en los gráficos se refiere a la humedad relativa, la cual tuvo un valor promedio del 73 % para los días de ensayo. La radiación solar sobre superficie horizontal máxima alcanzada fue de 693 W/m2, a las 13:00 hs el día 13/08, presentando los días cercanos radiaciones máximas similares.

En la pileta 2 se emplazó el captador curvo. La superficie ocupada por el captador en la pileta de ensayo es de 0,32 m2, lo cual representa un 56% de la superficie total. El resto, un 44%, es la superficie no cubierta en la pileta, se deja con el fin de favorecer la oxigenación del agua. El captador tiene un 87% transparente (acetato) y el 13% restante corresponde a la superficie de los bordes opacos (poliestireno).

En el gráfico se visualiza una mayor pendiente en las curvas de calentamiento y enfriamiento para la temperatura en la pileta en la que no se instaló el captador (línea continua roja). Lo cual significa que el flujo neto de calor es mayor en la pileta sin el captador, y en consecuencia cuando la temperatura del aire exterior alcanza los valores mínimos, la temperatura del agua de la pileta con el captador es mayor que la de la pileta sin captador.

Para efectuar un análisis energético, a partir de los datos experimentales, se determinaron las pendientes promedio de las curvas de temperatura en función del tiempo para los periodos estables de calentamiento (entre las 12 y 16hs) y los de enfriamiento (entre las 19 y 6hs), dichos resultados se exponen en la *tabla 1.* A partir de estas pendientes se determinaron, mediante la ecuación (3),

Pileta	Proceso	Pendientes de la evolución de las temperaturas [K/día]					Prom.	Flujo Neto de calor [W]
		11/08	12/08	13/08	14/08	15/08		
c/col	Cal.	8,1	8,6	7,3	9,5	10,4	8,8	132
	Enf.	-0,6	-4,6	-6,3	-3,8	0,4	-3,0	-45
s/col	Cal.	8,3	13,6	14,5	13,2	15,3	13,0	207
	Enf.	-0,9	-7,0	-8,9	-5,0	0,0	-4,0	-70

Tabla 1: Pendientes de las evoluciones de temperaturas y flujos netos de calor hacia piletas para los periodos de calentamiento y de enfriamiento.

los flujos netos de calor intercambiados entre el agua de las piletas y el ambiente, considerando que la masa de agua contenida en las piletas es de 320 kg.

El flujo neto de calor determinado corresponde al indicado en la ecuación (3). Comparando los resultados obtenidos para los dos casos, se observa que tanto la ganancia como la pérdida de calor al exterior ocurren más rápidamente en el caso de la pileta sin captador que en la pileta con el captador. El Flujo Neto de calor durante las horas de calentamiento para la pileta con el captador es de 132 W, mientras que para la pileta sin el captador es de 207 W. El Flujo Neto de calor durante las horas de enfriamiento para la pileta sin el captador es de -70 W, mientras que para la pileta con el captador es de - 45 W. La radiación solar se obtuvo mediante la estación meteorológica y sabiendo que el área de las piletas es 0,57 m2 se obtiene la potencia total que incide sobre cada pileta, durante el periodo de calentamiento de los días considerados el promedio asciende a 211 W

Experiencias con mantas térmicas

En la figura 4 se exponen parte de los resultados de una experiencia realizada desde el 20/06/19 a las 12:00 pm hasta el día 16/08/19 a las 10:20 am. El periodo seleccionado corresponde a un periodo de tiempo estable, desde el 22/08 a las 00:00 hs hasta el día 30/08 a las 23:00 hs, con temperatura ambiente máxima de hasta 35 ˚C y una mínima absoluta del periodo de 8,9 ˚C, el día 23/10 a las 07: 30 hs.

En el gráfico se visualiza una diferencia de temperatura del agua de las piletas que es cercana a los 1 ˚C (valor promedio para los 5 primeros días de la experiencia) y de 1,5 ˚C máxima diferencia para los dos primeros días de ensayo.

Para los días de la experiencia la velocidad del viento fue baja, sin embargo, el día 26/08 alcanzó un máximo de 3 m/s que provocó que la manta se doblara y que quedara arrugada sobre la superficie de la pileta. Debido a esto, las curvas de calentamiento y enfriamiento mantienen diferencias entre sí hasta ese día, a partir del cual las curvas se enciman y no hay diferencia significativa entre la temperatura el agua de las piletas. La humedad que se representa en los gráficos se refiere a la humedad relativa, la cual tuvo un valor promedio del 73 % para los días de ensayo. La radiación solar sobre superficie horizontal máxima alcanzada fue de 710 W/m2, a las 13:00 hs el día 29/08, presentando los días cercanos radiaciones máximas similares.

Temperatura del agua en lagunas aledañas

Con el objetivo de contrastar las mediciones hechas en las piletas de ensayo contra situaciones reales, se realizaron determinaciones de la

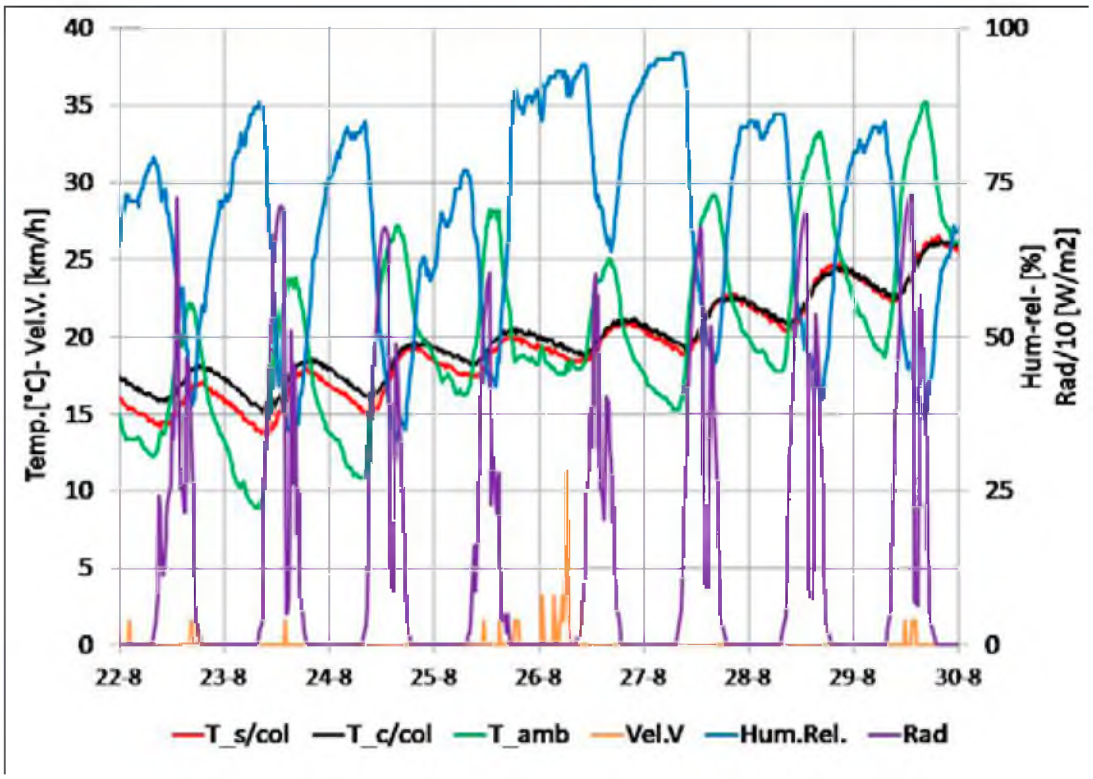

Figura 4: Temperatura del agua de las piletas, temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar para 8 días.

temperatura del agua en dos lugares de una laguna ubicada entre las avenidas Vélez Sarsfield y Laprida de la cuidad de Resistencia Chaco *(Figura 5 y tabla 2)*. Las mediciones se efectuaron bajo las condiciones atmosféricas de un día frío de invierno con una temperatura ambiente de 11,5°C cerca de las 9:00 am.

Figura 5: Señalización del lugar de toma de muestras.
Flecha celeste: "Zona A". Flecha naranja: "Zona B"

Fecha	Hora	Tw	Ubicación	Descripción
05/09/2019	08:54	13,9	Zona A	Medición a 25 cm de profundidad
05/09/2019	09:00	13,9	Zona A	Medición a 50 cm de profundidad
05/09/2019	09:05	15,8	Zona A	Medición en el fondo, aprox. 1m de prof.
05/09/2019	09:10	14,8	Zona B	Medición a 25 cm de profundidad
05/09/2019	09:15	15,8	Zona B	Medición a 50 cm de profundidad
05/09/2019	09:20	16,2	Zona B	Medición en el fondo, aprox. 1m de prof.

Tabla 2: Temperaturas del agua del estanque, profundidad máxima 50 cm

En los registros de la temperatura del agua de las piletas de ensayo se observó que, para el día y hora de las mediciones en la laguna, la temperatura media del agua de las piletas fue de 13°C, mientras que la temperatura media del agua de la laguna Arguello fue de 15°C. La diferencia no es muy grande, teniendo en cuenta que las dimensiones son muy diferentes con la excepción de la profundidad que son similares.

Determinaciones de oxígeno disuelto

Una variable del agua muy importante para la piscicultura es el oxígeno disuelto en el agua. Se determinó el oxígeno disuelto en el agua, en mg/L, utilizando una sonda marca Lutron, sumergiéndola en el estanque a diferentes profundidades. Los resultados se presentan en las siguientes líneas *(tabla 3)*.

Fecha	Hora	Tw	OD	Ubicación	Descripción
05/09/2019	08:54	14,2	10,7	Zona A	Medición a la altura del sensor
05/09/2019	09:20	15,9	7,8	Zona B	Medición a la altura del sensor

Tabla 3: Oxígeno disuelto en el agua del estanque, en mg/L.

Además, se determinó el oxígeno disuelto en el agua de las piletas con y sin colector y en el agua de red *(tabla 4)*.

En conclusión, para temperaturas similares, el agua de las piletas de ensayo tiene mayor contenido de oxígeno disuelto. Esto es debido a la vegetación presente en la laguna Arguello.

Discusión de Resultados

El aumento de la temperatura del agua entre la pileta con el captador solar y sin el mismo fue de 1,1 °C en promedio (para los 5 días ensayados)

Fecha	Hora	Tw	OD	Descripción
04/09/2019	12:00	27,6	6,4	Agua de red
04/09/2019	12:05	23,7	7,9	Agua de red
04/09/2019	12:15	17,2	10,4	Temperatura del agua de la pileta c/col
04/09/2019	12:20	16,1	10,4	Temperatura del agua de la pileta s/col
04/09/2019	12:35	16,5	9,4	Temperatura del agua de la pileta c/col
04/09/2019	12:30	15,9	10,1	Temperatura del agua de la pileta s/col

Tabla 4: Oxígeno disuelto en el agua de las piletas, en mg/L.

durante las horas de calentamiento y de 1,2 ˚C para las horas de enfriamiento. Se observa que para las horas de calentamiento la temperatura del aire fue de 3,2 ˚C (promedio) superior que el agua de la pileta con captador, mientras que para las horas de enfriamiento la temperatura del agua fue 2,9 ˚C superior a la temperatura del aire, lo cual es favorable ya que para éste período es necesario mantener la temperatura del agua evitando descensos bruscos durante los meses de invierno.

Zhu et al., (1998) simularon mediante un programa informático el comportamiento de un invernadero con un recubrimiento de polietileno durante los meses de invierno, en Bélgica, obteniéndose que la variación de temperatura del agua de un estanque en promedio puede aumentar en 5,2 ˚C en comparación con la temperatura del aire ambiente exterior. Aplicando el modelo, determinaron las temperaturas del aire en el interior del invernadero y la temperatura del agua para un invernadero de polietileno para los meses de invierno. Para el caso extremo de temperaturas mínimas se extrae el dato de que la diferencia de temperatura entre el agua y la temperatura del aire exterior es de 10 ˚C. Las experiencias con los captadores solares flotantes demuestran que se pueden obtener efectos similares. Comparando este dato con las figura 4, se observa que para los días donde se alcanzan las temperaturas ambientes mínimas, la diferencia de temperatura entre la del agua y la del ambiente es de 8,9 ˚C para la pileta con colector y de 6,4 ˚ C pileta sin colector, los cuales son valores cercanos a los obtenidos por Zhu et al., (1998).

Debido a que en la región hay días calurosos, incluso durante de los meses de invierno, donde se alcanzan temperaturas mayores que 30˚C en algunos casos, esto ocasionaría una dificultad en el uso de mantas térmicas, ya que según lo estudiado por Baughan Wisely, John Holliday y Ray MacDonald [7], el rango térmico de trabajo para la

mayoría de los materiales con los que se hacen las mantas, tiene como límite esa temperatura y superándola se produce una separación de las capas ocasionando la pérdida de la misma en periodos cortos de tiempo menores a un mes.

Conclusiones y perspectivas

Los ensayos realizados muestran que para la región del Nordeste Argentino con el uso de los captadores flotantes curvos se pueden conseguir incrementos significativos de la temperatura en relación con la temperatura ambiente durante los horarios más críticos, temprano en la mañana. Simultáneamente, si se comparan ambos estanques (con y sin colector) se observa que las diferencias de temperaturas mínimas ascienden a 1,8 °C para el ensayo con el colector curvo y 1,5 °C para el ensayo con la manta térmica También se observó que durante la tarde de días de tiempo estable la temperatura ambiente es superior a la temperatura de ambos estanques.

Con el colector curvo la temperatura del agua de la pileta puede ser superior hasta en 2˚C, respecto a l pileta testigo, presentando un incremento de temperatura en promedio de 1,1 ˚C para los días ensayados.

Durante una ola de frío en la que la temperatura el aire disminuyó desde 23,8 ˚C (08/08/19, 11:45 pm) hasta 10˚C (10/08/19, 07:00 am), el colector curvo produjo un incremento cercano a 2 ˚C de la temperatura del agua. Para el día más frío, con una temperatura ambiente mínima de 10 °C la temperatura mínima del agua de la pileta con el captador fue de 14,7˚C es decir 4,7 °C por sobre la del ambiente.

A partir de las pendientes de las curvas de temperatura-tiempo se estableció que el flujo neto de calor durante el periodo diario de calentamiento en promedio es de 132 W (ingresando), teniendo en cuenta que durante ese periodo se recibió una radiación solar de 211 W se concluye que se trasmitió por otros fenómenos (convección radiación, conducción) 79 W hacia el ambiente.

El captador flotante curvo mostró buen comportamiento antes las lluvias que no penetraron al interior y escurrieron rápidamente, también antes los vientos ya que a pesar de ser muy livianos no fueron arrastrados durante las tormentas y tampoco el ensuciamiento fue relevante luego de estar expuesto más de dos meses a la intemperie.

Referencias

AGENFOR [en línea]. El Instituto Universitario de Formosa realizará la primera siembra de arroz con rotación al pacú. Agenfor. Dirección URL < https://agenfor.com.ar/el-instituto-universitario-de-formosa-realizara-la-primera-siembra-de-arroz-con-rotacion-al-pacu/> [Consulta: 17 de Septiembre de 2019].

BAUGHAN WISELY, JOHN E. HOLLIDAY and RAY E. MacDONALD (1981). Heating an Aquaculture pond with a solar pool blanket.

DILIP JAIN. (2005). Modeling the thermal performance of an aquaculture pond heating with greenhouse. Building and environment 42, p. 557-565

FARÍAS P., SANDOVAL M., SANCHEZ S., FIGUEREDO G. Revisión de alternativas tecnológicas para el calentamiento solar de estanques para acuicultura (2015). Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 3, pp. 02.21-02.32, 2015.

FRIEDLANDER MARINA [en línea]. Cultivo de Peces: un negocio sustentable que trae surubí, dorado y pacú a la mesa de los argentinos. Info.Campo.com.ar, Dirección URL<https://www.infocampo.com.ar/cultivo-de-peces-un-negocio-sustentable-que-trae-surubi-dorado-y-pacu-a-la-mesa-de-los-argentinos/> [Consulta: 17 de Septiembre de 2019].

GUTIERRES SOSA MAREVA YAMILE, SPOTORNO RUBÉN, POCHETTINO JUAN JOSE, ZURLO HUGO Y FIGUEREDO GUSTAVO RAUL (2018). Modelización Termodinámica para estanques de Piscicultura.

KLEMETSON S.L., ROGERS G.L. (1985) Aquaculture pond temperature modeling. Aquacult Eng; 4 p.191-208.

MARTINEZ DODDA, JUAN I. [en línea]. Historias Productivas, una innovadora receta de arroz con pacú en Chaco. Clarín. Dirección URL <https://www.clarin.com/rural/innovadora-receta-arroz-pacu-chaco_0_BkYR7qtcM.html >[Consulta: 17 de Septiembre de 2019].

MÁS PRODUCCIÓN, [en línea]. Acuicultura en Misiones. Más Producción. Dirección URL <http://masproduccion.com/acuicultura-en-misiones/>[Consulta: 17 de Septiembre de 2019].

MOLINA MARTÍNEZ JOSÉ MIGUEL, V. MARTÍNEZ ÁLVAREZ, BAILLE A. Y GONZÁLEZ-REAL M.M. (2006). Estimación de la evaporación en embalses de riego mediante un modelo de balance de energía. En: Ingeniería Del Agua Vol. 13 No. 3

ZHU S, DELTOUR J, WANG S. (1998). Modeling the thermal characteristics of grrenhouse pond systems. Aquaculture Eng18, p.201-17.