

ESTIMACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA PLANTA PILOTO DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA ACUICULTURA DE LA PUCP

ESTIMATE OF DISSOLVED OXYGEN IN THE PILOT PLANT RECYCLING OF WATER FOR AQUACULTURE OF THE PUCP

J. Dávalos P.^a y F. Vilela L.^b

RESUMEN

El objetivo del trabajo presentado es la determinación de la cantidad de oxígeno disuelto OD en la Planta piloto de recirculación para la crianza de tilapia de la PUCP mediante la evaluación de las variables de impacto. El OD es una de las variables críticas para la crianza de la tilapia debido a su importancia en el engorde ya que a bajos niveles ocasiona estrés en los peces, lo que en consecuencia significa la disminución de su apetito. El sistema permitirá conocer el OD de la planta piloto. Se utilizó análisis estadístico de los datos, de regresión y representación difusa de los datos de las variables medidas. El sistema difuso tiene un error de estimación del 6.38 % y un coeficiente de correlación de 0.98. Es posible mejorar la precisión aumentando la cantidad de reglas difusas. Basado en los resultados del estudio, se concluye que el sistema podría ser utilizado para conocer la cantidad de oxígeno disuelto con una precisión aceptable, constituyendo una alternativa para reducir los costos.

Palabras Claves: Regresión múltiple, Pruebas estadísticas, Lógica difusa.

ABSTRACT

The objective of the work presented is the determination of the amount of dissolved oxygen in the OD Pilot Plant Recycling for raising tilapia of the PUCP by assessing the impact of variables. The OD is one of the critical variables for raising tilapia due to its importance in fattening because it leads to lower stress levels in fish, which consequently means diminishing their appetite. The system will allow know the OD of the pilot plant. We used statistical analysis of data, regression and diffuse representation of the data of variables measures. The system has a vague estimate of error of 6.38% and a ratio of 0.98. It is possible to improve the accuracy by increasing the amount of diffuse rules.

Based on the survey results, we conclude that the system could be used to determine the amount of dissolved oxygen with an accuracy acceptable, providing an alternative to reduce the costs.

Key words: Multiple regression, Statistical tests, Fuzzy logic.

INTRODUCCIÓN

Las tilapias son una especies de peces de aguas cálidas, fáciles de criar y resistentes ante diferentes variaciones de su calidad del agua en donde se encuentren. El Perú cuenta con regiones donde se podría explotar la crianza de tilapias con ayuda de la tecnología sobre plantas de recirculación de agua que posibiliten un modelo de producción intensiva. La PUCP cuenta con una planta piloto de recirculación de agua para la crianza de peces con fines tecnológicos que está siendo implementada con transmisores para la adquisición de datos, controladores y actuadores.

Entre las variables que se controlan¹ para mejorar la calidad del agua, y por consiguiente mejora del hábitat de los peces están el pH, salinidad, oxígeno disuelto, amoníaco, nitritos, alcalinidad, temperatura, entre otras; como se muestra en la figura 1. Para tener condiciones óptimas de trabajo², se necesitará que la tilapia esté en un ambiente de 28°C de temperatura y de 5 a 6 mg/L de oxígeno disuelto, pero el rango de temperaturas aceptables se encuentra entre 27 y 32°C, llegando a perder su apetito por debajo de los 20°C y causando la

muerte³ a temperaturas menores a 12°C y mayores de 42°C; el pH debe estar entre 7 y 8 para una mayor productividad dentro del estanque.

El oxígeno disuelto es una variable crítica para la crianza de las tilapias debido a su importancia en el engorde, ya que a bajos niveles ocasiona estrés en los peces, lo que significa la disminución de su apetito. Siendo una variable importante, su medición debe de realizarse constantemente porque existen

horas del día en las cuales los peces consumen más oxígeno disuelto que en el resto, según el estado de ánimo de los peces éstos pueden consumir más o menos oxígeno, lo cual no se puede predecir, pero si se puede actuar consecuentemente.

Existen diferentes formas de lograr una lectura del oxígeno disuelto⁴, en donde destaca el uso de equipos de medición multivariable cuyo costo elevado es el principal impedimento para su aplicación. Ante esta realidad, se hace necesario buscar nuevas formas de medición del OD a fin de facilitar su conocimiento e implementación.

^a Magister en Ingeniería de Control y Automatización. Jefe del laboratorio de Control Avanzado. PUCP.

^b Ingeniero Electrónico de la PUCP.

Sin necesidad de contar con un sensor físico y en función a la temperatura(temp), conductividad(cond) y pH se estima el oxígeno disuelto(OD) del agua en la planta de recirculación utilizando la lógica difusa la cual está basada en la experiencia que el experto⁵.



Figura 1. Tanque 500lt. de peces Tilapia

La teoría de la lógica difusa posibilita el modelamiento de los procesos tecnológicos no lineales que utilizan conclusiones lingüísticas simples que no requieren información matemática completa del sistema⁶.

Se establecen entonces particiones en conjuntos difusos que se ponderan mediante Funciones de Membresía, para definir la variable en cuestión a lo largo de un universo de discurso.

El procesamiento difuso considera las fases de fuzificación, inferencia y defuzificación⁷. La Función de Membresía para una variable independiente es mostrada en la figura 2.

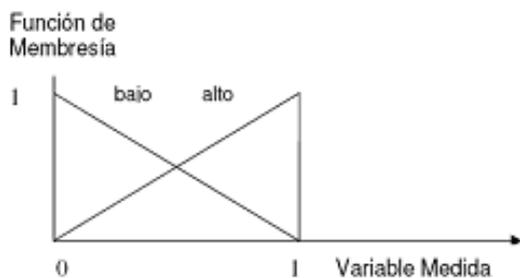


Figura 2. Función de Membresía.

El OD fue modelado en dependencia de las variables de calidad del agua por regresión múltiple para conocer la relación existente entre las variables y cual es su impacto en el resultado. El modelo de regresión⁸ es el mostrado en la ecuación 1:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_3 * x_3 + e \quad (\text{ecu. 1})$$

donde: b_0, \dots, b_3 los coeficientes de regresión y e el error. Las reglas difusas son de la forma:

si
temp=L & cond=L & pH=L

entonces

$$OD = b_0 + b_1 * \text{temp} + b_2 * \text{cond} + b_3 * \text{pH}. \quad (\text{ecu. 2})$$

donde: temp, cond y pH son variables lingüísticas. El operador genera el peso w :

$$w_{i,t} = \min\{FM(\text{temp}_t, S_i), FM(\text{cond}_t, S_i), FM(\text{pH}_t, S_i)\} \quad (\text{ecu. 3})$$

donde: FM es función de membresía, t es muestra, i es regla y S es el término lingüístico.

$$OD(\text{estimado})_{i,t} = b_{i,0} + b_{i,1} * \text{temp}_t + b_{i,2} * \text{cond}_t + b_{i,3} * \text{pH}_t \quad (\text{ecu. 4})$$

La defuzificación por el método del centroide se determina mediante la relación:

$$OD(\text{estimado})_t = \frac{\sum_{i=1}^8 w_{i,t} * OD(\text{estimado})_{i,t}}{\sum_{i=1}^8 w_{i,t}} \quad (\text{ecu. 5})$$

MATERIALES Y MÉTODOS

La Planta Piloto de Acuicultura de la PUCP está alojada en un invernadero y consta de un Sistema de Recirculación² el cual consta de dos tanque de 500lt cada uno, un biofiltro, un tanque de compensación, una bomba, válvulas manuales, etc, e instrumentos de medición como un termómetro, un ph metro y un medidor multivariable para las otras variables, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Planta Piloto de Acuicultura.

El método experimental consideró la adquisición de los datos de la Planta Piloto como temperatura, pH, salinidad, conductividad, alcalinidad y oxígeno disuelto, los cuales fueron tomados desde el 2007 y procesados con Excel MS y Matlab en una computadora Pentium iv.

Los datos adquiridos originales fueron 1000 y fueron usados para el análisis estadístico, de regresión y difuso; los datos mostraban algunas anomalías razón por la cual fueron eliminadas de los datos originales, el Diagrama de dispersión se muestra en la figura 4.

Se adoptó como criterio que el 70% de los datos se realizara en la estimación mientras con el 30% restante para la prueba de validación de los resultados. Los datos se escalan en el rango de (0, 1) para el universo de discurso de las variables significativas que permite calcular la función de membresía FM. Luego, se le asigna los términos lingüísticos Bajo y Alto, tomando como referencia el valor 0.5. Según el peso de los elementos de cada antecedente se agrupan en 8 reglas difusas porque son tres las

variables independientes, la salinidad y la alcalinidad fueron dejados de lado por su baja significancia.

Tabla 2. Coeficientes de regresión.

REGLA	b0	T b1	Cond b2	pH b4
1	0.8397	-0.1935	-0.7165	0.1925
2	0.8431	-0.5092	-0.2790	0.1311
3	0.4420	0.1459	-0.1835	0.2195
4	1.1148	-1.1541	-0.3563	0.2014
5	3.2280	-1.9890	-3.2237	-0.2563
6	0.6341	-0.1866	-0.6477	0.1540
7	0.7938	0.3309	-1.0050	-0.2287
8	0.9527	-0.9454	-0.0514	0.1728

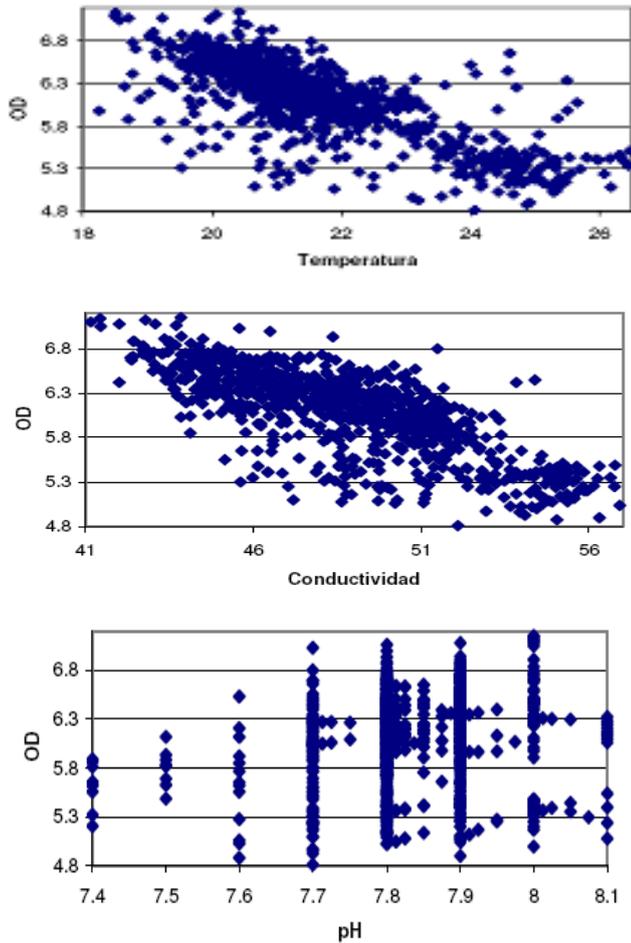


Figura 4. Diagrama de dispersión de las variables independientes.

Entonces, para cada regla se calculan los coeficientes de regresión que formarán el consecuente de la regla.

RESULTADOS

Se analizan los datos desde el punto de vista estadístico para calcular el error estandar y luego el test t-student que determine la significación de los valores⁹. La correspondiente probabilidad también se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Test "t student" y probabilidad de las variables independientes y dependiente.

	Value	Std.error	t-value	P>(t)	Significance
O2	3.62748121	0.72326498	5.01542497	3.19564E-07	Y
T °C	-0.16926388	0.0088992	-19.020128	3.23258E-68	Y
Conduct.	-0.03943486	0.00441101	-8.9400977	1.10987E-18	Y
pH	1.02884471	0.09067736	11.3462134	2.94291E-28	Y

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Habiendo clasificado las 8 reglas en función a sus términos lingüísticos se calculan sus coeficientes por regresión mostrados en la tabla 2 y figura 4.

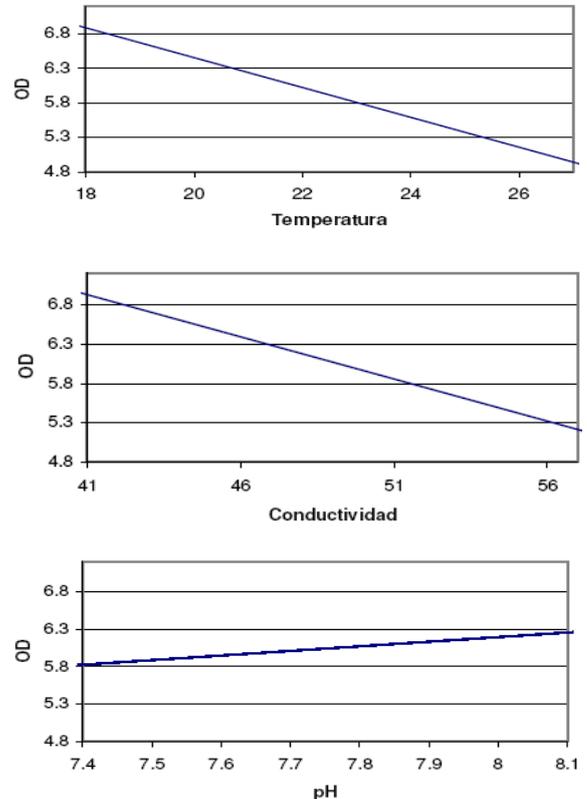


Figura 4. Recta de regresión de las variables independientes.

Para evaluar la bondad del estimador se ha graficado la variación del Oxígeno disuelto observado con respecto al Oxígeno disuelto estimado (figura 5) por el método de lógica difusa, que al tener un coeficiente de correlación R^2 de 0.9860 se considera muy bueno⁸.

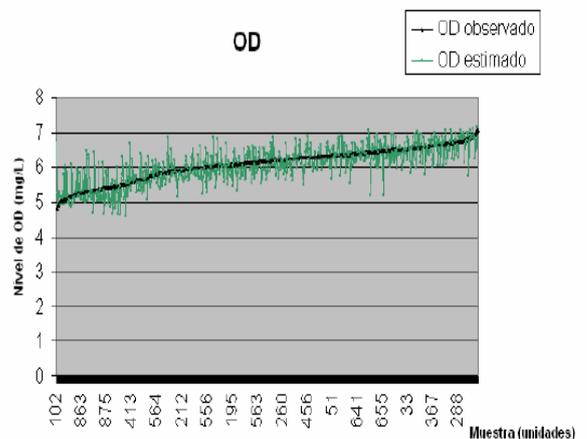


Figura 5. OD observado y estimado.

El coeficiente de correlación R^2 del modelo de regresión es 0.6916 con error típico de 0.25, mientras que el modelo

difuso tiene un coeficiente de correlación R^2 de 0.9860 con error típico de 0.063, lo cual significa que el mejor es el difuso.

DISCUSIÓN

El modelo difuso fue capaz de aproximar empíricamente la relación no lineal, dando un valor crisp de relación entrada-salida de acuerdo a las 8 reglas difusas usadas en la aplicación. La estimación del oxígeno disuelto podrá realizarse en cualquier parte de la Planta y permitirá conocer su valor ahorrando tiempo y sin necesidad de un oxímetro.

CONCLUSIONES

Se ha presentado un método para estimar la cantidad de oxígeno disuelto en el agua para una planta piloto de

recirculación de agua para la crianza de peces usando técnicas estadísticas, regresión y lógica difusa. La selección de las variables independientes según la significación mediante el test t-student, la estimación de coeficientes por regresión múltiple con criterio de optimización por SSE, las funciones de membresía, las reglas de decisión y el razonamiento difuso, fueron explicados.

- Es posible reducir el error si aumentan las reglas.
- Los coeficientes usadas por las reglas difusas están calculadas con el criterio de que la suma de cuadrados sea la menor, lo cual implica una mejor aproximación con el modelo difuso.

REFERENCIAS

1. Hargreaves, J., Tucker, C. Measuring Dissolved Oxygen Concentration in Aquaculture. 2002. Southern Regional Aquaculture Center.
2. Pérez Sánchez, E. 2006. 3er Taller de Sistemas de Recirculación en Acuicultura 2006 [consultado en línea 09/2007]. http://www.cetra.org.mx/htm/documents/Calidaddeagua-EunicePS_000.pdf
3. Borja, F., González, O., Quintero de Vallejo, V. Diseño Modelo de estanques climatizados para el cultivo de tilapia roja, localizados en la zona fría del valle del Cauca. 2003. Colombia.
4. Ekster A, Wang Ji. Reliable DO Control Available. 2005. Water Environment & Technology, Vol. 17.
5. Gutiérrez, J., Riss, W., Ospina, R. Lógica Difusa como herramienta para la bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá–Colombia. 2004. Revista Caldasia. Cap. 26.
6. Sakawa, M. Fuzzy Sets and Interactive multiobjective optimization. 308 p. 1993. Plenum Press. USA.
7. Bezdek, J. Fuzzy Models for Pattern Recognition: Methods That Search for Structures in Data. 539p. 1992. IEEE. USA.
8. Freeman, L. Elementos de estadística aplicada. 1971. Euroamérica. España.
9. Ross, S. Probabilidad y Estadística para Ingeniería y ciencias. 585 p. 2002. Mcgraw-Hill. México D.F.

E-mail: jdavalo@pucp.edu.pe
 fvilela@pucp.edu.pe