

## MODELO MATEMÁTICO PARA EL CONTROL INTEGRADO DE LA ENFERMEDAD POR *Flexibacter branchiophilus*. EN LA TRUCHA ARCO IRIS *Oncorhynchus mykiss*

JONNY EDWARD DUQUE

Estudiante, Biología y Educación Ambiental

ANÍBAL MUÑOZ LOAIZA

Escuela de Investigación en Biomatemáticas

Universidad del Quindío

escibiom@uniquindio.edu.co    biomat@uniquindio.edu.co

### RESUMEN

Se presentó un Modelo Matemático que describe la dinámica de la enfermedad de las branquias producida por la bacteria *Flexibacter branchiophilus* en la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*. La interpretación se hace mediante tres ecuaciones diferenciales lineales ordinarias. Se incluye la tasa de mortalidad por la enfermedad, porcentaje de peces infectados que por tratamiento regresan a ser sanos y porcentaje de peces sanos que adquieren la enfermedad. En ausencia o presencia de la enfermedad y variando el tratamiento presenta un comportamiento comparable a las condiciones naturales de los cultivos truchícolas. Con tratamientos de alta efectividad las mortalidades se estabilizan a un nivel mínimo de pérdida, lo contrario con tratamientos de baja efectividad, los cuales permiten el incremento de la mortalidad a niveles de pérdida de la población casi a la totalidad. Se analiza además, el tiempo de vida medio de la población.

**Palabras claves:** Modelo matemático, control integrado, *Flexibacter branchiophilus*, *Oncorhynchus mykiss*.

### INTRODUCCIÓN

Las enfermedades bacterianas son responsables de gran mortalidad en peces en estado libre y en cautiverio. El papel actual de estos microorganismos puede variar desde un patógeno primario al de un invasor banal de un huésped que contribuye al estrés del animal, hasta el punto de morir por algún otro proceso patológico diferente (Roberts y Shepherd, 1980 ; Saga y Román, 1995). Hay numerosos trabajos referentes a modelos matemáticos que representan patologías de dinámicas bacterianas utilizados para analizar estados críticos de la enfermedad, determinación de cantidad de infectados en un tiempo exacto y estrategias de control (Mascola, *et al.*, 1993; Castillo y Huang, 1996; Castillo y Feng, 1997), modelos relacionados con el control de pestes (Chatterjee, 1973), modelos referentes a dinámicas bacterianas en peces no se encontraron reportados. Las enfermedades bacterianas presentes con mayor frecuencia en cultivos truchícolas son las del género *Flexibacter*:

Orden: Citophagales .

Familia: Cytophagaceae.

Género: *Flexibacter*.

Y las especies: *F.colummnaris*, *F.branchiophila*, *F.psyrophilus*.

La enfermedad de las branquias es una de las flexibacterosis que más comúnmente se presenta en la truchicultura. Es poco frecuente que se encuentre en ambientes silvestres y afecta principalmente a los alevinos y truchas juveniles durante su primer año de vida (Sarti y Giorgetti, 1996), llegando a ocasionar mortalidades hasta de 70% del cultivo si las condiciones medio ambientales y de estrés del pez lo permiten (Madsen y Dalsgaard, 1999, revisado por Descostere, *et al.*, 1998). Las primeras señales clínicas son: pérdida repentina del apetito, letargia generalizada, permanencia en la superficie del agua (sobre todo cerca a la entrada del agua) boqueando frecuentemente; los opérculos permanecen abiertos y las branquias permanecen pálidas e hinchadas; también se suele observar fuerte acumulación de moco sobre los lamelos branquiales (Carrizosa y Real, 1975).

**Control:** Atención especial a la densidad de la población truchícola, manteniéndola más apropiada. También debe mantenerse el nivel de oxígeno disuelto en un óptimo, y evitar la acumulación de barro, residuos alimenticios, etc. en el agua. Utensilios contaminados (botas, redes, etc.) pueden transmitir la enfermedad de un estanque a otro. Casos de la enfermedad bacterica de las branquias responden rápidamente al tratamiento con las dosis de "MYXOSAN" o "FURANACE GRANULADO AL 10%" (Conroy y Vásquez, 1976), actualmente se utilizan cloramina T, Cloruro de benzalkonio (Sarti y Giorgetti, 1996), oxitetraciclina, cloramfenicol, y eritromicina (Amin *et al.*, 1988). Con el presente trabajo se buscó aportar elementos de control y tratamiento para enfermedades bacterianas diseñando un modelo matemático que representó la dinámica de la enfermedad, con base en la teoría de enfermedades, tipo S-I-S (Susceptible, Infeccioso, Susceptible).

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el modelamiento matemático de la enfermedad se siguen métodos de sistemas epidemiológicos tipo S-I-S y se utilizan ecuaciones diferenciales ajustadas a la dinámica, analizadas numéricamente (Barrelli y Colleman, 1998, Eldelstein, 1988). Con base en aspectos biológicos y epidemiológicos de enfermedades producidas por bacterias del género *Flexibacter* se estableció un modelo que representa la dinámica de la enfermedad (Amin *et al.*, 1988; Decostere *et al.*, 1998; Madsen y Dalsgaard, 1999). Se utilizó el programa de simulación Maple versión 5.0 para observar comportamientos del modelo, tomando en consideración tipos de tratamiento, métodos de contagio, muerte por la enfermedad y factores ambientales que intervienen en el desarrollo de la patología.

### SUPOSICIONES DEL MODELO MATEMÁTICO

El modelo considera la muerte por la enfermedad en los peces infectados, se da la forma de transmisión patógeno pez, disminución de la bacteria en el agua por factores ambientales y tratamiento con droga evitando la enfermedad en los peces (Condiciones óptimas de aseo, pH, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y amonios). Se considera una población de peces juveniles, cría masiva de peces en estanques con fines comerciales. El modelo tiene las siguientes variables y parámetros:

Ps: Número de peces juveniles en el estanque en un tiempo t.

PI: Número de peces infectados en un tiempo t.

P: Número total de peces en el estanque.

- a: Porcentaje de peces que por tratamiento (ambiental y químico) de la enfermedad regresan a ser sanos.  
 d: Porcentaje de mortalidad por la enfermedad.  
 q: Porcentaje de peces sanos que adquieren la enfermedad.

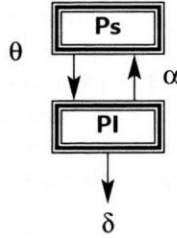


Figura 1. Flujograma de la dinámica de transmisión de la enfermedad por *Flexibacter branchiophilus* en la trucha Arco Iris *Oncorhynchus mykiss*.

## RESULTADOS

### SISTEMA DE ECUACIONES DIFERENCIALES.

E 1.  $P's = a PI - q Ps$

E 2.  $P'I = q Ps - (a+d)PI$

E 3.  $Ps + PI = P$  E 4.  $P' = -d PI$

### SIMULACIÓN DEL MODELO

La simulación de la dinámica se realiza con el programa MAPLE versión 5.0 y utilizando valores hipotéticos para los parámetros.

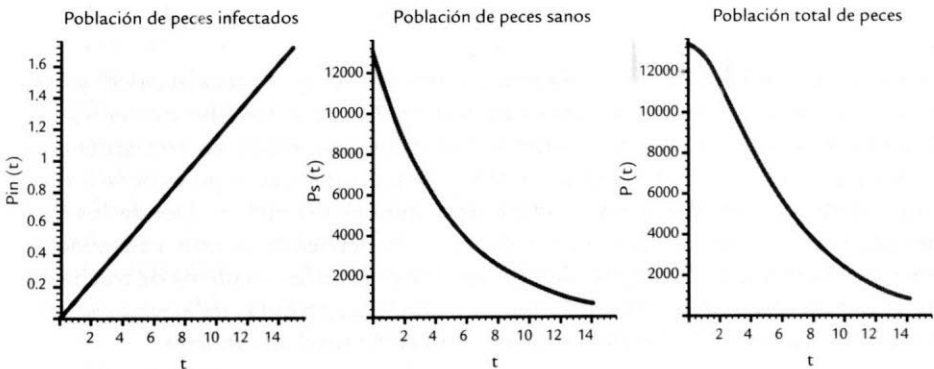


Figura 2. Comportamiento del modelo con parámetros  $a = 0.01$ ,  $q = 0.2$  y  $d = 0.5$ .

El comportamiento en condiciones aptas para el desarrollo de la enfermedad y sin ningún tratamiento o con uno no tan efectivo y claramente representa las pérdidas rápidas de los alevinos.  $T = 3.5$  días para los siguientes parámetros  $a = 0.01$ ,  $q = 0.2$  y  $d = 0.5$  reduce la población a la mitad

## DISCUSIÓN

El comportamiento del modelo en ausencia de la enfermedad, sin tratamiento, la P tiene un comportamiento comparable a las condiciones naturales, donde la población de peces infectados tiende a incrementarse en uno, Ps desciende en uno y la población total es afectada en sólo una muerte, esto está relacionado con factores óptimos en la cría de peces, como oxígeno disuelto, pH, temperatura, nitritos, nitratos, amonios y un manejo adecuado del cultivo (Roberts y Shepherd, 1980; Blanco, 1984; Bebeau, 1988), en P encontramos un individuo muerto lo cual hace más certero el modelo ya que se aproxima a la realidad donde la población puede presentar mortalidades diferentes a las causadas por la bacteria (Saga y Román, 1995).

La figura 2, muestra que con un tratamiento muy bajo se tienen efectos desastrosos; PI presenta en los primeros días 1 - 4 los puntos máximos de infección y contagio, reaccionando Ps con una baja hasta el punto de afectar la población total con la mortalidad de todo el cultivo, comprobado mediante técnicas de infección por Sarti y Giorgetti, 1996 y Madsen y Dalsgaard, 1999 afirmando así que en condiciones desfavorables el comportamiento de la enfermedad será crítico para la población de peces.

El tiempo de vida medio es utilizado en diferentes enfermedades para determinar cuando la población llega a la mitad y es de gran utilidad porque este permite tomar decisiones rápidas en lo que se refiere a métodos de control (revisado por Eldelstein, 1988), para este caso encontramos que  $T = 3.5$  días, esto quiere decir que en días 3 y 4 la población se reducirá hasta la mitad y posiblemente de un tiempo prudente para el tratamiento. Se utilizaron los parámetros de la figura 2.

## CONCLUSIONES

En el modelamiento matemático de esta enfermedad se siguen las directrices y métodos de sistemas epidemiológicos tipo S-I-S utilizados para describir diferentes tipos de enfermedades las cuales se ajustan a la metodología usada en este sistema. En ausencia de la enfermedad, sin tratamiento, la población total de peces tiene un comportamiento comparable a las condiciones naturales del cultivo. Donde los peces infectados PI tienden a incrementarse en uno y Ps desciende en uno, causando una muerte en la población total, siendo este valor normal en los criaderos de trucha arco iris. A tratamientos bajos el modelo muestra cómo las pérdidas de alevinos se incrementan a niveles desastrosos llevando a la población total a la muerte.

Con tratamientos eficaces PI y Ps tienden a estabilizar la población total rápidamente y tiende al control de la enfermedad y las muertes. Se incluyó el tiempo de vida media de la enfermedad, determinando el tiempo exacto donde la población se redujo a la mitad. El comportamiento del modelo matemático se ajusta y es apropiado para estimar el tiempo y los daños que pueden causar enfermedades por bacterias en los cultivos de peces.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMIN N. E; ABDALLAH I. S., FAISAL. M., EASA EL-SM., ALAWAYT, ALYA S. A. 1988. Columnaris infection among cultured Nile *Tilapia Oreochromis niloticus*. *Antonie Van Leeuwenhoek* 54: 509-520.
- BARRELLI L. ROBERT, COLLEMAN S., COURTHEY. 1998. Differential equations a modeling perspective. Printed Wiley United States of America pp 706.
- BELEAU H., MARSCHALL. 1988. *Veterinary Clinics of North America: Small animal practice* vol. 18, N°2, 293:394.
- BLANCO C., CARMEN M. 1984. La trucha Cría industrial, Edi, mundiprensa, Madrid España, 239 pág.
- CARRIZOSA, J. U., DEL REAL, M. 1975. Principales enfermedades en Salmónidos. COLCIENCIAS. 252 pág.
- CASTILLO C., CHAVES & FENG ZHILAN. 1997. To treat or not to treat: the case of tuberculosis. *J. Math. Biol.* 35:629-656.
- \_\_\_\_\_, HUANG WENZHANG. 1996. Competitive exclusion in gonorrhea models and other sexually transmitted diseases. *Siam J. Appl. Math.* Vol. 56. No. 2: 494-508.
- CHATTERJE SAMPRIT. 1973. A mathematical model for pest control. *Biometrics.* 29, 727-734.
- CONROY, D. A. C, VÁSQUEZ. 1976. Las principales enfermedades infecto-contagiosas de los salmónidos; una guía a su diagnóstico y control para el Biólogo INDERENA-FAO Bogotá, Colombia 1ra. ed. 252pp.
- DECOSTERE. A.; HAESBROUCK. F.; DEVRIES L. A. 1998. Characterization of four *Flavobacterium columnare* (*Flexibacter columnaris*) strains isolated from tropical fish.
- ELDESTSTEIN-KESHET LEAH. 1988. *Mathematical models in biology.* Birkhäuser Mathematics Series. McGraw-Hill, Inc. 586 pp.
- MADSEN LONE & DALSGAARD INGER. 1999. Reproducible methods for experimental infection with *Flavobacterium psychrophilum* in Rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, *diseases of aquatic organisms* Vol. 36:169-176.
- MASCOLA L.; ALBRITTON L.; CATES W. & REYNOLDS H. 1993. Gonorrhea in American Teenagers, 1960-1981. *Pediatric Infectious Disease.* Vol. 2, No 4: 302-303.
- ROBERTS R. J.; SHEPHERD C. J. 1980. *Enfermedades de la trucha y del salmón*, Edit. Acribia. Zaragoza. España.
- SAGA, A. ROMAN V. C. 1995. *Piscicultura sus bases, métodos y aplicaciones.* JICA. edit. A.E.B.U.Q. Armenia, p. 121.
- SARTI B. Y.; GIORGETTI G. A. 1996. A survey of flexibacteriosis (or Cytophaga Lb. Diseases) on Trout farms, *Bull. Eur. Ass. Fish. pathol.* 16 (1), 8.