

TITULO

Modelación de la dispersión de contaminantes del agua de la cuenca del Río Huaura – 2017

Autor(es):

Edith Meryluz Claros Guerrero¹, Johnny Gregorio Cipriano Bautista¹, Jaqueline Jessica Cabello Blanco¹, Silvia Isabel Chirito Laurencio² Flor Eonice Ramírez Mundaca¹ Rut León Romero³, Katherin Gabriela Ramos Chirito³, Yhen Genry Alberto Gonzales¹,

Coordinador General: Edith Meryluz Claros Guerrero.

RESUMEN

Objetivo: determinar un modelo matemático que permita conocer la dispersión de contaminantes del agua de la Cuenca del Río Huaura en el tramo Estación Alco – Desembocadura de Carquín. **Materiales y Métodos:** Ésta investigación se realizó en el ámbito del subcuenca del río Huaura, mediante de la inyección de un trazador para evaluar la dispersión mediante la ecuación de advección - difusión unidimensional con coeficiente constante, se evaluó el aforo del caudal, por el método de flotadores, identificando un tramo del río Huaura con flujo uniforme, en periodo transicional de estiaje a avenida. **Resultados:** El tramo elegido para la estudio tiene un caudal promedio de $1,477 \frac{m^3}{s}$ (noviembre), el análisis de la dispersión de contaminantes (soluto de colorante alimentario E -132), se observó que el soluto se dispersa en a medida que se desplaza el fluido y se ve influenciado por el caudal. **Conclusiones:** La determinación de la dispersión del modelo matemático está dada por la ecuación: $c_i^{j+1} = c_i^j - \gamma(c_i^{j+1} - c_i^j) + \tau(c_{i+1}^j - 2c_i^j + c_{i-1}^j)$ con un error medio de 0.44998.

Palabras Claves: dispersión de contaminante, Río Huaura, trazador, ecuación de advección.

ABSTRACT

Objective: to determine a mathematical model that allows to know the dispersion of pollutants from the water of the Huaura River Basin in the section Estación Alco - Mouth of Carquín. **Materials and Methods:** This investigation was carried out in the sub-basin of the Huaura River, by means of the injection of a tracer to evaluate the dispersion by means of the advection equation - one-dimensional diffusion with constant coefficient, the flow rate was evaluated, by the method of floats, identifying a stretch of the Huaura River with uniform flow, in transitional period from low to low water. **Results:** The section chosen for the study has an average flow of $1,477 \frac{m^3}{s}$ (November), the analysis of the dispersion of contaminants (solute of food coloring E-132), it was observed that the solute is dispersed in a measure that the fluid moves and is influenced by the flow. **Conclusions:** The determination of the dispersion of the mathematical model is given by equation: $c_i^{j+1} = c_i^j - \gamma(c_i^{j+1} - c_i^j) + \tau(c_{i+1}^j - 2c_i^j + c_{i-1}^j)$ with an average error of 0.44998.

Keywords: contaminant dispersion, River Huaura, tracer, advection equation.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población, las actividades agrícolas, ganaderas y el desarrollo industrial son las causas principales del aporte de residuos y efluentes que contaminan las aguas subterráneas, los ríos, los lagos y los mares, destruyendo la fauna y la flora, generando desequilibrio en el ecosistema destruyéndose la armonía entre el hombre y su medio.

Cuando se vierte una sustancia contaminante al medio ambiente, ésta no permanece en el lugar donde se realiza el vertido sino que se produce su dispersión, pues se da toda una serie de fenómenos físicos, químicos y biológicos que provocan tanto el transporte dentro de un mismo compartimento ambiental como el paso al resto. Los compartimentos ambientales en los que puede dispersarse una sustancia son hidrosfera, suelo, atmósfera y biota (plantas y animales).

La utilización de modelos matemáticos para simular los procesos de transporte y dispersión

¹ Docente nombrado de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

² Docente nombrado de la Facultad de Medicina Humana, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

de los contaminantes vertidos en medios receptores, ha experimentado un auge en las últimas décadas. Esto debido a la necesidad de estudiar o evaluar la contaminación generada por las aguas vertidas y su impacto en el medio receptor, ya que afecta el desarrollo de las actividades humanas y, en general, la calidad del medio ambiente. De esta forma la modelación matemática de la calidad del agua se ha convertido en una herramienta que contribuye a la planificación integral de los recursos hídricos (James, 1993; Khandan, 2002; López et al., 2003; Restrepo et al., 2007).

La modelación de transporte de contaminantes en ríos requiere el conocimiento de parámetros hidrológicos (caudal, velocidad, coeficiente de dispersión) y geométricos (profundidad, anchura, sección transversal, pendiente) (Monerris M., 1995)

Al estudiar el comportamiento de un contaminante que es vertido en un cuerpo de agua mediante un modelo matemático nos dará grandes ventajas frente a otros métodos de estudio, dado que se encuentra la posibilidad de desarrollar el análisis tanto del proceso como del sistema real sin los inconvenientes de tiempo y costo que presentan los otros métodos de estudio. Para obtener una adecuada representación numérica es necesario seleccionar de manera cuidadosa el método matemático utilizado como base para la construcción de la simulación.

Yzocupe, V. (2005), en su investigación "Modelo de dispersión de contaminantes en aguas rasas", presenta un modelo de dispersión de contaminantes bidimensionales construido sobre la base de un modelo hidrodinámico. El modelo acoplado se basa en la aproximación numérica de las ecuaciones bidimensionales que rigen la dinámica de las aguas rasas y la dispersión de sustancias. Tales ecuaciones son las de continuidad del cuerpo de fluido, de movimientos en las direcciones X e Y y de conservación de la concentración de una sustancia diluida. Las variables dependientes son las velocidades medias U y V en las direcciones X e Y respectivamente, el nivel del agua n con respecto al plano de referencia y la concentración C de la sustancia diluida. La aproximación numérica está basada en el esquema de diferencias finitas explícito de Fischer. El modelo cuenta con las condiciones iniciales y de frontera adecuadas.

Quispe, W. et al (2016), en su investigación de dispersión de contaminantes en cursos de agua. Estudios en el río Chumbao, Perú, estudia el modo de dispersión de un contaminante vertido en un curso de agua mediante un método experimental consistente en el uso de un "marcador" o sustancia "traza". Se aplica en un tramo de 100 metros del río Chumbao en la Provincia de Andahuaylas, Perú. En la práctica, el marcador utilizado es una solución de sal común (cloruro de sodio) vertido mediante un tubo de dos pulgadas, recolectando las muestras tramo abajo cada 30 segundos. Analizando la conductividad eléctrica de las muestras se estima la concentración de marcador en cada punto de recolección, y con ello los posibles valores de los parámetros de dispersión de un eventual contaminante sobre el río. Se comprueba que un modelo simple de dispersión gaussiana representa de un modo suficientemente preciso las condiciones observadas.

La Cuenca del Río Huaura está localizada en la costa central del Perú, y pertenece al sistema hidrográfico de la vertiente del océano pacífico de la Cordillera de los Andes, con un área de drenaje total, hasta su desembocadura en el océano pacífico de 4 392 km², tiene sus orígenes en la Cordillera de Raura a una altitud que varía entre 4500 a 5600 m.s.n.m. discurre en relación NE – SO hacia el distrito de Sayán y después deriva hacia el oeste para desembocar en el mar en el distrito de Caleta Carquín.

En esta investigación se propuso como objetivo determinar un modelo matemático que permita conocer la dispersión de contaminantes del agua de la Cuenca del Río Huaura en el tramo Estación Alco – Desembocadura de Carquín, el cual según resolución jefatural N°202-2010-ANA de fecha 22 de marzo 2010, que se aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino – costeros, en la cual se encuentra en la categoría 3, la clase 3, el agua del Río Huaura está destinada para el riego de Vegetales de tallo alto y bajo y para la bebida de animales, (uso agrario – Pecuario o agrícola) en base a esa información y a la modificación del estándar de calidad de agua aprobada mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, determina los nuevos niveles de calidad, se debe tener en cuenta en relación a la categoría que pertenece el río Huaura. Entre los parámetros de calidad determinados por los ECA, se tiene el

PH (número de iones de hidrogeno presente, que determina el carácter ácido o básico del agua) y la temperatura determinan condiciones de base fundamentales para muchas reacciones químicas y procesos biológicos, por otro lado la salinización produce cuando la tasa de deposición de las sales que transportan las aguas de riego supera la velocidad de arrastre de la sal por el curso de agua, además entre los parámetros físicos se tiene la turbidez del agua debido a partículas o microorganismos en suspensión, la conductividad relacionada con la cantidad de iones en disolución, en los parámetros químicos se puede evaluar la DBO, DQO, OD, que determina la calidad de agua, y los parámetros biológicos. Según las características climatológicas la Cuenca de Río Huaura tiene descargas máximas de Enero a Marzo y descargas mínimas de Julio a Setiembre, identificándose tres periodos dentro del ciclo anual: periodo de avenidas, de estiaje y un periodo transicional entre avenidas y estiaje, lo que implica la variación del caudal del Río Huaura.

Para efectos de cumplir con el objetivo de la investigación se procedió a identificar las características del Río Huaura y según estudios realizados por el ANA en el 2010, en lo que respecta a los parámetros in situ, obtiene los siguientes resultados en el Puente Alco la temperatura del agua es de 20,7 °C, PH de 6, OD de 8,4 y CE (uS/cm) de 540, para efectos de analizar la dispersión de contaminantes, según la ecuación de advección difusión unidimensional con coeficientes constantes

Al evaluar la literatura concerniente a la evaluación de la dispersión de contaminantes en fluidos superficiales se conocen diversos métodos entre ellos mediante la evaluación por trazadores.

El trazador es una sustancia específica que sirve para "marcar" o hacer más fácilmente identificable una fase específica o parte de un sistema denominado material marcado (Leandro, 2013) y además menciona que un trazador debe cumplir como mínimo dos requisitos fundamentales: comportarse similar o igual al material marcado, y tener por lo menos una propiedad que distinga del material marcado, de forma tal, que sea fácilmente detectable en presencia de otros materiales. Por ende un trazador ideal debe cumplir entre otras condiciones de fácil detección cualitativa y cuantitativa, ausente en las aguas naturales o que se presente en bajas concentraciones, no toxicidad hacia los seres vivos y disponibilidad económica y presencia en el mercado.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Río Huaura que según lo señala (Quispe et al, 2016), el tramo del río para realizar el estudio debe tener las siguientes características:

- Estable, libre de rocas, plantas y otras obstrucciones que puedan crear turbulencia.
- Lecho plano, uniforme y estable para reducir componentes verticales de velocidad

Acorde a las recomendaciones se considera un tramo de 40 metros, en el tramo 3+800 km, a 300 metros del Puente de Huaura en la influencia del distrito de Huaura, y por los trabajos de descolmatación y encausamiento del río realizado por las autoridades regionales y locales, se adapta a los propósitos de la investigación y se eligió el periodo transicional entre avenidas y estiaje (setiembre – diciembre), según las características de la Cuenca del Río Huaura.

Para determinar los parámetros hidrológicos como caudal, velocidad, coeficiente de dispersión y geométricos profundidad, anchura, sección transversal, se realizó la primera actividad de aforar el caudal por el método de flotadores, siguiendo las recomendaciones del Senamhi en la Guía de Hidrometría, Estimación del caudal por el método de flotadores.

Materiales: cronometro, varilla, botella de plástico, calculadora, cinta métrica.

Se procede a ubicar los puntos de inicio (A) y final (B) con una diferencia de 10 metros, en cada punto se mide el ancho del río en metros, separándose en tres secciones de igual amplitud, a continuación se procedió a medir la profundidad del fluido, para determinar el área transversal del río, se procedió a medir el tiempo que demora en llegar el flotador desde el tramo recto A y B, tomándose un promedio de 10 repeticiones, luego se procedió a realizar los cálculos numéricos que permitió conocer el área transversal, la velocidad superficial promedio del fluido,

y se utilizó el coeficiente de corrección de 0.85, para cauces pequeños a grandes, el caudal, el coeficiente de dispersión longitudinal, profundidad del fluido.

Para medir la dispersión de contaminantes se utilizó el método de trazadores, para ello se utilizó colorantes artificiales (rojo y azul). Se preparó la solución en 3 litros de agua del mismo río, considerando 30 ml de colorante como trazador, evaluando el color de la concentración mediante la aplicación color grab, luego se vierte la solución en el río en el centro de la longitud transversal, evaluando la temperatura y el PH de la mezcla, observándose que no existió variación del PH del Agua, con o sin colorante. Usando la técnica de inyección instantánea de corta duración, para el cual se tomaron muestras de agua previas a la inyección del trazador, en la mezcla de soluto, y luego de adicionar la mezcla en el río para evaluar sus características, al no contar con equipos electrónicos sofisticados se optó por evaluar el color de la concentración valorando la saturación del color, y la variación del mismo, según el modelo (H,S,V) que corresponde a matiz, saturación del color (0 a 100), y brillo (0 a 100) .

Materiales: Medidor de PH-009(III), colorantes artificiales rojo (E-129) y Azul (E-132) con una solubilidad de 10 g/l ,baldes de capacidad de 4 litros, frascos de un litro, rotulador, calculadora, cronometro, cinta métrica, tablet.



Figura 1: (a) vertido del soluto en el agua (b) y (c) desplazamiento del colorante por las secciones a analizar.

Para determinar la dispersión longitudinal el método de solución de expresiones analíticas fue propuesto por Fischer a partir del análisis del balance de masa por advección neta vs difusión transversal para flujo uniforme (Fischer et al., 1979), que requiere una importante cantidad de información hidrodinámica de detalle (Shen et al., 2010; Carr et al., 2007) y el de trazadores es el método más preciso, aunque requiere de ingente trabajo de campo y laboratorio (Fischer et al., 1979). Existe abundante bibliografía en cuanto a las ventajas y desventajas del empleo de cada uno (Rigo, 1992), citado por (Zenclussen et al, 2015). Por otro lado en la situación de una evaluación preliminar de contaminación o en ausencia de datos de campo, el coeficiente de dispersión puede ser estimado en base a expresiones empíricas publicadas en la literatura (Menendez, 2010). En la situación de una evaluación preliminar de contaminación o en ausencia de datos de campo, el coeficiente de dispersión puede ser estimado en base a expresiones empíricas publicadas en la literatura (Moneris, M y Domenech, P., 1995).

En el análisis de los modelos teóricos de los coeficientes de dispersión longitudinal cita el trabajo realizado existen varias fórmulas disponibles para estimar el coeficiente de dispersión longitudinal (D) para ríos y esteros. Por ejemplo en Fischer et al (1979) citado en Chapra (1997) se desarrolló la siguiente fórmula

$$D = \frac{0.011}{HU^*} U^2 B^2$$

Donde:

U : velocidad de la corriente de agua ($\frac{m}{s}$)

B : ancho del cauce (m)

H : profundidad media de la corriente de agua

Velocidad de cizalle $U^* = \sqrt{gHS}$ ($\frac{m}{s}$)

G : aceleración de la gravedad (m/s^2)

S : pendiente longitudinal del cauce (adimensional)

D : coeficiente de dispersión longitudinal ($\frac{m^2}{s}$)

Entonces, la contaminación del curso por una sustancia en cualquier punto Z puede representarse por su valor promedio c sobre toda la sección transversal A . Si, además, se considera que se trata de una sustancia conservativa (no sujeta a reacciones internas) y que no existen intercambios con el medio, es decir, que sólo actúan el transporte advectivo y el difusivo, la ecuación de transporte es la ecuación diferencial de segundo orden no homogéneo que nos permite describir una figura tridimensional:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

A : Área transversal del río (m^2)

c : Concentración del soluto o contaminante (kg/m^3).

Q : Caudal del río (m^3/s)

D : Coeficiente de dispersión longitudinal (m^2/s)

Además la velocidad promedio del fluido:

$$v = \frac{Q}{A}$$

La función es: $c = c(z, t)$

La cual denotaremos: $c = c(z_i, t_j) = c_i^j$

Usando las diferencias finitas:

$$f'(x) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{h}$$

$$f''(x) = \frac{f(x_{i+1}) - 2f(x_i) + f(x_{i-1}))}{h^2}$$

En el punto (z_i, t_j)

$$\frac{c_i^{j+1} - c_i^j}{\Delta t} = -v \left(\frac{c_{i+1}^j - c_i^j}{\Delta z} \right) + D \left(\frac{c_{i+1}^j - 2c_i^j + c_{i-1}^j}{\Delta z^2} \right)$$

Dado que conocemos el estado en el tiempo j , definiremos el estado en el tiempo $j + 1$, para esto despejamos c_i^{j+1} :

$$c_i^{j+1} = c_i^j - \frac{\Delta t \cdot v}{\Delta z} (c_{i+1}^j - c_i^j) + \frac{\Delta t \cdot D}{\Delta z^2} (c_{i+1}^j - 2c_i^j + c_{i-1}^j)$$

Hacemos: $\gamma = \frac{\Delta t.v}{\Delta z}$ $\tau = \frac{\Delta t.D}{\Delta z^2}$

$$c_i^{j+1} = c_i^j - \gamma(c_i^{j+1} - c_i^j) + \tau(c_{i+1}^j - 2c_i^j + c_{i-1}^j) \dots\dots\dots(2)$$

Así para calcular c_i^{j+1} se necesita:

$$\begin{aligned} & \cdot c_{i-1}^j \\ & \cdot c_i^j \quad \cdot c_i^{j+1} \\ & \cdot c_{i+1}^j \end{aligned}$$

Y los datos de : $Q(\frac{m^3}{s}), A(m^2), D(\frac{m}{s^2}), \Delta t(s), \Delta z(m)$, así como la condición inicial (concentración del soluto) (kg/m^3).

RESULTADOS

En el tramo 3+800 Km del río Huaura para medir el caudal se consideró 10 metros de longitud del tramo recto siendo el ancho del río de 6,40 metros, obteniéndose luego de las repeticiones un tiempo promedio de desplazamiento del flotador de 9,3 segundos, siendo la velocidad superficial de 1,06 m/s, al hacer uso del coeficiente de corrección se obtiene la velocidad promedio de 0,901 m/s se procedió a medir la profundidad promedio de las tres secciones de 26 cm, y se obtuvo como área transversal de 1,64 m² , procediendo a calcular el caudal:

$$Q = 1,477 \frac{m^3}{s}$$



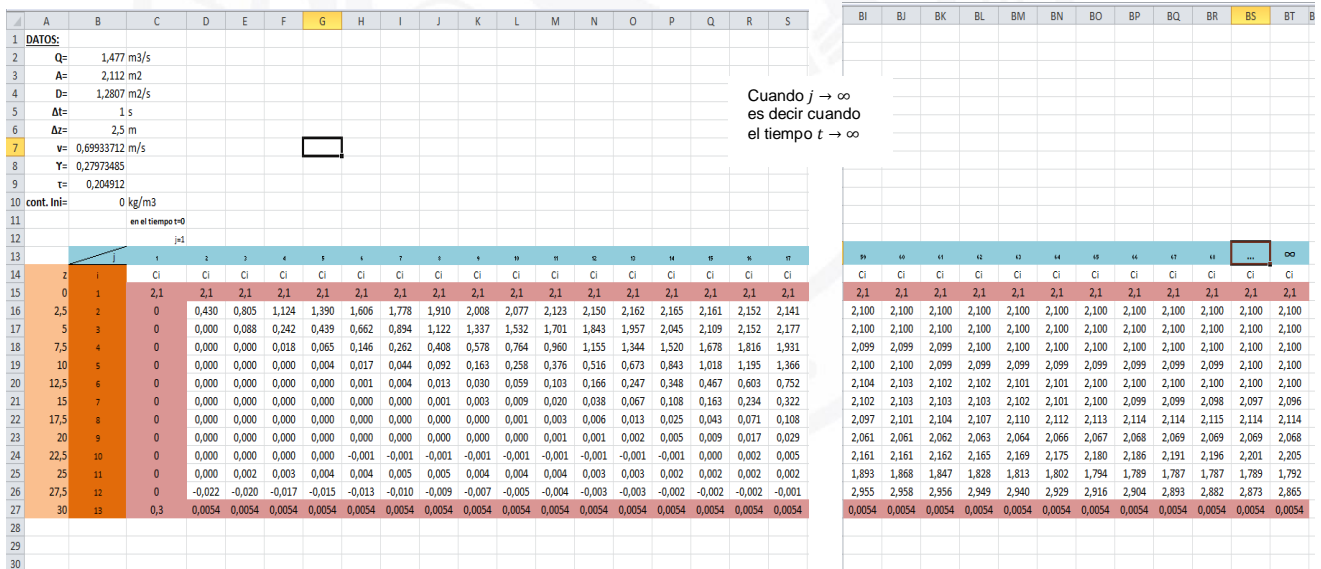
Figura 2: Tramo 3+800 Km del río Huaura.

A continuación se procedió a preparar las muestras haciendo uso del colorante para repostería mezclándose 10 gramos del colorante (soluto) en 3 litros de agua antes de la inyección que tiene un porcentaje de saturación del color de $H = 210, S = 67$ y $V = 13$, siendo la mezcla que representará la mezcla pura que se adiciona al río, siendo la temperatura del agua de 26,1 °C y PH de 8,46, para ello se realizaron estudios previos de la concentración

relacionadas con la saturación del color (S) obtenida de la aplicación color grab, para obtener la relación de la concentración del soluto. Se separó el tramo del río en 2,5 metros cada tramo, para la toma de la muestra, se analizó con el colorante azul oscuro, obteniéndose los siguientes resultados de la muestra cada 2, 5 metros de distancia, siendo una concentración inicial de 30 gramos.

Tramo <i>m</i>	MODELO HSB			concentración equivalente	
	<i>H</i>	<i>S</i>	<i>V</i>	<i>gr/l</i>	<i>Kg/m³</i>
inicial	210	67	13	30	3
al instante	234	47	92	21.0	2.1
2.5	214	80	72	17.8	1.8
5	220	99	65	24.6	2.5
7.5	203	100	78	21.4	2.1
10	197	60	78	13.9	1.4
12.5	196	61	80	7.6	0.8
17.5	191	40	68	9.4	0.9
20	170	18	79	8.1	0.8
22.5	204	17	75	7.6	0.8
27.5	204	5	78	2.2	0.2
30	120	6	65	2.7	0.3

Utilizando la ecuación numérica (2), obtenemos:



Para medir la distancia entre la curva y los datos estimados usamos el error medio:

$$E_1(c) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |c - c^*|$$

Dato real	estimados	$ c - c^* $
2,1	2,1	0
1,8	2,09998	0,29998
2,5	2,10003	0,39997
2,1	2,10026	0,00026
1,4	2,09965	0,69965

0,8	2,10003	1,30003
total		2,69988

Luego el error medio es: $E_1(f) = \frac{2.69988}{6} = 0.44998$.

DISCUSIÓN

En cuanto al trazador utilizado según Leandro (2013), menciona que un trazador debe cumplir como mínimo dos requisitos fundamentales: comportarse similar o igual al material marcado, y tener por lo menos una propiedad que distinga del material marcado, siendo esto muy necesario cuando no se cuenta con equipos electrónicos, así para esta investigación se utilizó colorantes artificiales (rojo y azul), observándose que no existió variación del PH del Agua, con o sin colorante. Usando la técnica de inyección instantánea de corta duración, para el cual se tomaron muestras de agua previas a la inyección del trazador, en la mezcla de soluto, y luego de adicionar la mezcla en el río para evaluar sus características.

Quispe (2016), en su artículo Dispersión de contaminantes en curso de agua. Estudios en el río Chumbao, Perú considera la ecuación $\frac{\partial c}{\partial t} = -v \frac{\partial c}{\partial z} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - KAc$, como punto de partida para la determinación parámetros experimentales de la dispersión de contaminantes en cursos de agua, en esta investigación se usó la ecuación (2) y teniendo según Fischer la fórmula $D = \frac{0.011}{HU^*} U^2 B^2$, obtuvimos un estimado de la dispersión de contaminantes en el Río Huaura, haciendo uso de diferencias finitas y el color de la concentración valorando la saturación del color, y la variación del mismo, según el modelo (H,S,V) que corresponde a matiz, saturación del color (0 a 100), y brillo (0 a 100), la ecuación (2) se simuló en la hoja de cálculo Excel cuando el tiempo tiende al infinito encontrando un error para modelo numérico de 0.44998, considerándose un buen ajuste que describe la dispersión de contaminantes en el Río Huaura.

CONCLUSIONES

En el estudio de la dispersión de contaminantes realizado en un tramo del río Huaura – Perú, se ha seleccionado un tramo que satisface las características de un fluido laminar con mínima turbulencia, perteneciente a la cuenca baja del Río Huaura, tomándose la muestra en el periodo de transición de estiaje a avenida, con el uso de trazadores debido a un caudal relativamente bajo, según las características de la cuenca.

Es importante tener mayor número de datos experimentales para obtener mayor precisión en la simulación de la ecuación advección, evaluando la composición química del trazador, identificando la interacción con el fluido.

La variación de la dispersión del contaminante se ve influenciada por el caudal y tipo de fluido, por ende se hace necesario realizar toma de muestras en diferentes tramos para simular el comportamiento de la ecuación de advección y difusión. Se observó la utilidad colorantes artificiales rojo (E-129) y Azul (E-132) con una solubilidad de 10 g/l como trazador

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Edwards, C. H., JR y Penney, D. E. (1994). Ecuaciones diferenciales elementales y problemas con condiciones en la frontera. México: Prentice Hall Hispanoamericana.



2. Chapra S. (1997). *Surface Water Quality Modeling*. McGraw Hill. International Editions.
3. Yzocupe, V (2005). Modelo de dispersión de contaminantes en aguas rasas. Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de la San Marcos. Lima.
4. Torres, F., Ramírez, H., Rodríguez, C., Tejera, M., Vásquez, M. (2015). Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Unive Rio Magdalena, en el tramo adyacente a Barranquilla, Colombia. *Hidrobiológica* 2015, 25 (1): 7-23.
5. García, H., y Obregón, N. (2008), Modelación de la Calidad de Agua en corrientes naturales mediante sistemas ecuaciones no lineales acopladas, empleando dos algoritmos genéticos en el proceso de calibración y solución del sistema. Pontificia Universidad Javeriana.
6. Monerris, M., Marzal, P. (1995), Modelación de la Calidad de Agua. Universidad Politécnica de Valencia.
7. Villacorta, S, Chira, J, Ochoa, M y otros. (2010). Estudio Geoambiental de la Cuenca del Río Huaura. Boletín N°41 Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica.
8. Zenclussen, C., Palman, L.E., Montagnini, M.D., Pez, M., Alvarez, A. M. y Trento, A. (2015). Ensayo de trazadores para la determinación del coeficiente de dispersión longitudinal.
9. Menéndez, A. (2010). Transporte de contaminantes en medio acuático. Universidad Tecnológica Nacional.
10. Quispe Prado, W. et al. (2016). Dispersión de contaminantes en cursos de agua: estudios en el río Chumbao, Perú. *Energeia*, 14(14). Recuperado de : <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/revistas/dispersion-contaminantes-curso-agua.pdf>
11. Toprak, Z. (2016). A Review of Proposed Techniques for Modeling Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Channels. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering*. 5(3). 122-132. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/308741103>
12. Chamorro, G. (2011). Estimación del caudal por el método de flotadores. Guía de Hidrometría. SENAMHI/DR- LIMA N° 01-2011. Lima. Recuperado de http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf
13. Leandro, R., Vinicio, A. y Zavaleta, R. (2013). Caracterización Hidrodinámica y dispersión de contaminantes de la parte alta del Río Suquiapa, Santa Ana. Universidad de El Salvador.