



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO**

**FACULTAD DE: ARTES LIBERALES Y CIENCIAS AMBIENTALES**

**TÍTULO:**

**CONTAMINACIÓN BACTERIANA EN EL RÍO DAULE; EL CASO DEL CANTÓN  
PALESTINA, ECUADOR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO  
PREVIO A OPTAR EL GRADO DE:**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CARLOS ALBERTO ZAMBRANO ALVAREZ**

**NOMBRE DEL TUTOR:**

**FRANKLIN ISAAC ORMAZA GONZALEZ, PHD**

**SAMBORONDON, JUNIO DE 2015**

## Contaminación bacteriana en el río Daule; el caso del cantón Palestina-Ecuador

Universidad Espíritu Santo Ecuador

### RESUMEN

El río Daule es el principal proveedor de agua para 4 millones de personas en su zona de influencia. En monitoreos realizados los últimos cinco años se ha encontrado contaminación por el uso de fertilizantes, hidrocarburos y pesticidas por actividad industrial y agrícola, descargas antropogénicas y la operación de la represa Daule-Peripa; el impacto ha sido nocivo en la calidad de vida humana y la biodiversidad de la región como se demuestra en el presente artículo. Se investigó la contaminación bacteriológica a partir de los datos monitoreados en los años 2011 y 2012 en 6 puntos de muestreo en P1: Balzar, P2: Santa Lucía, P3: Daule, P4: Nobol, P5: Puente Lucía y P6. Palestina; el cual es uno de los más afectados por la gran concentración de coliformes en el río. Se sometieron los datos de concentración bacteriana a investigación de operaciones por procesos estocásticos; modelándose el crecimiento predictivo a través de ecuaciones diferenciales. A partir del 2013 la concentración bacteriana se vuelve estrictamente creciente; esto, mediante el modelo de análisis de la monotonía por la función:

$$y = 1.9721x^7 - 85.113x^6 + 1470.9x^5 - 13054.x^4 + 63457.x^3 - 1.6622 \times 10^5 x^2 + 2.1124 \times 10^5 x - 86993$$

El promedio de concentración bordeará probabilísticamente los 7540.18 NMP/100 ml en los próximos años, lo que excede en 37.7 veces la normativa ecuatoriana para el caso según el modelo de crecimiento bacteriano encontrado en la investigación:  $y = \frac{7540.18}{1 - 0.25e^{2.65x \times 10^{11}t}}$  mientras los datos de campo para Abril de 2015 muestran una concentración puntual de 8340NMP/100 ml.

**Palabras clave:** Río Daule, Contaminación bacteriana, Coliformes, Procesos estocásticos, Ecuación de crecimiento bacteriano.

## ABSTRACT

The Daule River is the main supplier of water to 4 million people in its area of influence. Monitoring conducted in the last five years has found contamination from the use of fertilizers, pesticides and hydrocarbons industrial, agricultural activity, anthropogenic discharges and operation of the Daule-Peripa dam; the impact has been harmful in the quality of human life and biodiversity of the region. Bacteriological contamination was investigated from the data monitored in 2011 and 2012 in seven sampling points in Balzar, Saint Lucia, Daule, Nobol bridge Lucia and Palestine; which is one of the most affected by the high concentration of coliform in the river. Bacterial concentration data to operations research underwent stochastic processes; predictive modeling itself growth through differential equations. From 2013 bacterial concentration becomes strictly increasing; this, by analysis model monotony by function:

$$y = 1.9721x^7 - 85.113x^6 + 1470.9x^5 - 13054.x^4 + 63457.x^3 - 1.6622 \times 10^5x^2 + 2.1124 \times 10^5x - 86993$$

The average concentration will be around 7540.18 MPN / 100 in the coming years, which exceeds 10 times the Ecuadorian legislation for the case by model of bacterial growth found in the investigation:  $y = \frac{7540.18}{1 - 0.25e^{2.65x10^{11}t}}$ .

**Keywords:** Daule River, bacterial contamination, Coliforms, Stochastic processes, Bacterial growth equation.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación en los ríos del mundo es preocupante en el siglo XXI debido a la expansión de la actividad humana; en el Nilo por ejemplo hay alrededor de 700 instalaciones industriales (Ezzat *et al.*, 2002) promoviendo las aguas residuales industriales altamente tóxicas que contienen metales pesados los cuales combinados con los sólidos en suspensión en las aguas residuales domésticas hacen difícil el manejo de lodos. Los ecosistemas ribereños de los ríos se caracterizan por la deforestación (ídem). Se estima que el 56 por ciento de las llanuras de inundación a lo largo de la corriente principal del bajo Amazonas por ejemplo fueron deforestadas entre 1970 y 2008, estimulando la erosión del suelo, lo que altera la calidad y claridad del agua y provoca la sedimentación. La contaminación de las parcelas agrícolas (fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas), extracción de petróleo y gas (residuos de perforación y el petróleo crudo), la minería (mercurio y metales pesados) y las descargas están afectando a los ecosistemas de agua dulce de los ríos en la actualidad (Butler, 2013).

Existen formas de determinar el nivel de polución de los ríos a través de indicadores: químicos, físicos y biológicos; el pH por ejemplo es un indicador fundamental de la calidad del agua; generalmente las aguas naturales tienen un pH de entre 5 y 9 y la mayoría de los organismos acuáticos sobreviven en aguas dentro de esta gama (Köck, G. 2014). Con la excepción de algunas bacterias y microbios, si el pH va más alto o más bajo que este rango, la vida acuática tiene probabilidades de perecer. En cuanto a los indicadores físicos, la erosión aumenta la cantidad de sedimentos (partículas de suelo) en el agua. Este aumento de la turbidez influencia el sedimento que es una propiedad óptica del agua basada en la cantidad de luz reflejada por las partículas en suspensión (USEPA, 1999) (2013) así, el agua muy turbia aparece turbia o nublada. Toda agua natural es un poco turbia, aunque sólo sea en niveles microscópicos. La turbidez dará una idea del volumen de medición en suspensión y materia coloidal presente en un cuerpo de agua en un momento determinado y puede ser un indicador de agua o para evaluar. Los organismos bentónicos por otro lado permiten la evaluación del agua desde el punto de vista biológico (Black & Veatch Corporation, 2009) pues son característicos los ambientes vitales para los macro y micro invertebrados incluyendo bacterias (Geldreich,

2010) permitiendo una acertada determinación de la calidad del agua (Scheringer, 1999) (Geissler, Manafi, Amorós, y Alonso, 2000).

En cuanto a los indicadores microbiológicos para la determinación de la calidad del agua en un río existen tanto los coliformes totales cuanto los fecales (Thornton, Nix y Bragg, 1980), debido a la contaminación en especial por descargas provenientes de la actividad antropogénica como lo son las aguas negras o trabajos de pastoreo y fuentes de drenaje (LaWare, 2006, Rittenberg *et al*, 2003).

Las bacterias: coliformes y estreptococos fecales, se utilizan como indicadores de posible contaminación de aguas consideradas residuales (EPA, 1992), estas bacterias se encuentran por lo general en las heces humanas y animales las que indican la posible presencia de organismos patógenos, protozoos y virus (Newton, K, 1979, Bhargava, A, 2003).

Alrededor del mundo el problema de los coliformes es un tema de estudio (Fonseca *et al*, 2014) pues su presencia sugiere contaminación en agua, flora, fauna como mariscos alimenticios lo que podría ser un riesgo para la salud. El crecimiento de coliformes fecales en el agua bebestible degrada la calidad de la misma (Rice *et al*, 1991) causando contaminación micro bacteriana en los sistemas de distribución (Barnes, Gordon, 2004); afectando el color, sabor y olor del agua además de las consabidas consecuencias a los seres humanos.

En el Ecuador existen ríos con una gran concentración de los mencionados coliformes; un estudio reciente presentado por Veloz (2015) estima que en el río Chibunga los coliformes fecales tienen una concentración 18 mil veces mayor a la norma EPA mientras los coliformes totales la superan en 7 mil veces. En las provincias de Guayas y Los Ríos el río Daule muestra una concentración que supera los 15 mil NMP/100ml.

Entre los principales ríos del Ecuador se encuentra el Daule con una extensión de alrededor de 240 km descargando en el río Guayas aproximadamente 10 millones de metros cúbicos de agua dulce a la vez que permite el crecimiento de la flora de la cuenca en todo su recorrido. En este río se ha llevado a cabo desde la era prehispánica la actividad comercial que ha promovido el desarrollo de la población ribereña (GADP Guayas, 2015).

La concentración bacteriana en el río Daule no es un tema de interés meramente determinístico; se debe conocer cuál será su tendencia en los próximos años, de manera que sea posible que los tomadores de decisiones tengan argumentos para establecer políticas que prevengan su impacto en la población humana y la biodiversidad en general.

El objetivo de este estudio fue someter los datos obtenidos en monitoreos del agua del río en importantes estudios previos a la luz de los procesos matemáticos proyectivos y probabilísticos dejando las publicaciones científicas conocidas en el país sobre el tema no como meta de estudio sino como punto de partida para análisis más exhaustivos bajo el rigor de las herramientas de la ingeniería de la gestión ambiental.

## **II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

El objeto de estudio es el agua del río Daule el cual se origina en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas teniendo una longitud aproximada de 260 km abarcando un área de 11,567 km<sup>2</sup> que incluye las provincias de Guayas, Santa Elena, Santo Domingo, Los Ríos y Manabí y poblaciones como Santa Lucía, Pichincha, Balzar, Colimes, El Empalme, Daule, Palestina y Nobol.

El caudal promedio del río está entre los 1000 m<sup>3</sup>/s como máximo y los 100 m<sup>3</sup>/s como mínimo. La pendiente del Daule se ubica entre 0.2% y 0.05% La Población en el área de influencia del río Daule llega a aproximadamente 4 millones de personas.

El caudal promedio del río Daule está entre los 1000 m<sup>3</sup>/s como máximo y los 100 m<sup>3</sup>/s como mínimo. La pendiente del Daule se ubica entre 0.2% y 0.05% La Población en el área de influencia del río Daule llega a aproximadamente 4 millones de personas. El río Daule se origina en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas teniendo una longitud aproximada de 260 km abarcando un área de 11,567 km<sup>2</sup> que incluye las provincias de Guayas, Santa Elena , Santo Domingo, Los Ríos y Manabí y poblaciones como Santa Lucía, Pichincha, Balzar, Colimes, El Empalme, Daule, Palestina y Nobol

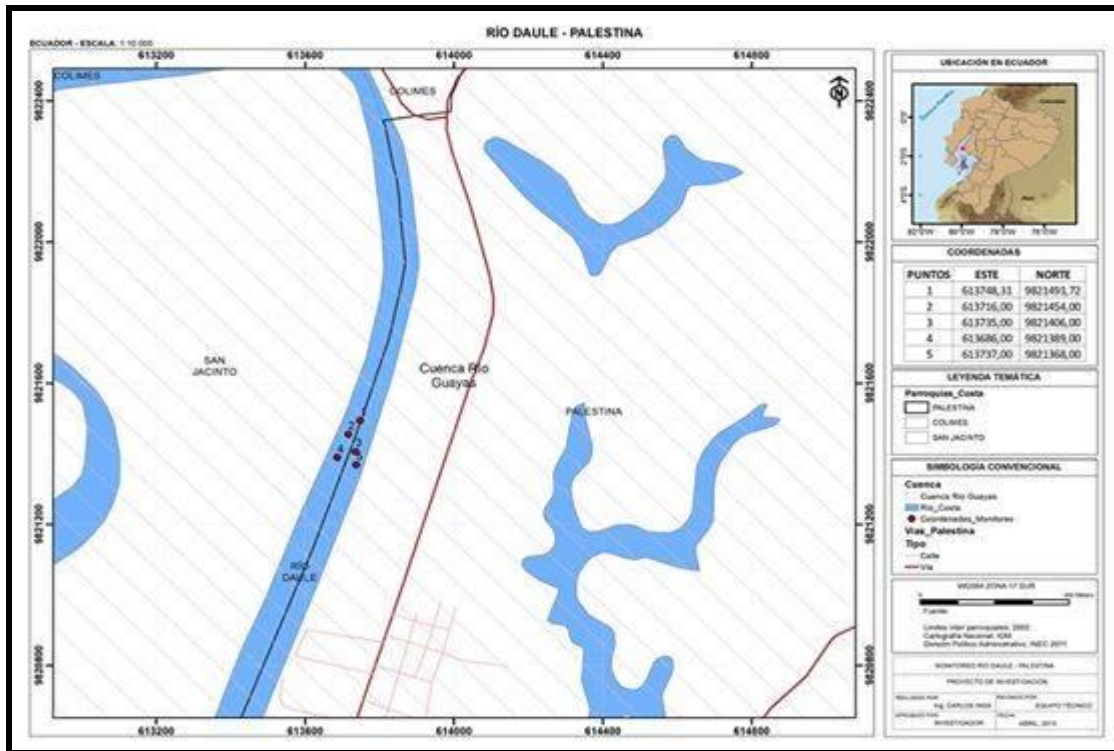


Figura. N. 1 El río Daule en Palestina

A continuación se presentan conceptos los siguientes conceptos clave de la investigación:

- **Coliformes:** Cualquiera de varios bacilos, especialmente *Escherichia coli* y miembros del género *aerobacter*, encontrados como comensales en el intestino grueso de los seres humanos y animales, cuya presencia en el agua indica la contaminación fecal (EPA, 2013).
- **Contaminante orgánico:** Los contaminantes orgánicos incluyen pesticidas, herbicidas, plantas y tejidos animales, gasolina, y plastificantes (elaborados a partir de productos derivados del petróleo); plastificantes de lixiviación de las tuberías, accesorios y tanques de almacenamiento, por lo que, irónicamente, el sistema de purificación en sí mismo puede contaminar el agua si no está bien construido. La ausencia de sustancias orgánicas es especialmente importante en la investigación que implica cultivos de tejidos, y también en HPLC (cromatografía líquida de alto rendimiento), cromatografía de gases, electroforesis, y el fluoroscopio. (APS, 2015)

- **Cuenca Hidrográfica:** Una cuenca hidrográfica es el área de tierra donde toda el agua está debajo de ella o desagües fuera de ella entra en el mismo lugar. Es un área de tierra, un sistema hidrológico acotado, en el que todos los seres vivos están inextricablemente unidos por su curso de agua común y en que, como seres humanos se asentaron, que por simple lógica exige se conviertan en parte de una comunidad. (EPA, 2013).

- **EPA:** La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA o a veces USEPA) es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos, creada con el propósito de proteger la salud humana y el medio ambiente mediante reglamentos sobre la base de las leyes aprobadas por el Congreso.

- **Escherichia coli.-** Es el nombre de un germen o bacteria, que vive en el tracto digestivo de humanos y animales. Hay muchos tipos de E. coli, y la mayoría de ellos son inofensivos. Pero algunos pueden causar diarrea con sangre. Algunas cepas de la bacteria E. coli (como una cepa llamada O157: H7) también pueden causar anemia grave o insuficiencia renal, lo que puede llevar a la muerte.

Otras cepas de E. coli pueden causar infecciones de las vías urinarias u otras infecciones. Se adquiere una infección por E. coli al entrar en contacto con las heces de humanos o animales cuando se ingiere agua o alimentos que han sido contaminados por las heces. La E. coli pueden entrar en la carne durante el procesamiento; si esta no se cocina a 160 ° la bacteria puede sobrevivir. (Medicine, 2014)

Cualquier alimento que haya estado en contacto con carne cruda también puede infectarse. Otros alimentos que pueden estar infectados con E. coli incluyen: La leche cruda o productos lácteos. Las bacterias pueden propagarse de las ubres de una vaca a su leche. Se debe revisar las etiquetas de los productos lácteos para asegurarse de que contienen la palabra "pasteurizado". Esto significa que el alimento ha sido hervido para destruir las bacterias. Frutas y verduras crudas, como la lechuga, brotes de alfalfa, o sidra de manzana no pasteurizada u otros jugos no pasteurizados que hayan estado en contacto con heces de animales infectados transportan la E. Coli.

- **Modelo Matemático:** Es una reducción cuantitativa de los fenómenos ambientales a través de una ecuación matemática predictiva.



- **Monotonía de una función:** En cálculo, una función  $f$  definida en un subconjunto de los números reales con los valores reales se llama monótona, si para todas las  $x$  e  $y$  tales que  $x \leq y$  existe un  $f(x) \leq f(y)$ , por lo que  $f$  preserva el orden. Del mismo modo, una función que se llama monótonamente decreciente sí, siempre que para un  $x \leq y$ , entonces existe un  $f(x) \geq f(y)$ , por lo que invierte el orden. Si el orden  $\leq$  en la definición de monotonía se sustituye por el orden estricto  $<$ , a continuación, se obtiene un requisito más fuerte. Una función con esta propiedad se llama estrictamente creciente. Una vez más, invirtiendo el símbolo de orden, se encuentra un concepto correspondiente llamado estrictamente decreciente. Las funciones que son estrictamente crecientes o decrecientes son uno-a-uno (porque para  $x$  no es igual a  $y$ , ya sea  $x < y$  o  $x > y$ , y así, por la monotonía, ya sea  $f(x) < f(y)$  o  $f(x) > f(y)$ , por lo que  $f(x)$  no es igual a  $f(y)$ ).
- **SENAGUA:** La Secretaría Nacional del Agua representa la Autoridad del Agua en el Ecuador, encargada de administrar y planificar los recursos de origen hídrico y el desarrollo de sistemas de uso múltiple del agua y el control de las inundaciones.

### **Teorías y modelos que explican el problema**

- **Los coliformes totales y la contaminación hídrica**

Hay una variedad de bacterias, parásitos y virus que potencialmente pueden causar problemas de salud si los humanos los ingieren en el agua potable. Las pruebas de agua para cada uno de estos patógenos potenciales (agentes causantes de enfermedades) puede ser difícil y caro.

En su lugar, la calidad del agua puede ser medida por trabajadores de la salud pública a través del establecimiento de niveles de coliformes. La presencia de cualquier coliforme en el agua potable sugiere que puede ser una vía de determinación de la existencia de los agentes patógenos y / o la contaminación fecal en el sistema de distribución de agua potable (tuberías, instalaciones de almacenamiento, etc.).

Los coliformes totales son un grupo de bacterias estrechamente relacionadas que son (con pocas excepciones) no perjudiciales para los seres humanos.

En cuanto al agua potable, los coliformes totales se utilizan para determinar la adecuación de tratamiento y la integridad del sistema de distribución. La ausencia de

coliformes totales en el sistema de distribución minimiza la probabilidad de que los patógenos fecales estén presentes. Por lo tanto, los coliformes totales se utilizan para determinar la vulnerabilidad de un sistema a la contaminación fecal (EPA, 2013).

Las bacterias coliformes son descritas y agrupadas, en función de su origen común o características, ya sea total o fecal. El grupo total incluye bacterias coliformes fecales como *Escherichia coli* (*E. coli*), así como otros tipos de bacterias coliformes que se encuentra naturalmente en el suelo. Existen bacterias coliformes fecales en los intestinos de animales de sangre caliente y seres humanos, y se encuentran en los residuos corporales, excrementos de animales, y naturalmente en el suelo. La mayoría de los coliformes fecales en la materia fecal (heces) se compone de *E. coli*, y el serotipo *E. coli* 0157: H7; se sabe que causan enfermedades humanas graves.

Los coliformes totales no necesariamente indican la contaminación del agua con materia fecal reciente, sin embargo se utiliza a menudo la presencia o ausencia de estas bacterias en el agua tratada para determinar si la desinfección del agua está funcionando correctamente.

La presencia de coliformes fecales en el agua de pozo puede indicar reciente contaminación de las aguas subterráneas por aguas residuales o excrementos de animales o humanos que podrían contener otras bacterias, virus u organismos causantes de enfermedades.

Esta es la razón por la que bacterias coliformes son consideradas "organismos indicadores"; su presencia advierte de la posible presencia de organismos causantes de enfermedades y debe alertar a la persona responsable del agua a tomar medidas de precaución.

Una prueba de laboratorio básico es la mejor manera de saber si los organismos coliformes están presentes, ya que puede estar allí con ninguna apariencia o sabor diferenciable. Cuando el agua tiene materia fecal o coliformes totales, los resultados se dan generalmente mediante el número de unidades formadoras de colonias por 100 mililitros (UFC / 100 ml) de agua muestreados (EPA, 2013).

Ninguna muestra debe contener coliformes fecales o *E. coli*, e idealmente no debe haber coliformes totales, sin embargo, una sola muestra puede contener hasta 10 coliformes

totales UFC / 100 ml. Si se detectan bacterias coliformes en el agua potable, la fuente debe ser investigada inmediatamente. Si se sabe o se sospecha que existen coliformes fecales o E. coli, el agua no debe ser consumida sin tratamiento como la ebullición durante un minuto (Canadá, 2007).

- Epistemología y probabilismo

Una vez que los resultados determinísticos de la contaminación bacteriana del río Daule nos permiten establecer una línea base en cuanto a lo que sucedió en los años 2011 y 2012 cabe preguntarse ¿qué matiz toma el problema entre 2013 y 2020? Esa simple pregunta hace necesario abordar la filosofía probabilística como fundamentación teórica de la investigación.

- Procesos estocásticos-Cadenas de Markov

Creadas por Andrei Markov, son sistemas matemáticos que proponen saltar de un "estado" (una situación o conjunto de valores) a otro. Por ejemplo, si ha realizado un modelo de cadena de Markov de la conducta de un bebé, es posible incluir "jugar", "comer", "dormir" y "llorar" como estados que, junto con otros comportamientos podrían formar un "espacio de estado": una lista de todos los estados posibles. Además, en la parte superior del espacio de estados, una cadena de Markov indica la probabilidad de saltar, o "transición" de un estado a otro estado --- por ejemplo, la probabilidad de que un bebé que está jugando se dormirá en los próximos cinco minutos sin llorar primero.

A continuación se muestra una cadena simple, de dos estados de Markov. Con dos estados (A y B) en el espacio de estados, hay 4 posibles transiciones (no 2, debido a que un Estado puede hacer la transición de nuevo en sí mismo). Si se está en 'A' se puede hacer una transición a 'B' o quedarse en 'A'. Si se está en 'B' se puede hacer una transición a 'A' o quedarse en 'B'.

En el diagrama de dos estados, la probabilidad de transición de cualquier estado a cualquier otro estado es de 0.5 por ejemplo. Por supuesto, los modeladores reales no siempre sacan diagramas de cadenas de Markov. En su lugar, utilizan una "matriz de transición" para contabilizar las probabilidades de transición. Cada estado en el espacio

de estados se incluye una vez como una fila y otra vez como una columna, y cada celda de la matriz indica la probabilidad de transición de estado de su fila de estado de su columna.

Así, en la matriz, las células hacen el mismo trabajo que hacen las flechas en el diagrama. Si el espacio de estados añade un estado, mediante una fila y una columna, añadiendo una celda a cada columna y fila existente. Esto significa que el número de células crece cuadráticamente a medida que se agregan a los estados de la cadena de Markov.

Una matriz de transición viene muy bien con bastante rapidez, a menos que se desee dibujar un diagrama Markov. Uno de los usos de las cadenas de Markov es incluir fenómenos del mundo real en simulaciones por ordenador. Por ejemplo, puede ser que desee comprobar con qué frecuencia una nueva presa se desbordará, que depende del número de días de lluvia en una fila. En manos de los meteorólogos, ecologistas, científicos de la computación, ingenieros financieros y otras personas que necesitan modelar grandes fenómenos, las cadenas de Markov pueden llegar a ser bastante útiles. Por ejemplo, el algoritmo de Google utiliza para determinar el orden de los resultados de búsqueda, llamado PageRank, es un tipo de cadena de Markov. (Powell, 2014)

- Bacterias: Son organismos unicelulares ubicuos de forma esférica, espiral, apareciendo por separado o en cadenas, las cuales están involucradas en la fermentación, putrefacción, enfermedades infecciosas, o en la fijación de nitrógeno (Dictionary, 2014).
- Cadenas de Markov: Se debe describir una cadena de Markov de la siguiente manera: Se tiene un conjunto de estados,  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$ . El proceso se inicia en uno de estos estados y mueve sucesivamente desde un estado a otro. Cada movimiento se llama un paso. Si la cadena está actualmente en un estado  $S_1$ , entonces se mueve al estado  $S_j$  en el siguiente paso con una probabilidad denotada por  $p_{ij}$ , y esta probabilidad no depende de lo que afirma la cadena se encontraba antes de la actual. Las probabilidades  $p_{ij}$  se llaman probabilidades de transición. El proceso puede permanecer en el estado en que está, y esto ocurre con la probabilidad  $p_{ii}$ . Una probabilidad inicial de distribución, definida sobre  $S$ , especifica el estado inicial (Dartmouth, 2014)

- **Procesos Estocásticos:** En teoría de la probabilidad, un proceso estocástico, o proceso a veces al azar, es la contrapartida de un proceso determinista (o sistema determinista). En lugar de tratar con una sola posible realidad de cómo el proceso podría evolucionar en virtud del tiempo (como es el caso, por ejemplo, para soluciones de una ecuación diferencial ordinaria), en un proceso estocástico o aleatorio hay cierta indeterminación en su evolución futura descrito por distribuciones de probabilidad.

Incluso si se conoce la condición inicial (o punto de partida), hay muchas posibilidades de caminos por los que el proceso podría ir, pero algunos caminos pueden ser más probables y otros no tanto. En el caso más simple posible (tiempo discreto), un proceso estocástico equivale a una secuencia de variables aleatorias conocidas como una serie de tiempo (por ejemplo la cadena de Markov).

Otro tipo básico de un proceso estocástico es un campo aleatorio, cuyo dominio es una región del espacio; en otras palabras, una función aleatoria cuyos argumentos se han extraído de un rango de valores que cambian continuamente. Una aproximación a los procesos estocásticos los trata como funciones de uno o varios argumentos deterministas (entradas, en la mayoría de los casos considerados como tiempo) cuyos valores (salidas) son variables aleatorias: cantidades no deterministas (individuales) que tienen ciertas distribuciones de probabilidad.

Las variables aleatorias correspondientes a varias veces (o puntos, en el caso de campos aleatorios) pueden ser completamente diferentes. El requisito principal es que estas diferentes cantidades aleatorias tienen que ser del mismo tipo. A pesar de los valores aleatorios de un proceso estocástico en diferentes momentos pueden ser consideradas como variables aleatorias independientes; en las situaciones más comúnmente consideradas ellas exhiben correlaciones estadísticas complicadas. (Princeton, 2014).

Dos estudios esenciales se han realizado exhaustivamente sobre la temática; siendo el primero llevado a cabo por la Universidad Agraria del Ecuador en 2009 cuyo título fue: “Biomonitoreo de la calidad del agua para determinar la naturaleza y el grado de contaminación por la agricultura y actividades afines en los principales ríos de la cuenca del río Guayas” (UAE, 2009).

La investigación fue llevada a cabo por los autores Jaime Proaño, Ronald Navarrete, Pedro Fernández y Fanny Rodríguez; dicho estudio buscó determinar la contaminación de los ríos de la cuenca del río Daule debido a las labores agrícolas y afines; tomando en cuenta que dicha cuenca es la mayor de América del Sur hacia el hemisferio del océano Pacífico.

Para el estudio se tomaron alrededor de 700 medidas las cuales fueron analizadas por dos años tomando en cuenta parámetros como: sólidos suspendidos, sólidos disueltos, temperatura, coliformes fecales, presencia de plaguicidas, demanda bioquímica de oxígeno, según la normativa vigente ecuatoriana.

Mediante el monitoreo se encontró que la demanda biológica de oxígeno, primordial para la vida está por debajo del estándar mínimo de 6 mg/l, mostrando el 67% de las mediciones una concentración inferior a 2 mg/l probablemente debido a las descargas de agua anóxica desde la presa Daule-Peripa y de materia orgánica y nutrientes químicos lixiviados por las lluvias en los cultivos.

El segundo estudio se extrae de la tesis doctoral denominada: “Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule en la provincia del Guayas desde el punto de vista físico, químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico” publicado por Justo Huayamave (2013) bajo el auspicio del Departamento de Procesos de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria España.

Para llevar a cabo su investigación el tesista Huayamave estableció monitoreos de los parámetros típicos del análisis de aguas en 7 puntos de muestra a lo largo del río según la normativa ecuatoriana propuesta por el Ministerio de Ambiente del Ecuador a través de los años 2010 y 2011.

Las conclusiones más destacadas de este estudio fueron las siguientes: procesos de mineralización del río entre débil y muy débil; un 60% de monitoreos presentaron datos bajos en niveles de oxígeno debido a la actividad de la presa Daule Peripa. Un 53.3% de los puntos muestreados determinaron la presencia de organoclorados; varios de los cuales sobrepasaron la concentración establecida en la legislación ecuatoriana. Se encontraron

además 12 de 16 hidrocarburos aromáticos policíclicos cuyos estándares presentan un nivel nocivo para la calidad del agua del río.

Se concluye que con las teorías antes expuestas, en un enfoque interdisciplinario se ha podido enfocar convenientemente el análisis de la contaminación del río Daule a la altura del cantón Palestina de un modo conveniente.

### **III. METODOLOGÍA**

- Diseño de la investigación:

El presente estudio es de corte no experimental, explicativo, descriptivo.

- Población

La población en la influencia de la cuenca del río Daule corresponde 7 asentamientos en las cuales el río Daule tiene su influencia. Siendo la muestra correspondiente a los datos en cuanto a contaminación bacteriana a la altura del cantón Palestina  $S O1^0 37,447'$  tomados mensualmente en estación seca y lluviosa entre junio de 2011 y junio de 2012 a través de la trilogía: trabajo de campo, determinación de parámetros *in situ* y análisis de laboratorio (Huayamabe, 2013).

- Materiales y métodos

Ensayo, Técnica y Rangos: Coliformes fecales, Filtración por membrana: 1NMP/100ml

- Método

Standar Methods, 2005 9222 D y 9221

Para la determinación de presencia de coliformes fecales el método 9221 incluye las siguientes fases: Presunción, confirmación y completación. El procedimiento en cuanto al método 9222 D para determinación de coliformes fecales tiene los siguientes elementos: Selección de la muestra, filtración, preparación del medio de cultivo, incubación, conteo y verificación. (EPA, 2003).

- Marco legal referente a coliformes totales en la Legislación del Ecuador

La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA por sus siglas) en el libro VI Anexo I Tabla I bajo régimen de la Ley de Gestión Ambiental y su respectivo reglamento establece un máximo de concentración de 3000 nmp/100 ml (EFFICACITAS, 2011) para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional.

- Técnicas de tratamiento de los datos

- a) Triangulación de artículos científicos sobre la problemática

Se realizó una matriz de triangulación buscando datos de producciones científicas relativas a la temática. Se codificaron las fuentes primarias, secundarias y terciarias (informes, tesis de ingeniería, tesis de maestría y Ph.D, artículos periodísticos, documentos de sitios web, etc) se analizaron los documentos provenientes de dichas fuentes; se cruzó la información buscando características comunes; así como otras fuentes de apoyo determinándose los principales enfoques en cuanto a la contaminación bacteriana del Daule y se consolidó la matriz estructural del presente artículo.

- b) Análisis de monotonía de la función concentración-tiempo

Una vez recogidos los datos publicados relativos a la concentración de coliformes en el río Daule en general y en el cantón Palestina en particular se procedió a calcular la ecuación correspondiente mediante regresión polinómica a fin de analizar la monotonía de la función (máximo, mínimo, tendencia al infinito; crecencia, decrecencia, inyectividad, etc) de manera que se puedan tener elementos de juicio predictivo en cuanto a la contaminación.

- c) Investigación de operaciones- Procesos estocásticos-Cadenas de Markov

Se analizaron los datos referentes a los muestreos en poblaciones ribereñas del río Daule como fueron: Balzar, Palestina, Santa Lucía, Nobol, Puente Lucía y Daule y se obtuvo la matriz de probabilidades cuadrada cuyos parámetros fueron: “Concentración de coliformes totales mayor a la legislación ecuatoriana” y “Concentración de coliformes totales menor o igual a la legislación ecuatoriana vigente”.

Una vez construida la matriz de probabilidad se procedió a determinar la regularidad de la misma elevándola a diferentes exponentes hasta encontrar la repitencia de los valores de las columnas de modo que se puedan conocer las probabilidades de cumplimiento de la legislación en monitoreos posteriores; esto, probabilísticamente.



d) Ecuación de crecimiento bacteriano

Ya, analizando los datos derivados del agua del río Daule, a la altura del cantón Palestina se procedió a aplicar la ecuación de crecimiento bacteriano cuya deducción se presenta a continuación:

a) Deducción de la ecuación de crecimiento

Dada una función cuadrática de la forma:  $\alpha y - \beta y^2$  (Murray-Spiegel, 1983).

$$\frac{dy}{dt} = F(y); y = y_0 \text{ para } t = 0$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha y - \beta y^2; y = y_0 \text{ para } t = 0$$

$$\frac{dy}{\alpha y - \beta y^2} = dt$$

$$\int \frac{dy}{y(\alpha - \beta y)} = t + c$$

$$\int \frac{1}{x} \left( \frac{1}{y} + \frac{\beta}{\alpha - \beta y} \right) dy = t + c$$

$$\frac{1}{\alpha} [\ln y - \ln(\alpha - \beta y)] = t + c$$

$$y = y_0 \text{ en } t = 0$$

$$c = \frac{1}{\alpha} [\ln y_0 - \ln(\alpha - \beta y_0)] \text{ para } t = 0$$

$$\frac{1}{\alpha} [\ln y - \ln(\alpha - \beta y)] = t + \frac{1}{\alpha} [\ln y_0 - \ln(\alpha - \beta y_0)]$$

Despejando “y” obtenemos la ecuación predictiva de crecimiento para un “t” cualquiera

$$y = \frac{\frac{\alpha}{\beta}}{1 + \left(\frac{\alpha}{\beta} - 1\right) e^{-\alpha t}}$$

Ecuación 1

La e ecuación 1 permite determinar el crecimiento bacteriano en un tiempo “t”

$$\frac{\beta}{\alpha}(1 - e^{-\alpha}) = \frac{1}{y_1} - \frac{e^{-\alpha}}{y_0}$$

$$\frac{\beta}{\alpha}(1 - e^{-2\alpha}) = \frac{1}{y_2} - \frac{e^{-\alpha}}{y_0}$$

$$1 + e^{-\alpha} = \frac{\frac{1}{y_2} - \frac{e^{-2\alpha}}{y_0}}{\frac{1}{y_1} - \frac{e^{-\alpha}}{y_0}}$$

$$e^{-\alpha} = \frac{y_0(y_2 - y_1)}{y_2(y_1 - y_0)}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{y_1^2 - y_0y_2}{y_1(y_0y_1 - 2y_0y_2 + y_1y_2)}$$

Si tomamos *y máximo*  $t \rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} y$

b) Modelo de máximo crecimiento

$$y \text{ máx} = \frac{y_1(y_0y_1 - 2y_0y_2 + y_1y_2)}{y_1^2 - y_0y_2}$$

Ecuación 2

La ecuación 2 sirve para determinar el máximo crecimiento bacteriano de coliformes en el río Daule.

Se obtuvo de esta manera tanto el valor de concentración máxima promedio; así como el modelo matemático de crecimiento bacteriano.

e) Monitoreo de coliformes

e1) Toma de muestra para análisis microbiológico de aguas

Para su recogida debe utilizarse frascos estériles. En todos los casos los envases se llenarán por completo para excluir el aire.

- No abrir las botellas hasta justo antes de tomar la muestra de agua.
- En ningún momento deberán entrar en contacto los dedos de los muestreadores con el interior de la botella.

- Si la muestra a ser analizada contiene cloro, para destruir los residuos de éste se utiliza una solución de tiosulfato de sodio al 0,1% dentro del recipiente de acopio.
- El tiempo entre la recolección y el análisis de la muestra no deberá exceder de las 24 horas.
- Utilizar un nuevo par de guantes estériles para cada muestra.

## e2) Procedimiento

### e2.1 Preparación

- Rotulado con toda la información necesaria en el envase donde se tomó la muestra.
- Uso de guantes
- Selección de un grifo alimentado por un tanque de servicio directamente conectado al principal.
- Desinfección del grifo con toallas con alcohol.
- Se deja abrir el grifo completamente hasta que pueda correr el agua por al menos 3 minutos, o por el tiempo suficiente para permitir que se purgue la tubería completa.
- Lentamente se llena el frasco estéril hasta arriba, sin dejar espacios con aire, y se cierra el frasco. No se debe permitir que el contenedor rebose si se utiliza tiosulfato de sodio.
- Las muestras deben ser representativas.
- Sujetar una botella por su base y colocarla dentro de la fuente de agua con el cuello hacia abajo.
- Girar la botella hasta que el cuello apunte ligeramente hacia arriba y la boca este dirigida hacia la corriente; permitir que se llene. Después de llenada, retire la botella del agua con el cuello hacia arriba y sin espacios de aire.
- Cerrar fuertemente la tapa.

### e3) Transporte

- Colocar las muestras en el cooler
- Colocar suficiente cantidad de paquetes de gel hielo en el enfriador para mantener las muestras frías durante el transporte al laboratorio.
- Cerrar el cooler y asegúrese de que este bien cerrado.
- Transportar las muestras al laboratorio.

## f) Diseño experimental

RG1	01	02	03
RG2	04	05	06
RG3	07	08	09
RG4	010	011	012
RG5	013	014	015

Tabla 1 Diseño Experimental

g) Puntos de muestreo

PUNTOS	ESTE	NORTE
1	613748.31	9821493.72
2	613716.00	9821454.00
3	613735.00	9821406.00
4	613686.00	9821389.00
5	613737.00	9821368.00

Tabla 2 puntos muestreados

PUNTOS	latitud			longitud		
	SUR			OESTE		
	grados	minutos	segundos	grados	minutos	segundos
1	01	36	38.7	079	58	38.7
2	01	36	39.8	079	58	39.8
3	01	36	39.2	079	58	39.2
4	01	36	40.7	079	58	40.7
5	01	36	39.1	079	58	39.1

Tabla 3 Coordenadas de puntos de muestreo

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Investigación de operaciones-procesos estocásticos- Cadenas de Markov

Tabla 1 Muestreos coliformes en el río Daule:“>” se relaciona con la concentración que supera los 600 NMP/100 ML mientras “<”se vincula con la concentración menor a los 600 NMP/100 ML de la normativa ecuatoriana para coliformes en agua.

Sitio	Muestra 1 en NMP/100 ml	Muestra 2 en NMP/100 ml	Evolución
Balzar 1	600	600	<<
Balzar 2	400	4100	<
Palestina	10000	400	>>
Santa Lucía	10000	1000	>>
Daule	10000	1500	>>
Nobol	10000	2100	>>
Pte. Lucía	10000	10000	>>

Tabla 4 Resultados del muestreo

	<	>
<	0.5	0.5
>	0.2	0.8

Tabla 5 Matriz de probabilidad

Fuente: Tabla 4

Elaborado por: Carlos Zambrano

Existe un 50% de probabilidad de que un monitoreo que en el primer momento tuvo una concentración menor a la normativa ecuatoriana en un segundo momento vuelva a registrar concentración menor a dicha normativa (<<). Existe un 80% de posibilidades de que en el primer monitoreo excedió la concentración esperada en el siguiente monitoreo mantenga su condición (>>), etc.

Equilibrio en matrices de probabilidad

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.2 & 0.8 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 0.35 & 0.65 \\ 0.26 & 0.74 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.2 & 0.8 \end{pmatrix}^4 = \begin{pmatrix} 0.2915 & 0.7085 \\ 0.2834 & 0.7166 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.2 & 0.8 \end{pmatrix}^6 = \begin{pmatrix} 0.28624 & 0.71377 \\ 0.28551 & 0.71449 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.2 & 0.8 \end{pmatrix}^8 = \begin{pmatrix} 0.28576 & 0.71424 \\ 0.28570 & 0.7143 \end{pmatrix}$$

Si bien elevamos a diferentes exponentes la matriz de probabilidad veremos que cada vez las filas tienden a repetirse como en el caso del exponente 8 (0.28570 0.7143). Estos valores muestran la probabilidad de que un monitoreo en lo posterior registre mayor o menor concentración.

Evolución	Probabilidad
<	0.29
>	0.71

**Tabla 6 Matriz evolución-probabilidad**

**Fuente: Tabla 1 Elaborado por: Carlos Zambrano**

Explicación: A la larga 29 de cada 100 monitoreos presentarán concentraciones menores que la normativa ecuatoriana mientras que 71 de cada 100 casos excederán los valores esperados para los diferentes puntos de muestreo del río Daule.

#### 4.2 Modelo de regresión polinómica para coliformes totales en el río Daule cantón Palestina

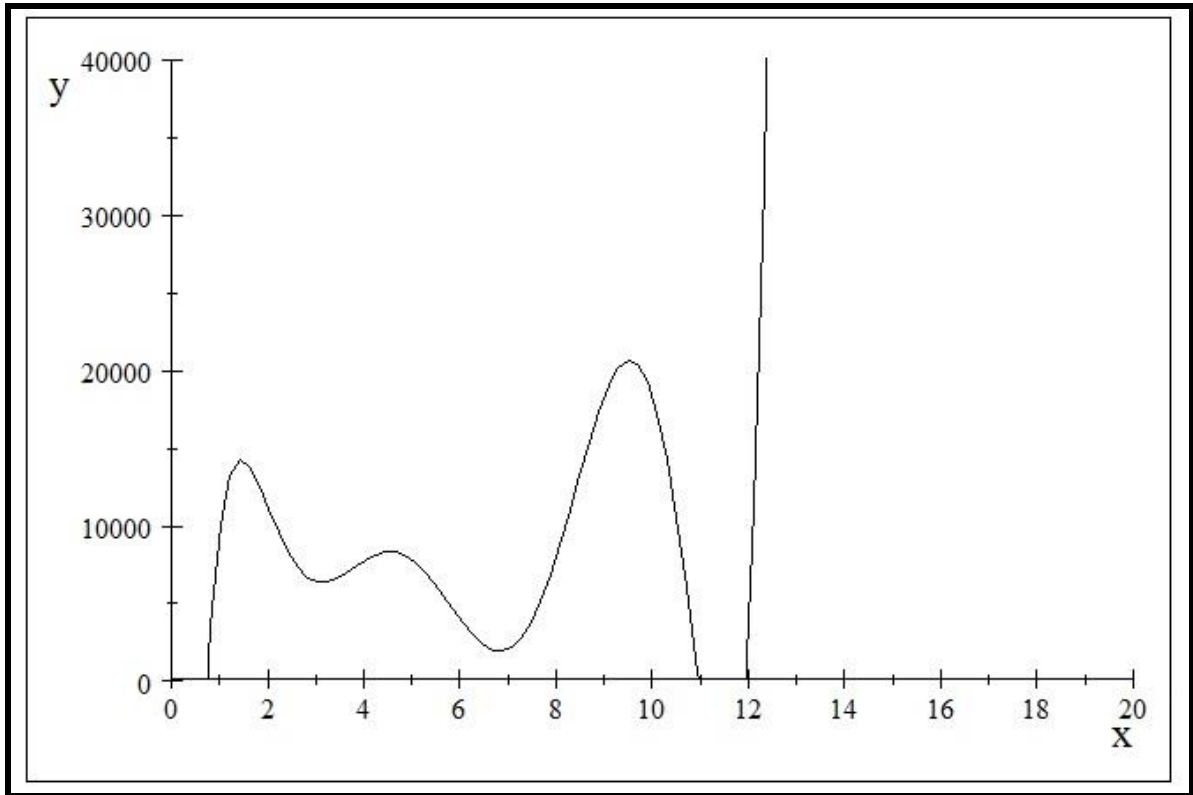
De los 12 monitoreos de los 7 lugares tomados en cuenta en el estudio sobre el río Daule; el cantón Palestina presenta un exceso en cuanto a la concentración por coliformes totales en un 58.3% de casos; por lo que el investigador enfoca su análisis en este cantón ganadero de la provincia del Guayas

$x$	$y$
1	10000
2	10000
3	10000
4	2100
4.5	10000
5	10000
6	4100
6.5	4100
7	200
8	10000
11	4100
12	10000

La matriz 2x2 contempla los meses a partir de Junio de 2011 con la variable “x” y la concentración de coliformes totales es representada por a variable “y”. El modelo de regresión polinómica mediante la aplicación del software Scientific Workplace arroja la siguiente ecuación (Ecuación 1) de séptimo grado:

$$y = 1.9721x^7 - 85.113x^6 + 1470.9x^5 - 13054.x^4 + 63457.x^3 - 1.6622 \times 10^5x^2 + 2.1124 \times 10^5x - 86993$$

Se presenta a continuación la figura relativa a la función concentración vs tiempo



**Figura. N. 1 Función concentración-tiempo**

**Fuente:** Matriz concentración tiempo: software: Scientific Workplace

**Elaborado por:** Carlos Zambrano

x= Meses a partir de Junio de 2011

y= Concentración de Coliformes totales en NMP/100 ML

Análisis de la monotonía de la función  $f(x)$

- monótona
- suave
- inyectiva (causa efecto)
- estrictamente creciente a partir del mes 12 (julio 2012)

#### 4.3 Modelo Matemático de crecimiento bacteriano

**Tabla 7** medias de las concentraciones de coliformes; los valores correspondientes al diagnóstico y los promedios se representan con los códigos:  $y_0$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ .



Variable (media)	Indicador	Concentración en nmp/100 ml
y <sub>0</sub>	Diagnóstico	10000
y <sub>1</sub>	Promedio 2011	6722.22
y <sub>2</sub>	Promedio 2012	8033.33

Elaborado por: Carlos Zambrano

$$y_0 = 10000$$

$$y_1 = 6722.22$$

$$y_2 = 8033.33$$

Reemplazando estos valores en la ecuación de máximo crecimiento tenemos:

$$y_{\text{máx}} = \frac{(6722.22)((10000)(6722.22) - 2(10000)(8033.33) + (6722.22)(8033.33))}{(6722.22)^2 - (10000)(8033.33)}$$

$$y_{\text{máx}} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{-2.65 \times 10^{11}}{-35145058.27} = 7540.18$$

#### 3.4.1.1 Ecuación de crecimiento bacteriológico

$$y = \frac{\frac{\alpha}{\beta}}{1 + \left(\frac{\alpha}{\beta} - 1\right)e^{-\alpha t}}$$

$$y = \frac{7540.18}{1 + \left(\frac{7540.18}{10000} - 1\right)e^{2.65 \times 10^{11} t}}$$

Ecuación de crecimiento microbiológico

$$y = \frac{7540.18}{1 - 0.25e^{2.65 \times 10^{11} t}}$$

Ecuación 2

Ensayo	Rp1 NMP/100mL	Rp2 NMP/100mL	Rp3 NMP/100mL	Rp4 NMP/100mL	Rp5 NMP/100mL	RpH NMP/100mL
Réplica 1	6600	9500	8400	7000	7900	480000
Réplica 2	6800	9200	7800	6300	7400	480000
Réplica 3	6700	9800	8000	7700	8100	43000

**Tabla 8 Monitoreos Abril 2015**

Como se aprecia en la Tabla 8 el 100% de los datos monitoreados sobrepasan los límites permisibles cumpliéndose las predicciones obtenidas mediante procesos estocásticos; los que decían que al menos que los monitoreos por lo menos en un 80% de no cumplirán las normativas de ley respectivas.

		Estadísticos					
		Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep5	RepH
N	Válidos	3	3	3	3	3	3
	Perdidos	15	15	15	15	15	15
Media		6700	9500	8066,67	7000	7800	334333,33
Desv. típ.		100	300	305,5	700	360,55	252302,068

**Tabla 9 Estadísticos del monitoreo**

**Fuente: Tabla 8**

Se puede verificar que los datos del monitoreo realizado en el 2015 nada tiene que ver en cuanto a las diferentes medias que varían entre un mínimo de 6700 y un máximo de 9500 NMP/100 mL con respecto al realizado en el periodo 2011-2012 cuyos valores oscilan entre 43000 que supera en casi 5 veces el máximo de 2015 y 480000 NMP/100 mL que supera en 50 veces al máximo registrado en el 2015. Por otro lado la desviación media en el monitoreo de 2015 oscila entre los valores mínimos de 100 a un máximo de 700 NMP/100 mL mientras que en los monitoreos respectivos al periodo 2011-2012 equivalen a 252302 que supera en 360 veces a la máxima desviación del 2015.

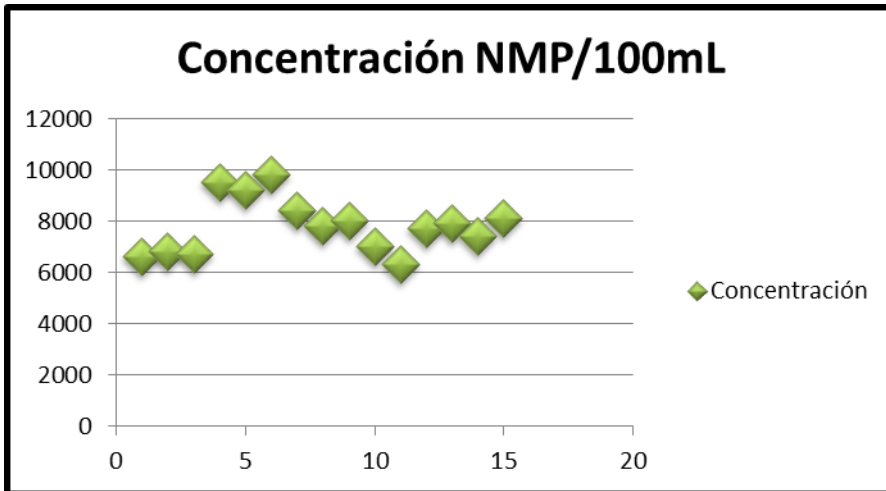


Figura. N. 2 Concentración de coliformes monitoreo Abril 2015

Fuente: Tabla 8 columnas 1-5

En los monitoreos de abril de 2015 vinculados al Figura anterior se nota la precisión y exactitud relativa cerca a una media de 8000 NMP/100mL.

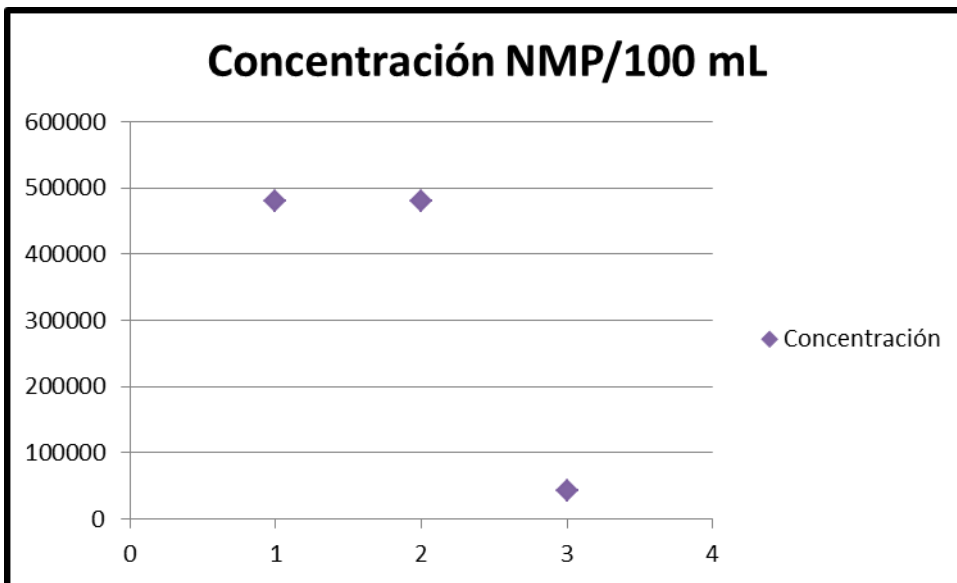


Figura. N. 3 Concentración de coliformes monitoreos 2011-2012

Fuente: Tabla 8 columnas 1-5

Los monitoreos relativos al periodo 2011-2012 (solo 3 en época de lluvia) están dispersos alrededor de una media de 30000 NMP/100 mL. Los datos anteriores no son exactos ni

precisos mientras que los realizados en este estudio al no haber contaminado la muestra han permitido un análisis mejor logrando una exactitud adecuada sobre los 8000NMP/100 ml.

A continuación se analizará si existe relación entre las medidas y sus respectivos monitoreos; lo que se busca es que la prueba Chi cuadrado que relaciona las categorías “concentración” y monitoreo sea negativa; es decir que se interprete: “la concentración no depende del monitoreo”, pues mostrarían que el principio de la reproductibilidad de la investigación no se cumpliría en el periodo 2011-2012.

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Existe relación entre la concentración de coliformes totales y los monitoreos.

$p \geq 0,05$  (dando un margen más amplio que el 99%; osea el 95%)

Hi: No existe relación entre la concentración de coliformes totales y los monitoreos.

$p < 0,05$ .

	Pruebas de chi-cuadrado		
	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	90,000 <sup>a</sup>	80	0,208
Razón de verosimilitudes	63,824	80	0,907
Asociación lineal por lineal	5,358	1	,021
N de casos válidos	18		

a. 102 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,11.

**Tabla 10 prueba Chi cuadrado monitoreo vs concentración de coliformes fecales**

Decisión: ya que  $p=0,208 \geq 0,05$  se concluye que existe relación entre la concentración de coliformes totales y los monitoreos; es decir que el proceso metodológico registra sesgo pues el resultado debía ser independiente del monitoreo y la prueba Chi muestra que no es así.

		Medidas simétricas			
		Valor	Error típ. asint. <sup>a</sup>	T aproximada <sup>b</sup>	Sig. aproximada
Intervalo por intervalo	R de Pearson	0,561	0,133	2,713	,015 <sup>c</sup>
Ordinal por ordinal	Correlación de Spearman	0,440	,254	1,959	,068 <sup>c</sup>
N de casos válidos		18			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.  
b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.  
c. Basada en la aproximación normal.

**Tabla 11 medias simétricas**

Monitoreo época lluviosa	Concentración en NMP/100 mL
y <sub>0</sub>	480 * 10 <sup>3</sup>
y <sub>1</sub>	480 * 10 <sup>3</sup>
y <sub>2</sub>	43 * 10 <sup>3</sup>

**Tabla 12 Ecuación de crecimiento bacteriano en Palestina monitoreos 2011- 2012**

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{y_1^2 - y_0y_2}{y_1(y_0y_1 - 2y_0y_2 + y_1y_2)}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{(480 * 10^3)^2 - 480 * 10^3 * 43 * 10^3}{480 * 10^3(480 * 10^3 * 480 * 10^3 - 2 * 480 * 10^3 * 43 * 10^3 + 480 * 10^3 * 43 * 10^3)}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{437 * 10^3}{2.1 * 10^{11}}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = 2.1 * 10^6 \text{ NMP/100 mL}$$

$$y_{\text{máx}} = 480549.2 \text{ NMP/mL}$$

### Modelo matemático de crecimiento bacteriano

$$y = \frac{\frac{\alpha}{\beta}}{1 + \left(\frac{\beta}{y_0} - 1\right)e^{-\alpha t}}$$

$$y(t) = \frac{2.1 * 10^6}{1 + \left(\frac{2.1 * 10^6}{480 * 10^3} - 1\right)e^{-2.1 * 10^{11} t}}$$

$$y(t) = \frac{2.1 * 10^6}{1 + \left(\frac{2.1 * 10^6}{480 * 10^3} - 1\right)e^{-2.1 * 10^{11} t}}$$

$$y(t) = \frac{2.1 * 10^6}{1 + (1.14 * 10^{-3})e^{-2.1 * 10^{11} t}} \text{ NMP/100mL}$$

Para el mes de Abril de 2015 cuando se realizaron los respectivos monitoreos de control la concentración (10 meses solo tomando en cuenta la temporada de lluvia (Agosto-Abril) bajo el siguiente esquema:

2012	2013	2014	2015
Mayo	Enero	Enero	Enero
Diciembre	Febrero	Febrero	Febrero
	Marzo	Marzo	Marzo
	Abril	Abril	Abril
	Mayo	Mayo	
	Diciembre	Diciembre	

Tabla 13 Meses temporada lluviosa 2012-2015 en Palestina

De la tabla anterior se estima que el crecimiento en el mes de Abril de 2015 (mes 18 desde un  $y_0$ ) sería el siguiente:

$$y(t) = \frac{2.1 * 10^6}{1 + (1.14 * 10^{-3})e^{-2.1 * 10^{11} * 18}} = 481000 \text{ NMP/100mL}$$

En cambio el monitoreo de abril de 2015 registra una media de 7813 NMP/100mL y una diferencia de 219718,723 NMP/100 mL. Estándar Methods Ed. 21, 2005 9222 D y 92221

u	NMP/100mL
u1	6600
u2	9500
u3	8066.67
u4	7000
u5	7800
sRP1-5	1284,20
sRpH	252302,07

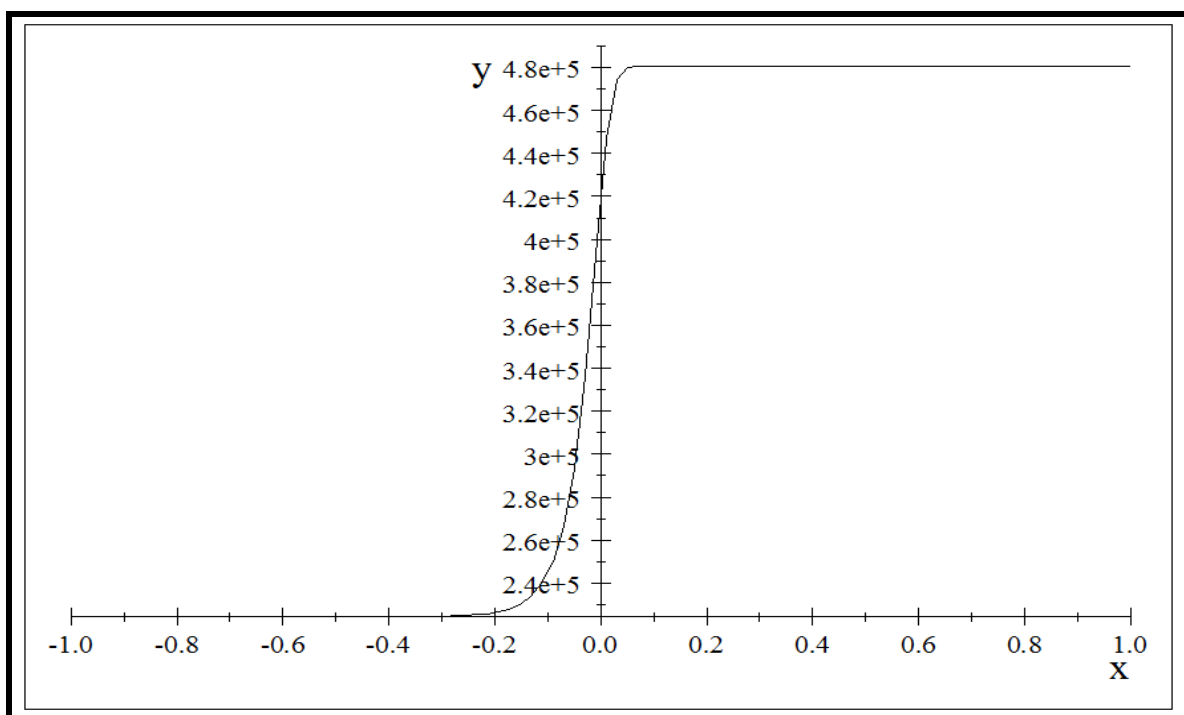


Figura. N. 4 Figura asociado al modelo matemático

$$y(t) = \frac{2.1 * 10^6}{1 + (1.14 * 10^{-3})e^{-2.1 * 10^{11} t}}$$

La figura previa muestra la tendencia estrictamente creciente de la función que alcanza su concentración máximo en el valor 481000 NMP/100 MI relativa a los monitoreos 2011-2012. Tampoco se acerca a la realidad de los monitoreos de 2015 cuyo máximo no supera los 9500 NMP/100 mL.

## **V. CONCLUSIONES**

Existe una probabilidad de que el 71% de monitoreos posteriores del agua del río Daule presenten una concentración de coliformes totales que excede la normativa ecuatoriana de 3000 NMP/100 ml, si es que no se adoptan políticas que cambien la dirección de tendencia; este dato obtenido desde la investigación de operaciones mediante las cadenas de Markov; análisis que no es realizado en los estudios tanto de la UEM cuanto del Dr. Huayamabe.

La función concentración de coliformes-tiempo en el río Daule a la altura del cantón Palestina a pesar de ser dicha función monótona presenta una amplia irregularidad entre los meses 1-11; mostrando picos máximos y mínimos en cortos intervalos hasta el mes 12 como muestra la función asociada, a partir del cual tiende a regularizarse con tendencia estrictamente creciente.

La anterior conclusión no permite definir un punto máximo de crecimiento bacteriano; por lo que se recurre a las ecuaciones diferenciales para encontrar dicho valor; el cual es 251% más alto que el estándar ecuatoriano para los coliformes en el río; análisis que tampoco se ha realizado en la UEM cuanto del Dr. Huayamabe.

Dado que para abril el monitoreo de coliformes en la franja muestra del río Daule presenta solo un 1.97% de lo estimado en los datos del Dr. Huayamabe (2013) se sugiere que para futuras investigaciones se amplíe el análisis referente a la tabulación de datos incluyendo apartados asociados mediante procesos estocásticos de manera que se pueda predecir la evolución del impacto de la contaminación en un tiempo futuro de modo que dicha investigación cumpla con los estándares de calidad; en especial en el parámetro “eficiencia” y los datos sean utilizables no solo transversal sino longitudinalmente.

## **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



1. APS. (6 de Enero de 2015). *APS WATER*. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de <http://www.apswater.com/article.asp?id=154&&title=What+is+Organic+Contamination+And+How+To+Remove+It&title=What+is+Organic+Contamination+And+How+To+Remove+It>
2. Canadá, M. d. (2007). *Canadian Environment*. Recuperado el 28 de Diciembre de 2014, de [http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan\\_protect\\_sustain/groundwater/library/ground\\_fact\\_sheets/pdfs/coliform%28020715%29\\_fin2.pdf](http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan_protect_sustain/groundwater/library/ground_fact_sheets/pdfs/coliform%28020715%29_fin2.pdf)
3. Dartmouth. (2014). *Markov Chains*. Recuperado el 5 de Enero de 2015, de [http://www.dartmouth.edu/~chance/teaching\\_aids/books\\_articles/probability\\_book/Chapter11.pdf](http://www.dartmouth.edu/~chance/teaching_aids/books_articles/probability_book/Chapter11.pdf)
4. Dictionary, S. (2014). *Dictionary*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2014, de <http://dictionary.reference.com/browse/bacteria>
5. EFFICACITAS. (2011). *Ambiente*. Recuperado el 29 de Diciembre de 2014, de [http://www.efficacitas.com/efficacitas\\_es/default2.php?siteid=32](http://www.efficacitas.com/efficacitas_es/default2.php?siteid=32)
6. EPA. (13 de Febrero de 2013). *water.epa.gov*. Recuperado el 23 de Diciembre de 2014, de <http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/tcr/basicinformation.cfm>
7. EPA. (Junio de 2003). Recuperado el 27 de Diciembre de 2014, de: [http://www.epa.gov/safewater/disinfection/lt2/pdfs/guide\\_lt2\\_mlmanual\\_appendix-k.pdf](http://www.epa.gov/safewater/disinfection/lt2/pdfs/guide_lt2_mlmanual_appendix-k.pdf)
8. Huayamabe, J. (2013). '*Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, desde el punto de vista físico-químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*'. Las Palmas: Universidad de Palmas de Gran Canaria.
9. Medicine. (2014). *WebMD*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2014, de <http://www.webmd.com/a-to-z-guides/e-coli-infection-topic-overview>
10. Murray-Spiegel. (1983). *Ecuaciones Diferenciales Aplicadas*. México: Prentice Hall.
11. Plato. (2015). *Enciclopedia of Philosophy*. Recuperado el 4 de Enero de 2015, de <http://plato.stanford.edu/entries/epistemic-utility/>
12. Powell, V. (2014). *SETOSA*. Recuperado el 3 de Enero de 2015, de <http://setosa.io/blog/2014/07/26/markov-chains/>
13. Princeton, U. d. (Diciembre de 2014). *Stochastic Process*. Recuperado el 6 de Enero de 2015, de [http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Stochastic\\_process.html](http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Stochastic_process.html)

14. STANFORD. (2010). *Dictionary of philosophy*. Recuperado el 4 de Enero de 2015, de <http://plato.stanford.edu/entries/determinism-causal/#WayThiTimT>
15. UAE (2009). Disponible en [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.uagraria.edu.ec%2Fdocumentos%2Finvestigacion%2FUAE\\_Biomonitoreo\\_informe\\_2\\_dic\\_2009.pdf&ei=PferVO3wC7iSsQT8z4CABw&usg=AFQjCNFpLN\\_cv0POKJHEYjoWLBvtSnSZbA&sig2=WQ1sWjxhCIg0uPjFfgwmhA&bvm=bv.82001339,d.cWc](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.uagraria.edu.ec%2Fdocumentos%2Finvestigacion%2FUAE_Biomonitoreo_informe_2_dic_2009.pdf&ei=PferVO3wC7iSsQT8z4CABw&usg=AFQjCNFpLN_cv0POKJHEYjoWLBvtSnSZbA&sig2=WQ1sWjxhCIg0uPjFfgwmhA&bvm=bv.82001339,d.cWc)
16. LaWare, P. and Rifai, H. S. (2006), MODELING FECAL COLIFORM CONTAMINATION IN THE RIO GRANDE. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 42: 337–356. doi: 10.1111/j.1752-1688.2006.tb03842.x
17. Fonseca A., Botelho C., Boaventura R. A. R. and Vilar V. J. P. (2014), GLOBAL WARMING EFFECTS ON FAECAL COLIFORM BACTERIUM WATERSHED IMPAIRMENTS IN PORTUGAL, River Research and Applications, DOI: 10.1002/rra.2821
18. Eugene W. Rice, Pasquale V. Scarpino, Donald J. Reasoner, Gary S. Logsdon and Deanna K. Wild
19. Journal (American Water Works Association) Vol. 83, No. 7, Distribution Systems (JULY 1991), pp. 98-102
20. Veloz, Nancy. (2015). Determinación de indicadores de contaminación del Río Chibunga. Revista de RACAL. Pág. 25.
20. Köck, G. 2014. Die toxische Wirkung von Schwermetallen auf Fische – Beiträge zur Festlegung von Immissionsbereichen für Kupfer, Cadmium, Quecksilber, Chrom, Nickel, Blei und Zink aus fischbiologischer Sicht. Handbuch Angewandte Limnologie: Grundlagen - Gewässerbelastung - Restaurierung - Aquatische Ökotoxikologie - Bewertung - Gewässerschutz. 1.1:1–167. Erstpublikation als Teil der Loseblattausgabe: 20.11.1996.
21. Reviewer List Environmental Toxicology and Chemistry. (2012). Environmental Toxicology and Chemistry, 32: 475–486. doi: 10.1002/etc.209.
22. Scheringer, M. (1999) Literatur, in Persistenz und Reichweite von Umweltchemikalien, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. doi: 10.1002/9783527625765.refs

23. Black & Veatch Corporation (2009) Disinfection of Wastewater, in White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9780470561331.ch6
24. Geissler, K., Manafi, M., Amorós, I. and Alonso, J. L. (2000), Quantitative determination of total coliforms and *Escherichia coli* in marine waters with chromogenic and fluorogenic media. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 280–285. doi: 10.1046/j.1365-2672.2000.00970.x
25. Geldreich, E. E. 2010. *Bacteriology of Water*. Topley and Wilson's Microbiology and Microbial Infections.
26. Barnes, B. and Gordon, D. M. (2004), Coliform dynamics and the implications for source tracking. *Environmental Microbiology*, 6: 501–509. doi: 10.1111/j.1462-2920.2004.00591.x
27. Thornton, K. W., Nix, J. F. and Bragg, J. D. (1980), COLIFORMS AND WATER QUALITY: USE OF DATA IN PROJECT DESIGN AND OPERATION. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 16: 86–92. doi: 10.1111/j.1752-1688.1980.tb02336.x
28. Newton, K. G. (1979), Value of Coliform Tests for Assessing Meat Quality. *Journal of Applied Bacteriology*, 47: 303–307. doi: 10.1111/j.1365-2672.1979.tb01759.x
29. Rittenberg, Sydney C., Mittwer, Tod, Iyler, Daniel, (2003), Coliform Bacteria in Sediments Around Three Marine Sewage Outfalls. *Limnology and Oceanography*, 3, doi: 10.4319/lo.1958.3.1.0101.
30. Bhargava, A., Bouis, H. E., Hallman, K. and Hoque, B. A. (2003), Coliforms in the water and hemoglobin concentration are predictors of gastrointestinal morbidity of Bangladeshi children ages 1–10 years. *Am. J. Hum. Biol.*, 15: 209–219. Doi: 10.1002/ajhb.10141