



Perfiles

Perf: Número 19
Vol. 1-2018
ISSN 2477-9105

- 
- *Física Aplicada*
 - *Ciencias Biológicas*
 - *Ciencias de la Salud*
 - *Química Aplicada*
 - *Matemática Aplicada*
 - *Energías Alternativas*



Autoridades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Ing. Byron Ernesto Vaca Barahona, Ph.D.
Rector

Dra. Gloria Elizabeth Miño Cascante, Ph.D.
Vicerrectora Académica

Ing. Luis Rafael Fiallos Ortega, Ph.D.
Vicerrector de Investigación y Posgrado

Dra. Rosa del Carmen Saeteros Hernández, Ph.D.
Vicerrectora Administrativa

Ing. Hugo Moreno A., Ph.D.
Director Instituto de Investigaciones

Revista Internacional Arbitrada
Distribución libre

CORRESPONDENCIAS Y SUSCRIPCIONES

Revista Perfiles
Panamericana Sur, km 1½
Riobamba, Ecuador
Telef.: (593-03) 2998200 ext. 161
e-mail: revistaperfiles@epoch.edu.ec

PERFILES (ISSN 1390-5740) es una revista científica semestral publicada por la
Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

ESPOCH
Riobamba, Ecuador
Año XIX
Número 19

CUERPO EDITORIAL

EDITOR

Celso Guillermo Recalde Moreno
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador). crecalde672000@yahoo.com

COEDITOR

Manuel Morales Yuste
Universidad de Granada
Facultad de Farmacia (Granada, España). manumorayus@hotmail.com

COMITÉ EDITORIAL

Plácido Moreno Beltrán
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Informática y Electrónica (Riobamba, Ecuador). placidomorenobeltran@gmail.com

Benito del Castillo García
Universidad Complutense de Madrid
Académico Numerario de la Real Academia de Farmacia (Madrid, España)

Salvador González Carcedo
Universidad de Burgos
Facultad de Ciencias (Burgos, España)

Andrés León Leal
Universidad de los Andes
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). leonand@ula.ve

Francisco Morillas Márquez
Universidad de Granada
Facultad de Farmacia (Granada, España). fmorilla@ugr.es

César Cisneros Ramírez
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (La Habana, Cuba). cesar@ceter.cujae.edu.cu

David Jaramillo Abril
Universidad Nacional de Chimborazo
Instituto de Ciencia e Innovación, Tecnología y Saberes (Riobamba, Ecuador). djaramillo@unach.edu.ec

Jorge Mírez Tarrillo
Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú). jmirez@uni.edu.pe

Carlos Ávila Vega
Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Ingeniería Mecánica (Quito, Ecuador). cavila67@caltech.edu

Jenny Moreno Mora
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Ciencias (Riobamba, Ecuador). jennymorenom@yahoo.com

Sabino Menolasina
Universidad de los Andes
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela)

Washington N. Logroño
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ (Leipzig, Alemania). vintilog@gmail.com

Elio Giroletti
University of Pavia (Pavia PV, Italia). elio.giroletti@unipv.it

COMITÉ CIENTÍFICO

DIRECTOR

Juan Marcelo Ramos Flores
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Mecánica (Riobamba, Ecuador). jmramos@epoch.edu.ec

MIEMBROS

Gerardo Medina Ramírez
Universidad de los Andes
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). medinag47@gmail.com

Adriana Rincón Alarcón
Universidad de los Andes
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). rinconadri@yahoo.com

Morella Guillén Ferraro
Universidad de los Andes
Facultad de Farmacia y Bioanálisis (Mérida, Venezuela). morellaguillen@hotmail.com

José Mejía López
Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Física (Santiago, Chile). jmejia@puc.cl

Rubén Mario Caffera
Universidad de la República
Facultad de Agronomía (Montevideo, Uruguay). rmcaffera@yahoo.com

John Martin Evans
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina). evansjmartin@gmail.com

Silvia de Schiller
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura (Buenos Aires, Argentina). sdeschiller@gmail.com

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Diseño Editorial - Dirección Publicaciones - ESPOCH Edith Fernanda Escobar Gadway. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica (Riobamba, Ecuador). eddyth_fr@hotmail.com

CONTENIDO

EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA FÁBRICA TEXTIL HILARIO

Karina Ramos, Mabel Parada y Sofía Godoy4

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACTIVIDAD PSICOACTIVA DE PASSIFLORAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Diego Vinueza, Gisela Pilco, Karen Acosta, Patricia Tierra, Patricio Noboa y Susana Abdo14

CUANTIFICACIÓN DE METALES EN AGUAS DE RIEGO. ESTUDIO DE CASO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

J. Idrovo, I. Gavilanes, N. Veloz, R. Erazo, H. Valverde21

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA Y CITOTÓXICA DE ATRANORINA Y DILACTONA DEL ÁCIDO PULVÍNICO: COMPUESTOS FENÓLICOS BIOACTIVOS DEL LÍQUEN *PARMELINA TILIACEA*

Diego Vinueza, Marco Janeta, Gisela Pilco, Karen Acosta y Susana Abdo30

MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Nelson Chuquín, Daniel Chuquín, Gloria Miño, Juan Chuquín y Javier Soriano37

EVALUACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA FÁBRICA TEXTIL HILARIO

Evaluation and Design of a Treatment System for Residual Water in the Hilario Textile Factory

Karina Ramos, Mabel Parada*, Sofia Godoy

Facultad de Ciencias/Escuela de Ingeniería Química,
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador),
*mparada@epoch.edu.ec

R esumen

En el Ecuador, el Ministerio del Ambiente es el encargado de regular las descargas de efluentes líquidos residuales producidos por actividades humanas o industriales, en el caso de las industrias textiles tienen un alto impacto ambiental, debido al elevado consumo de agua y naturaleza de los diferentes contaminantes, haciendo énfasis en los colorantes. La fábrica de textiles Hilario ubicada en el cantón Guano, refleja esta problemática por lo cual es indispensable instalar un sistema de tratamiento de aguas residuales para evitar la contaminación del suelo y la consecuente disminución de su fertilidad en el área donde se descarga el efluente, mismo que erradamente es utilizado como agua para riego de la vegetación circundante a la planta de producción. Se propone un diseño de PTAR, el cual inicia con la medición del caudal y un muestreo compuesto del agua residual proveniente de los dos tipos de tela que se procesan: poliéster y poli algodón, se conoce la calidad del agua mediante una caracterización físico química y a partir de estos resultados se determina que únicamente el agua del proceso de poli algodón, presenta valores elevados en parámetros como: Sólidos Disueltos Totales (SDT), Color, DBO, DQO, Tensoactivos y Metales Pesados. Las pruebas de tratabilidad nos orientan a la selección del sistema de tratamiento más adecuado, que constará de tratamientos físico-químicos como: coagulación-floculación, sedimentación, filtración y cloración.

Palabras claves: Material compuesto, fibra de sisal, propiedades mecánicas, reforzamiento estructural.

A bstract

In Ecuador, the Ministry of the Environment is in charge of regulating the discharges of residual liquid effluents produced by human or industrial activities, in the case of textile industries they have a high environmental impact, due to the high water consumption and nature of the different pollutants, emphasizing dyes. The textile factory Hilario located in the Guano canton, reflects this problem, which is why it is essential to install a wastewater treatment system to avoid soil contamination and the consequent decrease of its fertility in the area where the effluent is discharged. Which is mistakenly used as water to irrigate the vegetation surrounding the production plant. A PTAR design is proposed, which starts with the flow measurement and a composite sample of the wastewater coming from the two types of fabric that are processed: polyester and poly cotton, the water quality is known by a physical chemical characterization and From these results it is determined that only the water of the poly cotton process, presents high values in parameters such as: Total Dissolved Solids (TDS), Color, BOD, COD, Surfactants and Heavy Metals. The treatability tests guide us to the selection of the most appropriate treatment system, which will consist of physical-chemical treatments such as: coagulation-flocculation, sedimentation, filtration and chlorination.

Keywords: Residual water, design, environmental regulation, treatment system.

Fecha de recepción: 03-nov-2017

Fecha de aceptación: 21-may-2018

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, en la Sierra Central del país se encuentra el cantón Guano, llamada la “Capital Artesanal del Ecuador”, en este lugar existen aproximadamente 100 talleres que fabrican todo tipo de textiles como: alfombras, chompas de cuero, sacos de lana, etc.. [1], considerando que en este lugar se desarrolla ampliamente la industria textil se ha tomado como objeto de estudio una de sus fábricas textiles para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales. Las Fábricas Textiles del cantón Guano se dedica a la producción de telas: poliéster y poli algodón. El proceso de producción requiere la utilización de una gran cantidad de agua, así como una variedad de agentes químicos. El diseño de un sistema de tratamiento permitirá reducir los índices de contaminación del agua residual, con la finalidad de ajustar los parámetros de calidad del agua a lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo I, Recurso Agua, Tabla 3: Criterios de Calidad de Aguas para Riego Agrícola, y así estas aguas puedan ser reutilizadas para fines agrícolas.

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción del proceso productivo

El proceso de producción textil de una fábrica textil, para la transformación de hilo crudo en tela acabada consta de tres etapas: Hilatura, Tejeduría y Acabados. Los efluentes industriales se generan en ésta última ya que constan de procesos que se realizan en húmedo. En la figura 1, se indica la información del proceso de producción.

Medición del caudal

Previamente identificado el lugar donde convergen las aguas residuales, se proce-

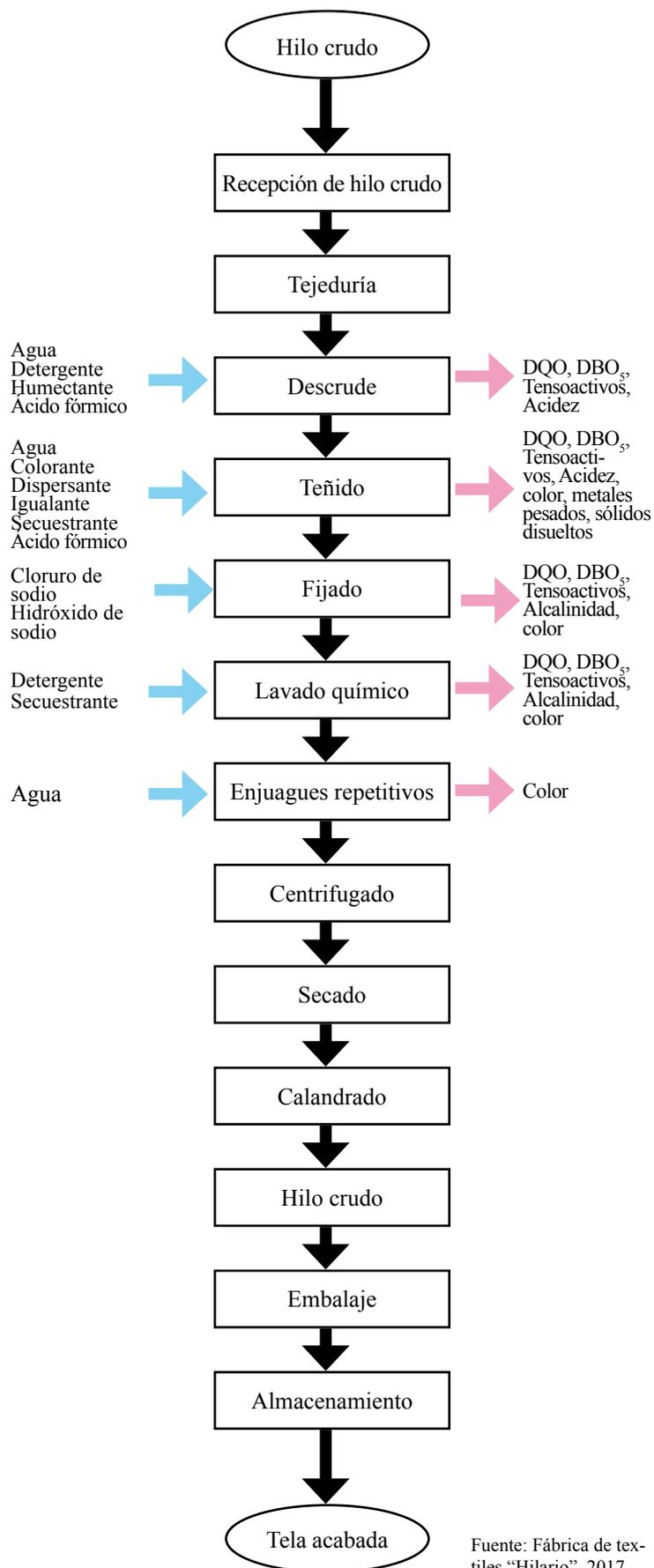


Figura 1. Diagrama de flujo de entradas y salidas del proceso de producción de telas de la Fábrica Textil Hilario.

dió a la medición del caudal mediante el método volumétrico basado en el manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales, para determinar el caudal promedio total como indica la tabla 1.

Etapas del proceso	Caudal promedio (L/s)
Descrude	2,77
Teñido	2,76
Fijado	2,78
Lavado químico	2,79
Enjuague 1	2,76
Enjuague 2	2,76
Caudal promedio total	2,77

Tabla 1. Caudal promedio total

El Caudal promedio total es de 2.77 (L/s), el tiempo en el que se produce cada descarga es de 15 minutos, siendo 6 descargas, se tiene como resultado un volumen equivalente a 14958 litros de agua residual al día.

Muestreo

Se realizó el muestreo de tipo compuesto y de manera manual según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013, siguiendo la respectiva planificación para



Fuente: Fábrica del textiles Hilario, 2017

Figura 2. Tanque de almacenamiento de aguas residuales de la Fábrica Textil Hilario.

obtener 2 litros de muestra compuesta al día como se observa en la figura 2. El muestreo se lo realizó en los días que se ejecutan los procesos húmedos, recolectando 0.333 litros de agua residual de cada una de las 6 descargas del proceso productivo, para que la muestra de 2 litros sea representativa en cuanto a la composición de los contaminantes presentes en la misma.

Caracterización físico-química del agua residual

Se realizó la caracterización de las muestras del agua residual proveniente de los dos procesamientos tanto para tela poliéster como poli algodón, determinándose la media aritmética de cada procesamiento para mostrarse en la columna de resultados, basándose en el manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales y en el método HACH, como se muestra en las Tablas 2 y 3.

Como se indica en la Tabla 2, todos los valores cumplen con la normativa, algunos de ellos están muy por debajo del límite establecido, incluso parámetros como color y tensoactivos que son los principales contaminantes de este tipo de efluentes.

En la tabla 3, se puede observar que solamente el parámetro de sólidos sedimentables cumple con la normativa, los demás valores están por encima del límite establecido.

Pruebas de Tratabilidad

a) Prueba de jarras: se realizó previamente pruebas con coagulantes metálicos y polielectrolitos para verificar o descartar su utilidad para este tipo de agua residual, determinándose que solamente el sulfato de aluminio reaccionó favorablemente, de ahí la necesidad de encontrar la dosificación precisa de éste coagulante para lo cual se efectuaron prueba de jarras, resultando una dosis óptima de 10

Parámetro	Unidad	Método	Resultado (x)	Límite	Cumple
Temperatura	°C	2500-A	19.6	---	---
Conductividad	mmhos/cm	2510-B	19.6	0.7	Sí
Color	Unidades de color	2120-C	Inapreciable en dilución: 1/20	Inapreciable en dilución: 1/20	Sí
Turbiedad	UNT	2130-B	67	---	---
Sólidos totales	mg/L	2540-B	566	1600	Sí
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-D	88.3	130	Sí
Sólidos disueltos totales	mg/L	2510-C	257.7	450	Sí
Sólidos sedimentables	mg/L	2540-F	<1	1.0	Sí
Potencial de hidrógeno	UND	4500-B	6.55	6-9	Sí
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-D	161	200	Sí
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	mg/L	5210-B	78	100	Sí
Tensoactivos	mg/L	5540-C	0.43	0.5	Sí
Cobre	mg/L	3500 Cu-B	0.020	0.2	Sí
Niquel	mg/L	3500 Ni,3111-B	0.017	0.2	Sí
Cromo	mg/L	Cr ⁺⁶ 8023	0.065	0.1	Sí
Aluminio	mg/L	3500 Al-B	0.55	5.0	Sí
Hierro	mg/L	3500 Al-B	0.87	5.0	Sí

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, CESTTA y laboratorio de servicios ambientales UNACH, 2017

Tabla 2. Caracterización físico –química del agua residual proveniente del procesamiento de tela poliéster (100 %) y comparación con los límites de la normativa ambiental.

Parámetro	Unidad	Método	Resultado (x)	Límite	Cumple
Temperatura	°C	2500-A	19,7	---	---
Conductividad	mmhos/cm	2510-B	12,5	0,7	No
Color	Unidades de color	2120-C	10 000 Apreciable en disolución 1/20	Inapreciable en dilución : 1/20	No
Turbiedad	UNT	2130-B	1 716,0	---	---
Sólidos totales	mg/L	2540-B	8 026,0	1600	No
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-D	320	130	No
Sólidos disueltos totales	mg/L	2510-C	7 675,0	450	No
Sólidos sedimentables	mg/L	2540-F	< 1	1,0	No
Potencial de hidrógeno	UND	4500-B	12,68	6 - 9	No
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-D	6 843,0	200	No
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	mg/L	5210-B	2 648,0	100	No
Tensoactivos	mg/L	5540-C	9,93	0,5	No
Cobre	mg/L	3500 Cu-B	6,94	0,2	No
Niquel	mg/L	3500 Ni,3111-B	8,64	0,2	No
Cromo	mg/L	Cr ⁺⁶ 8023	1,57	0,1	No
Aluminio	mg/L	3500 Al-B	5,67	5,0	No
Hierro	mg/L	3500 Al-B	6,47	5,0	No

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, CESTTA y laboratorio de servicios ambientales UNACH, 2017

Tabla 3. Caracterización físico –química del agua residual proveniente del procesamiento de tela poliéster (100 %) y comparación con los límites de la normativa ambiental.

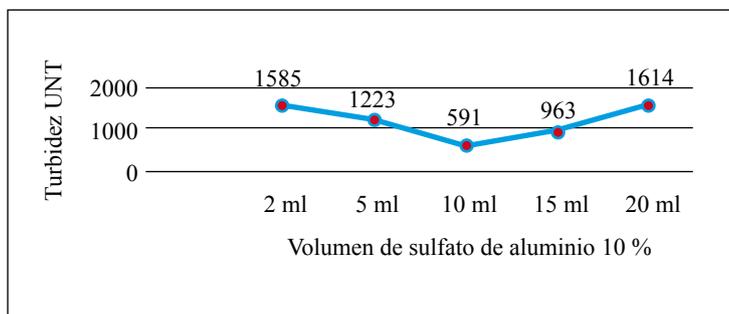


Gráfico 1. Dosis óptima de Sulfato de Aluminio.

ml de Sulfato de Aluminio al 10 % por cada litro de agua residual o 1000 ppm (como se muestra en el gráfico 1).

b) Sedimentación: el tiempo de sedimentación de la muestra estudiada fue de 2 horas, tiempo en el cual se obtuvo flóculos de mejor tamaño y textura. Así como también se obtuvo el volumen de lodos siendo 88 ml de lodos por cada litro de agua residual. En la fase líquida se verificó la reducción de la carga contaminante mediante análisis de laboratorio.

c) Filtración: el filtro se simuló con carbón activado y arena de manera que éstos absorban los contaminantes que aún no fueron removidos en procesos anteriores.

d) Cloración: se determinó la dosis óptima del hipoclorito de calcio de 30 mg /l con un tiempo de reacción de 30 minutos.

Caracterización físico-química del agua tratada.

Para verificar que mejoró la calidad del agua tratada se realizó una caracterización final.

Como se puede observar en la tabla 4, todos los valores de los parámetros tanto físicos como químicos del agua tratada se encuentran dentro del límite establecido por el TULSMA.

Parámetro	Unidad	Método	Agua residual	Agua tratada	Límite	Cumple
Temperatura	°C	2500-A	19,7	19,0	---	---
Conductividad	mmhos/cm	2510-B	12,5	0,46	0,7	Sí
Color	Unidades de color	2120-C	10 000 apreciable en disolución: 1/20	475 inapreciable en disolución 1/20	Inapreciable en disolución 1/20	Sí
Turbiedad	UNT	2130-B	1 761,0	29	---	---
Sólidos totales	mg/L	2540-B	8 026,0	593	1600	Sí
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-D	320	81	130	Sí
Sólidos disueltos totales	mg/L	2510-C	7 675,0	289	450	Sí
Sólidos sedimentarios	mg/L	2540-F	< 1	< 1	1,0	Sí
Potencial de hidrógeno	UND	4500-B	12,68	7,82	6-9	Sí
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-D	6 843,0	182	200	Sí
Demanda química de oxígeno	mg/L	5210-B	2 648,0	81	100	Sí
Tensoactivos	mg/L	5540-C	9,93	0,38	0,5	Sí
Cobre	mg/L	3500 Cu-B	6,94	0,11	0,2	Sí
Níquel	mg/L	3500 Ni,3111-B	8,64	0,13	0,2	Sí
Cromo	mg/L	Cr ⁺⁶ 8023	1,57	0,09	0,1	Sí
Aluminio	mg/L	3500 Al-B	5,67	3,7	5,0	Sí
Hierro	mg/L	3500 Fe-B	6,47	0,9	5,0	Sí
Cloro residual	mg/L	yodométrico		0,92	0,3-1,5	Sí

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, CESTTA y laboratorio de servicios ambientales UNACH, 2017

Tabla 4. Comparación del agua tratada con el agua residual y el límite de la normativa ambiental.

Resultados del porcentaje de remoción obtenidos después de las pruebas de tratabilidad.

Con los resultados del agua tratada es preciso conocer el porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes, para lo cual se toma en consideración los valores de la caracterización inicial del agua residual y el resultado obtenido después del tratamiento. En la tabla 5, se observa la disminución de los parámetros con sus respectivos porcentajes de remoción, mismos que tienen valores aceptables lo que permite estimar que la calidad del agua mejoró después del tratamiento y está dentro de lo que exige la normativa ambiental.

Cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de tratamiento del agua residual de la fábrica textil Hilario.

El sistema de tratamiento del agua residual para ésta fábrica textil operará al

final de la jornada de trabajo diaria, es decir una vez que se hayan producido las 6 descargas de agua residual provenientes del procesamiento de tela poli algodón que es la que por su carga contaminante se encuentra fuera de normativa ambiental. Para los cálculos de ingeniería se debe considerar el caudal de diseño que tiene un valor de 17949.6 litros al día, el cual fue determinado a partir del caudal promedio relacionado con un factor de mayorización de 20% según los euro códigos de ingeniería civil para este tipo de volúmenes de agua. El sistema de tratamiento del agua residual consta de: Un tanque de almacenamiento ya existente en la fábrica con un volumen de 20 m³. Un tanque circular de sedimentación con un volumen de 18.85 m³, valor que se calculó relacionando los diferentes parámetros de diseño como el área, radio, diámetro, volumen de la parte cilíndrica y volumen de la parte cónica del sedimentador, el tiempo de retención hidráulica es de 2 horas el mismo que se determinó experimentalmente en el cono imhoff y coincide con los valores de tiempo para la retención hidráulica de la sedimentación según bibliografía de Aurelio Hernández. Un filtro convencional lento con una tasa de filtración de 7 m³/m²día, tomado de la tabla de clasificación de los filtros según la bibliografía de Jorge

Parámetro	Unidad	Agua residual	Agua tratada	Porcentaje de remoción (%)
Temperatura	°C	19,7	19,0	---
Conductividad	mmhos/cm	12,5	0,46	96,32
Color	Unidades de color	10 000 apreciable en disolución: 1/20	475 inapreciable en disolución 1/20	95,25
Turbiedad	UNT	1 761,0	29	98,35
Sólidos totales	mg/L	8 026,0	593	92,61
Sólidos suspendidos totales	mg/L	320	81	74,69
Sólidos disueltos totales	mg/L	7 675,0	289	96,23
Sólidos sedimentarios	mg/L	< 1	< 1	---
Potencial de hidrógeno	UND	12,68	7,82	38,33
Demanda química de oxígeno	mg/L	6 843,0	182	97,34
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	mg/L	2 648,0	81	96,94
Tensoactivos	mg/L	9,93	0,38	96,17
Cobre	mg/L	6,94	0,11	98,41
Níquel	mg/L	8,64	0,13	98,49
Cromo	mg/L	1,57	0,09	94,27
Aluminio	mg/L	5,67	3,7	34,74
Hierro	mg/L	6,47	0,9	86,09

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, CESTTA y laboratorio de servicios ambientales UNACH, 2017

Tabla 4. Comparación del agua tratada con el agua residual y el límite de la normativa ambiental.

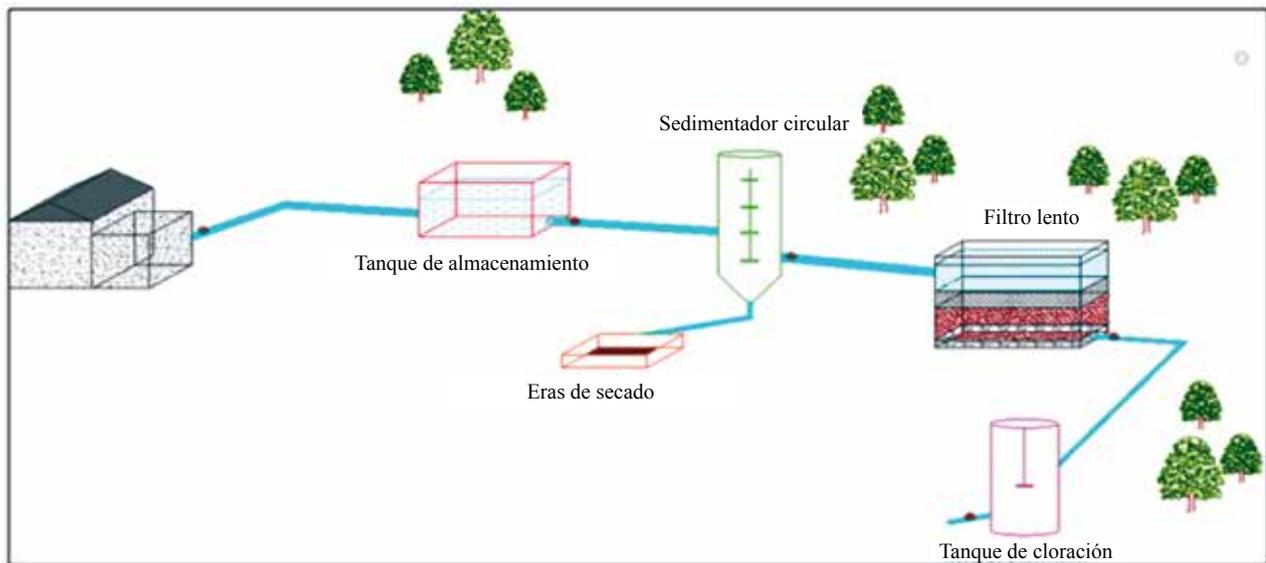


Figura 3. Vista frontal del sistema de tratamiento del agua residual para la fábrica de textiles "Hilario"

Arboleda Valencia, se calculó parámetros como el área, altura y longitud, para conocer el volumen del filtro de 26.27 m^3 , con un tiempo de retención de 12 horas y un sistema de drenaje y soporte con las siguientes especificaciones: espacio entre laterales: 1.20 m, espacio entre orificios del tubo: 0.15 m, diámetro del orificio: 3 mm. Finalmente un tanque de cloración con un volumen de 17.97 m^3 , la potencia requerida para la operación de mezclado es de 1.6 Hp con un tiempo de 20 segundos, considerando el gradiente de velocidad de 250 s^{-1} para el proceso de mezclado según la bibliografía de Metcalf-Eddy.

Propuesta del diseño del sistema de tratamiento del agua residual para la fábrica textil Hilario.

El presente estudio proviene de una necesidad real de la fábrica de textiles Hilario, debido a la degradación de la calidad del suelo que provoca la descarga del agua residual en el entorno, sin previo tratamiento. Es importante señalar que previamente se realizó el levantamiento topográfico del terreno, determinándose que el transporte del agua de una unidad a otra será por gravedad.

El proceso comienza cuando el agua almacenada pasa a un tanque sedimentador circular donde se lleva a cabo el proceso de coagulación floculación, con la ayuda de un mezclador mecánico se homogeniza el medio con el coagulante. A continuación mediante la sedimentación los flóculos adheridos con partículas contaminantes se depositan en el fondo del tanque sedimentador al cabo de 2 horas, para posteriormente ser extraídos para su

respectivo tratamiento. Posteriormente el agua pasa a un filtro convencional lento donde gracias al lecho filtrante constituido por arena y sobre todo carbón activado granular se podrá remover el color y metales pesados que no fueron removidos en procesos anteriores. El agua pasa a un tanque circular de cloración, ya que el color aun es persistente, por eso la utilización de hipoclorito de calcio. Finalmente se descarga el agua tratada a los terrenos aledaños a la fábrica, con los parámetros ajustados a lo que exige la normativa ambiental.

RESULTADOS

De acuerdo a la caracterización físico-química del agua residual proveniente de los dos tipos de tela que se producen comúnmente en una fábrica textil, se identificó que el agua del procesamiento de tela poliéster (100%) no necesitan tratarse ya que los parámetros determinados están dentro de los límites permisibles del TULSMA: Tabla 3. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola y Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Al contrario el agua residual que procede del procesamiento de tela poli

algodón (65/35 %) necesita tratarse ya que los parámetros como: Conductividad (12.5 milimhos/cm), Color (10000 Units PtCo), Turbiedad (1761 UNT),ST(8026 mg/l), SST(320 mg/l), SDT(7675 mg/l),pH(12.68),DQO(6843 mg/l), DBO₅(2648 mg/l),Tensoactivos (9.93 mg/l),Cobre (6.94 mg/l), Níquel(8.64 mg/l), Cromo (1.57 mg/l), Aluminio (5.67 mg/l),Hierro (6.47 mg/l), se encuentran fuera de los límites permisibles del TULSMA.

Con fundamento en estos datos se optó por realizar pruebas de tratabilidad al agua residual del proceso de poli algodón de un color fuerte, considerando que éste presenta valores más altos en relación a los colores bajos y medios. Se utilizaron coagulantes metálicos como el sulfato de aluminio, en diferentes concentraciones y volúmenes y tuvo una reacción favorable en la calidad del agua residual, reduciendo parámetros como: color, pH, turbiedad, conductividad.

También se realizaron pruebas de efectividad utilizando polielectrolitos aniónicos y catiónicos en diferentes concentraciones y volúmenes, con la finalidad de comprobar y medir la eficiencia de su utilización, pero ninguno presentó una reacción favorable para el agua residual objeto de estudio, por lo que se descartó su uso.

Para encontrar la dosis óptima de sulfato de aluminio (gráfico 1), se procedió a simular el proceso de coagulación-floculación mediante la prueba de jarras, se puede observar que el sulfato de aluminio a una concentración de 500 ppm consigue mejorar la calidad del agua: el color, pH, turbidez y conductividad, tienden a disminuir de manera significativa. Se descarta la utilidad del Cloruro de poli aluminio (PAC), Cloruro férrico, Sulfato férrico y el Sulfato ferroso para éste tipo de agua residual ya que no tienen ningún efecto sobre la misma, debido a que algunos de ellos tienen rangos de pH entre 4 y 7 para

alcanzar una coagulación óptima, y debido a la alcalinidad que presenta el agua estudiada se necesitaría de grandes volúmenes de ácidos fuertes para ajustar el rango de pH.

Se simularon procesos de sedimentación y procesos de filtración y cloración para conocer qué tan efectivos son éstos para disminuir la carga contaminante en este tipo de agua residual, obteniéndose resultados favorables como la remoción de color, DQO, turbiedad.

De acuerdo a las pruebas de tratabilidad, el sistema de tratamiento del agua residual está constituido por un proceso de coagulación floculación con la dosis óptima de sulfato de aluminio y un tiempo de mezclado de 150 rpm durante 5 minutos para homogenizar el medio con el coagulante es decir una agitación rápida y una agitación lenta de 40 rpm durante 15 min para favorecer la formación de flóculos,determinado de manera experimental a nivel de laboratorio mediante un agitador mecánico;posteriormente la sedimentación tendrá un tiempo de retención de 2 horas para que sedimenten los flóculos seguido de una filtración en un lecho de carbón activado y arena aprovechando la capacidad absorbente de éstos materiales. Finalmente, el agua pasará a un proceso de cloración con la dosis óptima de hipoclorito de calcio con el fin de remover el color del agua residual que no pudo ser eliminado en los procesos anteriores.

DISCUSIÓN

La caracterización físico-química del agua residual reveló que solamente el agua proveniente del procesamiento de tela poli algodón (65/35 %) necesita tratarse ya que los parámetros se encuentran fuera de los límites permisibles por el TULSMA, como se indica en la tabla 3. En la actualidad existen diferentes alternativas de solución para el tratamiento de efluentes textiles como: Oxidación con reactivo de Fenton, Tratamiento con ozono, Degradación fotoquímica, Degradación electroquímica, entre otros. Si bien estos procesos son eficaces en cuanto a la remoción de colorantes, su principal limitante es el elevado costo de su implementación así como la formación de subproductos, por lo que el presente diseño opta por procesos conocidos, asequibles, compatibles con el medio ambiente y accesibles económicamente.

Posterior a la caracterización se aplica las pruebas de tratabilidad en el agua residual, las cuales tienen por finalidad determinar si los contaminantes presentes en un efluente son susceptibles a ser eliminados mediante el sistema de tratamiento de agua seleccionado, además

permiten la determinación de dosis precisas para garantizar el mínimo gasto de insumos así como los parámetros de diseño, el tamaño y el tipo de las diferentes unidades que van a conformar la planta de tratamiento de agua, se efectuaron pruebas de tratabilidad como: prueba de jarras, sedimentación, filtración y cloración. Posteriormente se caracterizó el agua tratada y los resultados se los comparó con la normativa ambiental comprobando así, que la calidad del agua mejoró de manera que se ajusta a lo exigido por la normativa ambiental, datos que se pueden observar en la tabla 4, además se determinó el porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes como se indica en la tabla 5, y finalmente se puede apreciar en la figura 3 el sistema de tratamiento con cada una de las unidades que lo conforman.

CONCLUSIONES

La caracterización del agua residual proveniente del procesamiento del tipo de tela poliéster (100 %) revela que todos los valores cumplen con la normativa, la razón de éstos resultados está ligada directamente a las propiedades químicas de la tela como: la elevada sensibilidad a los álcalis fuertes, excelente resistencia a los agentes oxidantes y la utilización de colorantes dispersos que tienen un alto grado de fijación, propiedades que fueron comprobados a nivel de laboratorio. Al contrario el efluente del procesamiento de tela poli algodón (65/35 %) necesita tratarse ya que los demás valores están por encima del límite establecido por la normativa ambiental.

Las pruebas de tratabilidad seleccionadas como: prueba de jarras, sedimentación, filtración lenta y cloración permitieron determinar la dosis óptima de los diferentes compuestos químicos necesarios para conseguir la reducción de los parámetros de calidad del

agua. Fundamentándose en estos datos y con la identificación de variables del proceso como el caudal de diseño de 2.24 m³/h, se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales con el que se obtuvo una remoción de color del 95.25 %, una reducción de turbiedad de 98.35%, una remoción de ST de 92.61%, una remoción de SDT de 96.23%, una remoción de DQO de 97.34%, una remoción de DBO₅ de 96.94 %, una remoción de cobre de 98.41% y una remoción de níquel de 98.49 %. Con lo cual se comprueba que el diseño de tratamiento planteado permite cumplir con lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) y así reutilizar el agua tratada con fines agrícolas atesorando el medio ambiente y mitigando el impacto ambiental que generan este tipo de aguas residuales industriales.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de la Ing. Mabel Parada y el Ing. Marco Chuiza, a quienes expreso mi más profundo agradecimiento por hacer posible la realización de este estudio, así como a la Fábrica de textiles Hilario por su colaboración en las tareas de campo, y la aportación de toda la información necesaria.

Referencias

1. Daros G, La contaminación de aguas en Ecuador: Industria Textil, 2ª Ed. Quito: Lavigne, 2005, p.5.
2. Asociación Industrial Textil del Proceso Algodonero (AITPA), "El sector textil de proceso algodón presenta sus resultados a la asamblea general". [Online] Disponible en: <http://www.aitpa.es/industria/text-mundo.htm>. Ultimo acceso: 19 Nov, 2002.
3. Ecuador. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes, recurso agua. Quito-Ecuador. Libro VI, Anexo I. 2016. Pp.14-24.
4. Environmental Protection Agency (EPA), Waste Water Collection, Treatment and Storage. USA: EPA, 1999.

5. European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques for the textiles industry, Sevilla, 2002.
6. H. Van der Roest, A Van Bentem, and D. Lawrence, “BRM-technology in municipal wastewater treatment: challenging the traditional treatment technologies”, *Water Science & technology*, Vol. 45, pp. 273 - 280, 2002.
7. Lockuán F, *La industria textil: Control de calidad*, 2ª Ed. Madrid: Díaz de Santos, 2012, pp.23-84.
8. Rubens Sette Ramalho, *Tratamiento de aguas residuales*, 3ª Ed. Barcelona: Reverté, 2013, pp.582-587.
9. Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2003, pp. 659–861.
10. Rigola M, *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y aguas residuales*, 2ª Ed. Barcelona: Marcombo, 1999, pp.27-37

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACTIVIDAD PSICOACTIVA DE PASSIFLORAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Comparative Study of The Psychoactive Activity of Passifloras from The Province of Chimborazo

¹Vinueza Diego, ¹Pilco Gisela, ¹Acosta Karen, ²Tierra Patricia, ²Noboa Patricio, ¹Abdo Susana

¹Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

²Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Panamericana Sur km 1½, Riobamba – Ecuador
gisel_apb@yahoo.es

R esumen

La variedad climática y la ubicación territorial del Ecuador favorece la diversidad biológica en el país. Sin embargo, debido a la presencia de gran número de flora y fauna por kilómetro cuadrado, la mayor parte no se encuentra estudiada, y a pesar de no contar con argumento científico para el uso de algunas especies vegetales, la población utiliza muchas de éstas para diferentes patologías, por lo que se realizó el estudio farmacológico de seis especies del género *Passiflora* de la provincia de Chimborazo – Ecuador, empleadas tradicionalmente para tratar el nerviosismo. Para la identificación se llevó a cabo un perfil de cromatografía en capa fina de cada especie, de los que se pudieron determinar cantidades considerables de moléculas con agrupamiento de tipo flavónico y cuantificación de los flavonoides totales. De las especies estudiadas *P. manicata* se destacó por su elevado contenido de flavonoides totales usando el método de cloruro de aluminio para derivatizar los compuestos de interés y poder evaluarlos mediante espectrofotometría UV-visible. Mientras que para la actividad farmacológica se llevó a cabo in vivo mediante el modelo de laberinto en cruz elevado. De los resultados obtenidos se ha logrado determinar que al menos dos de las seis especies tienen actividad ansiolítica significativa a las dosis de 25 y 50 mg/kg de extracto hidroalcohólico, siendo *P. mixta* y *P. edulis* las especies vegetales que en su composición presentarían constituyentes bioactivos para tal efecto.

Palabras claves: *Passiflora*, ansiolítico, flavonoides, laberinto en cruz elevado.

A bstract

Climate variability and territorial location of Ecuador promotes biodiversity in the country. However, due to the presence of a big number of flora and fauna per square kilometer, most of it is not studied and despite not having a scientific argument for the use of some species, the population uses many of these for different pathologies, for this reason, a pharmacological study of six species of the genus *Passiflora* from the province of Chimborazo – Ecuador was carried out, traditionally used to treat nervousness. For identification, a thin layer chromatography profile of each species was carried out, of which it was possible to determine considerable quantities of molecules with grouping of flavonoid type and quantification of the total flavonoids. Of all the species *P. manicata* was noted for its high content of total flavonoids using aluminum chloride method for derivatizing the compounds of interest and to evaluate UV-visible spectrophotometry. While for the pharmacological activity it was carried out in vivo by the elevated plus-maze test. From the results obtained it has been

determined that at least two of the six species have significant anxiolytic activity at doses of 25 and 50 mg/kg of hydroalcoholic extract. Species like *P. edulis* and *P. mixta* have bioactive constituents for this purpose.

Keywords: *Passiflora*, anxiolytic, flavonoids, elevated cross maze.

Fecha de recepción: 01-dic-2017

Fecha de aceptación: 21-may-2018

INTRODUCCIÓN

La diversidad ecosistémica del Ecuador se debe principalmente a la variedad climática y a la topografía particular del territorio, estos factores han permitido la presencia de 46 formaciones vegetales naturales (1). Por lo anteriormente indicado, existe un número elevado de especies vegetales y animales por kilómetro cuadrado en todas las regiones del Ecuador (sierra, costa, amazonía y la zona insular), sin embargo con tal diversidad solo pocas han sido estudiadas (2). La familia *Passifloraceae* comprende 17 géneros y 660 especies (3), 4 géneros han sido identificados en América (*Ancistrothyrus*, *Dilkea*, *Mitostemma* y *Passiflora*) y aproximadamente 500 especies, la mayoría del género *Passiflora* (4). Las flores, hojas y frutos de los integrantes de la familia *Passifloraceae* son llamativos y peculiares por lo que son utilizados con fines ornamentales y comestibles (5), el nombre *Passiflora* fue dado por los conquistadores españoles que describieron a las flores como símbolos de la “Pasión de Cristo”(6), muchas especies han sido usadas en la medicina tradicional, entre ellas *Passiflora incarnata* L. *Passiflora foetida* y *Passiflora edulis* (7). De las investigaciones más prometedoras *P. edulis* precede la lista por poseer en sus semillas compuestos como piceatanol capaz de inhibir la melanogénesis y promover la síntesis de colágeno.(8)

La presencia de una variedad de fitoconstituyentes en el género *Passiflora* ha sido descrita. Sin embargo, los reportes sobre investigación farmacológica desarrollada, son limitados en Ecuador, sin

embargo los estudios que existen se basan en la actividad depresora sobre el Sistema Nervioso Central (SNC) de diversas especies de *Passiflora* (9). Por otra parte, no se han llevado a cabo estudios sobre los efectos ansiolíticos de las especies nativas de *Passiflora* en Ecuador. Los estudios farmacológicos previos en Sudamérica del género *Passiflora* han sido desarrollados en Brasil tanto para *Passiflora alata* como *Passiflora edulis* en los que han sido descritos como depresores del SNC en ratones (10). De igual manera, en reportes subsiguientes en los que se realiza la correcta identificación de *Passiflora incarnata* y *Passiflora edulis* en India, se establece que el extracto metanólico de *P. incarnata* muestra actividad ansiolítica significativa, mientras que *P. edulis* estaba desprovista de cualquier actividad significativa (11). Otras especies como *Passiflora caerulea* con un contenido apreciable de crisina (monoflavonoide) ha demostrado actividad ansiolítica a una dosis de 1 mg/kg en ratones; en comparación con diazepam a 6 mg/kg para los efectos miorrelajantes. Por otra parte, se han reportado efectos no específicos depresores del SNC en ratones, ratas y voluntarios humanos sanos del extracto acuoso de *Passiflora edulis*. En el caso de *Passiflora incarnata* también conocida como flor de la pasión es la especie del género que se ha utilizado ampliamente debido a su efecto ansiolítico y sedante en todo el mundo desde tiempos inmemoriales. Desde 1974 una gran cantidad de diferentes compuestos han sido aislados de *Passiflora incarnata* como maltol, etil maltol y un derivado de γ -benzopirona; de ellos el etil maltol se ha destacado por sus propiedades anticonvulsivas. Posteriormente, el aislamiento de una benzoflavona tri-sustituida como el principal fitocomponente bioactivo marcó un antes y después en el caso de la actividad sobre el SNC de *Passiflora incarnata* (9). El pericarpio de *Passiflora quadrangularis* igualmente ha sido estudiado con el fin de aclarar la implicación de la vía GABAérgica en la actividad sedante de apigenina, el flavonoide principal de esta especie de *Passiflora*. Al final de este estudio, el efecto sedante de apigenina fue bloqueado por el tratamiento previo con el agonista inverso de las benzodiazepinas flumazenilo a la dosis de 1 mg/kg, lo que sugiere una interacción del compuesto apigenina con los recep-

tores de tipo GABA A (12). El objetivo de investigación fue la evaluación de la actividad ansiolítica de seis especies de *Passiflora*, algunas de ellas nativas de Ecuador, usando el modelo animal ratón *Mus musculus* y la prueba del laberinto en cruz elevado, como una primera aproximación a posibles investigaciones y aplicaciones de las mismas en el futuro.

MATERIALES Y MÉTODOS

a. Material vegetal

Las hojas de *P. manicata*, *P. tripartita*, *P. edulis*, *P. quadrangularis*, *P. ligularis*, *P. mixta* y *P. incarnata* se recolectaron en los alrededores de las ciudades de Riobamba, Pallatanga y Bucay, provincia de Chimborazo, Ecuador, en septiembre de 2014.

Los extractos totales fueron preparados tomando como material de partida las hojas de cada una de las especies vegetales por separado, que luego de su acondicionamiento apropiado, se extrajeron mediante maceración y sonicación usando como solvente extractivo una mezcla hidroalcohólica ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$, 85:15); para posteriormente, concentrar los extractos obtenidos a una temperatura no superior a los 50°C y finalmente liofilizarlos.

b. Identificación y cuantificación

Se realizó una cromatografía en capa delgada usando placas de sílica gel 60 con indicador de fluorescencia de 254 nm, una fase móvil constituida por acetato de etilo, ácido fórmico, ácido acético, agua (100:11:11:26) y como reactivo revelador una solución alcohólica de cloruro de aluminio en primera instancia y posteriormente poli-etilenglicol 400 como mejorador de la fluorescencia (13). Mientras que la cuantificación de flavonoides totales presentes en los extractos liofilizados fue realizada mediante la derivatización de los mismos utilizando Cloruro de Aluminio (14). Los flavonoides totales fueron evaluados mediante un ensayo colorimétrico desarrollado por Zhi-shen y col. (1999). Una alícuota de 1 mL de solución de muestra o estándar de quercetina diluidas apropiadamente (20, 40, 60, 80 and 100 mg/L) fue añadida a un matraz aforado de 10 mL conteniendo 4 mL de H_2O . A tiempo cero, 0,3 mL de NaNO_2 (5%, w/w) fue añadido al matraz. Después de 5 minutos, 0,3 mL de AlCl_3 (10% w/w) fue adicionado. Después de 6 minutos, 2 mL de NaOH (1M) fue añadido a la mezcla. Inmediatamente, el volumen del frasco en que se produce la reacción fue diluido con la adición de 2,4 mL de H_2O y mezclado vigorosamente.

La absorbancia de la mezcla, caracterizada por un color rosa, fue determinada a 510 nm usando agua como blanco. La cantidad de flavonoides totales fue expresada como gramos de flavonoides totales equivalentes a quercetina por cada 100 gramos de extracto liofilizado. Para la quercetina, la curva de calibración de absorbancia en función de la concentración fue descrita mediante la ecuación $A = 0,001 C + 0,0015$.

c. Ensayo Biológico

Ratones hembra de experimentación *Mus musculus* de la cepa BALB/c (3-4 meses de edad), con pesos que oscilaban entre 25-35 g fueron usados para la evaluación de comportamiento. Los animales fueron mantenidos en un ciclo de luz y oscuridad de 12 h (luz a las 07h00 am) a una temperatura ambiental constante de $23\pm 2^\circ\text{C}$. Los animales fueron albergados en grupos de 5 individuos por caja (30 cm x 37 cm x 16 cm) con alimento y agua ad libitum, excepto durante el experimento. Todos los animales fueron adaptados a las condiciones del laboratorio por al menos una semana previa al estudio de evaluación del comportamiento.

El vehículo (propilenglicol 15% v/v), clonazepam (0,5 mg/kg) disuelto en el vehículo, los extractos hidroalcohólicos liofilizados de *P. edulis*, *P. tripartita*, *P. mixta*, *P. quadrangularis*, *P. manicata*, *P. ligularis* (25 mg/kg, 50 mg/kg, 100 mg/kg, 200 mg/kg y 300 mg/kg) disueltos en el vehículo, el vehículo, el fármaco y los extractos fueron administrados por vía oral 30 minutos antes del experimento.

El laberinto en cruz elevado o EPM por sus siglas en inglés se compone de dos brazos abiertos perpendiculares (30cm x 5cm) y dos brazos cerrados perpendiculares (30cm x 5cm x 25cm). Los brazos abiertos y cerrados se conectan por una plataforma central (5cm x 5cm). El laberinto se encuentra a 50 cm por encima del suelo. Una hora después de los tratamien-

tos orales, el animal se coloca en el centro del laberinto con su nariz en la dirección de uno de los brazos cerrados. El ratón se observa durante 5 minutos, y el parámetro controlado es el tiempo de permanencia del animal en los brazos abiertos y cerrados. Los compuestos ansiolíticos reducen la aversión natural del animal para huir hacia los brazos cerrados y promueven la exploración de los brazos abiertos. El aparato debe limpiarse cuidadosamente con una solución de etanol al 10% después de cada prueba (15)

d. Análisis de datos

Los datos del estudio farmacológico fueron analizados mediante un ANOVA de un factor, seguido por el test de Dunnett en caso de encontrarse diferencias significativas $p < 0,05$.

RESULTADOS

a. Material Vegetal

El material vegetal y los extractos obtenidos presentaron características físico-químicas y organolépticas propias de la especie.

b. Identificación y cuantificación

La evaluación del contenido de flavonoides demuestra que el extracto hidroalcohólico de *Passiflora manicata* posee el contenido más abundante de flavonoides totales. Tabla 1. Reportes anteriores sobre la riqueza en estos componentes de *P. edulis* 4.60% son aproximados al obtenido en este estudio (10).

Se han determinado cantidades importantes de compuestos flavónicos en las demás especies del género *Passiflora* en estudio, siendo objeto de interés por la magnitud en concentración que presentan de estos componentes *P. mixta*, *P. ligularis* y *P. tripartita*.

La composición en flavonoides de los extractos de *P. mixta* y *P. tripartita* en

Especie	Contenido de flavonoides totales expresados como quercetina en gramos por 100 gramos de extracto hidroalcohólico liofilizado, %
<i>Passiflora quadrangularis</i>	8,16±0,42
<i>Passiflora manicata</i>	58,33±2,22
<i>Passiflora edulis</i>	7,74±0,21
<i>Passiflora ligularis</i>	30,18±1,38
<i>Passiflora mixta</i>	37,73±0,45
<i>Passiflora tripartita</i>	14,51±0,42

Tabla 1. Contenido de flavonoides totales expresados como quercetina en gramos por 100 gramos de extracto hidroalcohólico

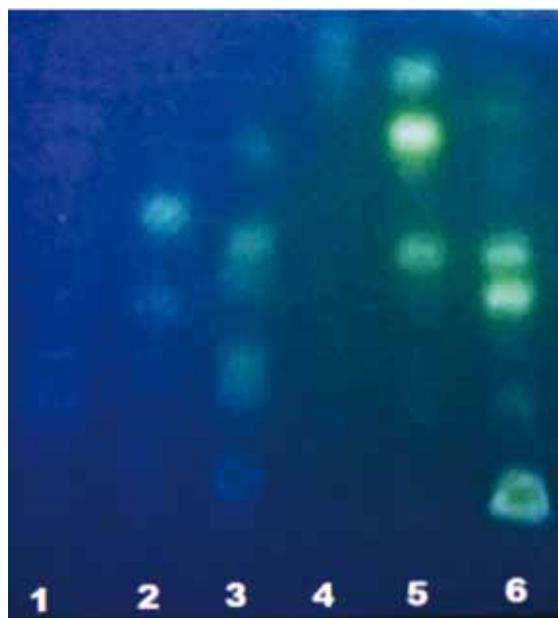


Figura 1. Cromatografía en capa fina de soluciones preparadas a una concentración de 200 ppm de los extractos hidroalcohólicos liofilizados de: 1. *P. edulis*, 2. *P. quadrangularis*, 3. *P. mixta*, 4. *P. ligularis*, 5. *P. manicata*, 6. *P. tripartita*

función de los resultados obtenidos en el perfil cromatográfico revelan una composición similar (Figura 1), a diferencia del *P. tripartita* debido a la intensidad de las manchas se podría esperar una concentración algo superior; sin embargo, no es así, aunque la fluorescencia que exhiben sus compuestos es pronunciada, esto podría deberse a la longitud de onda a la que se realiza la cuantificación.

P. ligularis y *P. manicata* presentaron un compuesto en común que no se pudo determinar, sin embargo, muestra un valor de R_f de aproximadamente 0,9. Asimismo, *P. manicata* exhibió un compuesto en común con *P. mixta* y *P. tripartita* con un R_f alrededor de 0,6 que podría tratarse de orientina (13). *P. ligularis* presentó apenas un par de compuestos que no poseen mayor fluorescencia a la luz UV.

En *P. edulis* y *P. quadrangularis* se observaron igualmente un par de compuestos comunes con valores de Rf de 0,5 y 0,7 aproximadamente; que podrían asociarse con derivados de apigenina y/o luteolina (13).

c. Ensayo biológico

Los resultados están descritos en la Tabla 2. Todos los grupos evaluados fueron comparados con el vehículo. En los casos de *P. quadrangularis*, *P. manicata* y *P. ligularis* no existe diferencia entre los grupos tratados y el vehículo.

Clonazepam (0,5 mg/kg) fue utilizado como fármaco estándar ansiolítico. El clonazepam administrado a los sujetos de experimentación denota un incremento en el tiempo de permanencia en los brazos abiertos del dispositivo utilizado en el ensayo (Laberinto en Cruz elevado) $p < 0,05$.

d. Análisis estadístico

Los animales tratados con *P. mixta* (25 y 50 mg/kg) y *P. edulis* (25 y 50 mg/kg) exhibieron un incremento en el tiempo de permanencia en los brazos abiertos del dispositivo $p < 0,05$.

DISCUSIÓN

El modelo de laberinto en cruz elevado es uno de los más populares ensayos preclínicos para evaluar agentes ansiolíticos (16). Autores como Pellow en 1985, sugirieron que la variable más importante para detectar efectos ansiolíticos es el incremento de permanencia en los brazos abiertos de EPM (10). Tanto *P. edulis* como *P. mixta*, a dosis de 25 mg/kg y 50 mg/kg exhiben efectos ansiolíticos de acuerdo con el modelo de laberinto en cruz elevado. Sin embargo, al igual que en trabajos anteriores *P. edulis*

demuestra un incremento en la actividad locomotora, lo cual se asocia de manera general a un efecto sedante menor con respecto al Clonazepam. De los estudios disponibles, el extracto acuoso de hojas de *Byrsocarpus coccineus* a dosis de 50 y 100 mg/kg presentó actividad ansiolítica in vivo, mostrando efecto más pronunciado a dosis de 100mg/kg(17). Mientras que el efecto ansiolítico de extractos hidroalcohólicos de *P. alata* a dosis de 100 y 150 mg/kg y *P. edulis* a dosis de 50, 100 y 150 mg/kg mostraron efectos ansiolíticos, sin embargo, *P. edulis* a dosis de 50 y 100 mg/kg incrementaron la actividad locomotora sugiriendo un menor efecto sedativo en comparación con el diazepam (10). En tanto, *Passiflora incarnata* y *Passiflora edulis* se estableció que el extracto metanólico de *P. incarnata* muestra una actividad ansiolítica significativa a una dosis de 125 mg / kg por vía oral, mientras que *P. edulis* estaba desprovista de cualquier actividad significativa (11).

Las especies vegetales poseen diversas actividades biológicas entre ellas mejorar las funciones cerebrales e influir en el sistema nervioso central (18), lo que se atribuye a la presencia de metabolitos secundarios que actúan frecuentemente como agonistas o antagonistas de neurotransmisores(19), o debido a que forman análogos estructurales de hormonas endógenas (20). En la literatura disponible se asocia a los flavonoides con la activi-

Especie	Tiempo de permanencia brazos abiertos (minutos)						
	Propilenglicol 15%, V/V	Clonazepam 3 mg/kg	25 mg/kg	50 mg/kg	100 mg/kg	200 mg/kg	300 mg/kg
<i>P. edulis</i>	1,38±0,15	4,94±0,08	2,03±0,87	1,59±0,36	1,28±0,53	1,08±0,17	1,01±0,45
<i>P. ligularis</i>	1,75±0,68	4,76±0,33	0,20±0,10	0,08±0,02	0,18±0,06	0,11±0,05	0,30±0,08
<i>P. quadrangularis</i>	1,34±1,63	2,47±2,42	0,44±0,30	0,30±0,20	0,57±0,44	0,13±0,13	0,35±0,44
<i>P. manicata</i>	0,89±0,74	1,86±1,91	0,27±0,35	0,38±0,28	0,37±0,40	0,20±0,23	0,06±0,05
<i>P. tripartita</i>	0,42±0,25	4,88±0,24	0,14±0,15	0,23±0,31	0,20±0,25	0,37±0,33	0,47±0,32
<i>P. mixta</i>	0,22±0,06	4,86±0,22	1,95±0,29	2,03±0,34	0,33±0,13	0,18±0,08	0,85±1,6

Los resultados son el promedio±SD de al menos 5 repeticiones.

Tabla 2. Resultados de la prueba de laberinto elevado en cruz para 6 especies de *Passiflora*.

dad ansiolítica (9)(10)(12). Compuestos como crisina son considerados como potenciales ligandos centrales del receptor de benzodiacepina aislado de *Passiflora coerulea*, (21)

En cuanto a los resultados de los componentes fitoquímicos de las especies que han denotado actividad ansiolítica, el extracto hidroalcohólico de *P. mixta* posee casi cinco veces más contenido de flavonoides totales expresados como quercetina que su correspondiente de *P. edulis*. De la misma forma se señala que el extracto hidroalcohólico de hojas de *P. edulis* presentó casi el doble del contenido de flavonoides que *P. alata*.(10) Sin embargo, no se ha encontrado una correlación entre el contenido de flavonoides y la actividad ansiolítica. Cabe recalcar, que es importante considerar la diferente composición de flavonoides en los extractos.

En el caso de *P. manicata* en la que se han reportado los compuestos vitexina, isovitexina e isoorientina (22), los dos primeros compuestos se han probado puros y no presentan actividad ansiolítica, entre tanto; se ha descrito que isoorientina posee un muy leve efecto

ansiolítico (10); en esta investigación se ha corroborado que el extracto hidroalcohólico de *P. manicata* no posee actividad ansiolítica significativa en el modelo de prueba.

CONCLUSIONES

De las seis especies de *Passiflora*, respecto a la actividad ansiolítica la que mejor resultados presentó fue *P. edulis* mientras que la de menor efecto fue *P. manicata*, sin embargo *P. manicata* exhibió un porcentaje elevado de flavonoides totales por lo que se podría estudiar por sus efectos antioxidantes.

Se puede establecer que la presencia de otros compuestos presentes en los extractos de *P. mixta* y *P. edulis* serían responsables de su efecto farmacológico. Sin embargo, posteriores estudios serían necesarios para evaluar el potencial de los compuestos de especies de *Passiflora* en Ecuador con fines ansiolíticos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a la Facultad de Ciencias por brindar las facilidades para el desarrollo de esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Referencias

1. Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2015. Quinto informe nacional para el convenio sobre la diversidad biológica. Quito - Ecuador. 36-38.
2. Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2008. Revisión del avance y situación actual del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador (PANE). Quito - Ecuador. 56-72.
3. Jørgensen PM, León-Yañes S. 1999. Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. Missouri Botanical Garden Press. 779-783.
4. Escobar LK. Passifloraceae. 1988. In: Flora de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia; 138.
5. Hernández A, Bernal R. 2000. Lista de especies de Passifloraceae de Colombia. Biota Colomb. 1 Suppl 3:320-35.
6. Kinghorn GR. Passion, stigma, and STI. 2001. Sex Transm Infect. 77 Suppl 5:370
7. Miroddi M, Calapai G, Navarra M, Minciullo PL, Gangemi S. 2013. *Passiflora incarnata* L. Ethnopharmacology, clinical application, safety and evaluation of clinical trials. J Ethnopharmacol. 150 Suppl 3:791-804.
8. Matsui Y, Sugiyama K, Kamei M, Takahashi T, Suzuki T, Katagata Y, et al. 2010. Extract of Passion Fruit (*Passiflora edulis*) Seed Containing High Amounts of Piceatannol Inhibits Melanogenesis and Promotes Collagen Synthesis. J Agric Food Chem. 50 Suppl 20:11112-8.
9. Dhawan K, Dhawan S, Sharma A. 2004. *Passiflora*: A review update. J Ethnopharmacol. 94 Suppl 1:1-23.

10. Petry RD, Reginatto F, De-Paris F, Gosmann G, Salgueiro JB, Quevedo J, et al. 2001. Comparative pharmacological study of hydroethanol extracts of *Passiflora alata* and *Passiflora edulis* leaves. *Phyther Res.* 15 Suppl 2:162–4.
11. Dhawan K, Kumar S, Sharma A. 2001. Comparative biological activity study on *Passiflora incarnata* and *P. edulis*. *Fitoterapia.* 72 Suppl 6:698–702.
12. Gazola AC, Costa GM, Castellanos L, Ramos F a., Reginatto FH, Lima TCM De, et al. 2015. Involvement of GABAergic pathway in the sedative activity of apigenin, the main flavonoid from *Passiflora quadrangularis* pericarp. *Rev Bras Farmacogn.* 25 Suppl 2:158–63.
13. Wagner H, Bladt S. 2001. *Plant Drug Analysis: A Thin Layer Chromatography Atlas.* Analytica Chimica Acta. 383.
14. Boukhris M, Simmonds MSJ, Sayadi S, Bouaziz M. 2013. Chemical Composition and Biological Activities of Polar Extracts and Essential Oil of Rose-scented Geranium, *Pelargonium graveolens*. *Phyther Res.* 1206–1213.
15. Cardoso Vilela F, Soncini R, Giusti-Paiva A. 2009. Anxiolytic-like effect of *Sonchus oleraceus* L. in mice. *J Ethnopharmacol.* 124 Suppl 2:325–7.
16. Vogel HG. *Drug Discovery and Evaluation: Pharmacological Assays.* Vol 1. 3era ed; 2008.
17. Akindele A, Adeyemi O. 2010. Anxiolytic and sedative effects of *Byrsocarpus coccineus* Schum. and Thonn. (Connaraceae) extract. *Int J Appl Res Nat Prod.* 3 Suppl 1:28–36.
18. Kennedy DO Do, Wightman EEL. 2011. Herbal extracts and phytochemicals: plant secondary metabolites and the enhancement of human brain function. *Adv Nutr A* 2:32–50.
19. Wink M. 2003. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry.* 64 Suppl 3:19.
20. Miller A, Heyland A. 2010. Endocrine interactions between plants and animals: Implications of exogenous hormone sources for the evolution of hormone signaling. *Gen Comp Endocrinol.* 455–61.
21. Wolfman C, Viola H, Paladini A, Dajas F, Medina JH. 1994. Possible anxiolytic effects of chrysin, a central benzodiazepine receptor ligand isolated from *Passiflora Coerulea*. *Pharmacol Biochem Behav.* 1 Suppl 47:1–4.
22. Da Silva Morrone M, De Assis AM, Da Rocha RF, Gasparotto J, Gazola AC, Costa GM, et al. 2013. *Passiflora manicata* (Juss.) aqueous leaf extract protects against reactive oxygen species and protein glycation in vitro and ex vivo models. *Food Chem Toxicol.* 60:45–51.

CUANTIFICACIÓN DE METALES EN AGUAS DE RIEGO. ESTUDIO DE CASO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Metal Quantification in Irrigation Waters. A Case Study in The Province of Chimborazo

¹J. Idrovo*, ¹I. Gavilanes, ¹N. Veloz, ²R. Erazo, ³H. Valverde

¹Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
EC060155-Riobamba (Chimborazo), Ecuador

²Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental, Escuela
Superior Politécnica de Chimborazo, EC 060155-Riobamba (Chimborazo), Ecuador

³Unidad de Admisión y Nivelación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
EC060155-Riobamba (Chimborazo), Ecuador

*e-mail: j.idrovo@esPOCH.edu.ec

R esumen

El crecimiento de la agroindustria en el Ecuador ha causado en los últimos años graves problemas de contaminación ambiental que afectan a sus recursos naturales, por lo cual es importante aplicar estrategias cada vez más eficaces para determinar las fuentes de contaminación y mitigar sus impactos en el ambiente. Una de las más importantes es la presencia de metales pesados, por lo tanto, es fundamental la determinación cuantitativa de ellos para llevar a cabo su gestión adecuada. La provincia de Chimborazo se encuentra ubicada en la zona central de los Andes ecuatorianos y una de sus principales agroindustrias es la relacionada con la producción de plantas ornamentales, cuya contaminación por metales pesados no ha sido suficientemente estudiada, especialmente en lo concerniente a las aguas de riego. El objetivo de este trabajo de investigación fue determinar cuantitativamente por espectroscopía de emisión atómica mediante plasma de acoplamiento inductivo, el grado de contaminación por metales pesados de las aguas de riego de la Industria Florícola “White River Roses” del cantón Penipe. Los resultados mostraron que, en general, el agua de riego que se utiliza en esta industria agrícola no contiene cantidades significativas de metales pesados.

Palabras claves: Agua de riego, contaminación, metales pesados.

A bstract

The growth of agribusiness in Ecuador in recent years has caused serious problems of environmental contamination affecting its natural resources, so it is important to implement effective strategies to determine the sources of pollution and mitigate their impacts on the environment. One of the most important is the presence of heavy metals, therefore, it is essential to determine quantitatively them to carry out their proper management. The province of Chimborazo is located in the central zone of Ecuadorian Andes and one of its main agroindustries is related to the production of ornamental plants, whose contamination by heavy metals has not been sufficiently studied, especially with regard to the irrigation waters. The aim of this research was to determine quantitatively by atomic emission spectroscopy using inductive coupling plasma, the degree of contamination by heavy metals of the irrigation water of the Floriculture Industry White River Roses of the Penipe Canton. The results showed that, in general, the irrigation water used in this agricultural industry does not contain significant amounts of heavy metals.

Keywords: Residual water, design, environmental regulation, treatment system.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural fundamental para el cultivo de plantas florícolas. La calidad del agua de riego tiene un impacto considerable sobre el crecimiento exitoso y la productividad de las plantas (1,2) y su conocimiento permite realizar los cambios necesarios para garantizar la productividad a largo plazo (1,3).

Actualmente, la mayor preocupación sobre la seguridad del agua es la potencial presencia de contaminantes químicos, procedentes de fuentes industriales, agrícolas y urbanas (4). Los metales pesados son elementos químicos metálicos que tienen una densidad relativamente alta y son tóxicos o venenosos a bajas concentraciones (5), provocando problemas de toxicidad en los organismos vivos debido a que son bioacumulables (6). Elementos como níquel, cromo, cadmio, plomo, arsénico, selenio y mercurio, aún en pequeñas proporciones son potencialmente tóxicos. Una de las principales causas de la contaminación del suelo con metales pesados (plomo, cadmio, cromo, zinc, cobre, níquel, mercurio, manganeso, selenio y arsénico, entre otros) es el riego con agua de cauces y aguas residuales contaminadas (7,8). En las plantas el mayor riesgo de los metales pesados radica en que pueden acumularse en las partes comestibles de los cultivos dedicados al consumo humano o para alimento de animales. La capacidad de absorción de las plantas con respecto a metales pesados es variable, lo que abre la posibilidad de adaptar la elección de cultivos según el grado y tipo de contaminación. La absorción de metales pesados en las plantas (especialmente cadmio y plomo) también varía según el pH del suelo (9). Las plantas ornamentales se han propuesto para crecimiento en suelos contaminados con metales pesados, y también para su uso en fitoremediación, determinándose que la producción de biomasa se reduce significativamente en los suelos enriquecidos con metales pesados que se concentran más en las raíces que en la parte aérea de las plantas (10). Estudios realizados en la industria florícola, muestran que los residuos de rosas tienen importantes cantidades de elementos potencialmente tóxicos: Ni, Cr, Pb, As y Se (11). Esto indicaría que este tipo de plantas podrían utilizarse como hiperacumuladores.

La espectroscopía de emisión atómica (AES) es una técnica de análisis simultáneo multielemental que permite detectar casi todos los elementos de la tabla periódica (12). El plasma es un gas ionizado que se induce en una corriente de flujo de argón. Para las emisiones atómicas comúnmente se emplea la antorcha de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) que actúa simultáneamente como

atomizador y fuente de excitación (12). El método de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP) es altamente sensible para la determinación de metales pesados que permite detectar cualitativa y cuantitativamente más de 70 elementos (13,14).

En las técnicas de absorción atómica, la absorción o emisión de luz se aplica a átomos aislados, lo cual evita la complejidad de los enlaces moleculares (14). Cuando se acopla el ICP con el espectrómetro de masas se obtiene un sistema de análisis multielemental de elevadísima sensibilidad, con límites de detección, para algunos elementos, inferiores a 0,1 partes por trillón (0,1 pg/mL) y que se determinan usando $LOD=c/(I_{(L+T)}-I_T)*I_T*3/100$ (15).

El objetivo de esta investigación fue determinar cuantitativamente por ICP, el grado de contaminación por metales pesados de las aguas de riego de la Industria Florícola “White River Roses”.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento experimental

El experimento se realizó en la Industria florícola White River Roses cantón Penipe – Ecuador (1.6 °S, 78.5 °W). Se tomaron muestras compuestas en cuatro diferentes sitios de la cadena de irrigación: entrada de agua del río Blanco (A), entrada de agua del canal de riego (B), reservorio (C) y red de distribución (D). Se realizaron tres muestreos en diferentes fechas. El agua del río y el agua del canal ingresan al reservorio a través de tubería, por lo que en estos dos puntos se tomaron las muestras en el agua corriente. El agua del reservorio es superficial y la muestra se tomó sumergiendo el recipiente en un lugar alejado de la orilla. El agua del sistema de distribución de riego proviene del reservorio a través de tubería y su flujo es controlado mediante válvulas. El muestreo en este punto se realizó abriendo la válvula y dejando co-

rrer el agua por 10 minutos antes de realizar la recolección de la muestra (14).

Metodología

La temperatura se determinó in situ utilizando un termómetro HANNA HI 145, cuya sonda se enjuagó previamente en el agua a ser muestreada para evitar contaminar las muestras. Luego las muestras fueron selladas, etiquetadas y transportadas en refrigeración a los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Las muestras de cada sitio se homogeneizaron antes de realizar los análisis de laboratorio. La muestra obtenida se filtró utilizando papel Whatman grado 1, con la finalidad de eliminar los sólidos en suspensión (16). Se determinaron parámetros físicos: temperatura, pH, CE (conductividad eléctrica), y químicos: Ag, As, B, Ba, Be, Ca, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn. Para la determinación del potencial de hidrógeno (pH) se empleó el procedimiento de ensayo específico PEE/LABCESTTA/05 basado en el método APHA 4500-H+ B (17).

Para el análisis de los metales pesados por ICP se realizó la digestión de la muestra según el procedimiento indicado por (18) con digestión ácida asistida con microondas para muestras y extractos acuosos (17). Los metales y metaloides se determinaron mediante el procedimiento de ensayo específico PEE/LABCESTTA/174 basado en el método EPA 200.7 (19) utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific iCAP 6000 con automuestreador CETAC ASX -520. Se preparó la solución patrón para cada analito diluyendo 1 mL de los estándares de calibración provistos por INORGANIC VENTURES (1000 ± 10) $\mu\text{g/mL}$ 2% HNO_3 (v/v) aforando a 100 mL con agua desionizada.

Durante dos horas se realiza la purga con Ar para estabilizar los componentes ópticos del equipo y se colocan las

muestras digeridas en el automuestreador desde donde pasan al ICP-AES para los análisis multielementales.

Los análisis de todas las muestras se realizaron por triplicado.

Métodos estadísticos

Los efectos significativos de las variables fueron determinados mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), al nivel de significancia del 5%. Las medias de las muestras fueron separadas usando el test de Tukey-b. Todos los parámetros fueron además explorados con análisis de componentes principales (ACP) para describir las variables correlacionadas en términos de un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, las cuales son combinaciones lineales de las variables originales. Las nuevas variables calculadas se llaman componentes principales (CPs) y son mutuamente ortogonales y no correlacionadas. Las primeras CPs, en orden descendente, explican la mayoría de la varianza total de las variables originales (20). El ACP permite representar el conjunto de datos de una manera fácil de interpretar y fue aplicado a los valores medios de las tres repeticiones de cada muestra. El análisis de los datos se realizó después de aplicar la rotación normalizada Varimax al sistema coordinado de las CPs. Las cargas del factor (loadings) $> |0.6|$ indican correlaciones significativas entre las variables originales y las componentes (21,22). En base a los resultados del ACP, una clasificación jerárquica (usando la distancia Euclidiana y la regla de aglomeración de Ward) fue corrida sobre la matriz de datos para identificar similitudes entre las muestras. Se obtuvo un dendograma que clasifica las muestras. Finalmente, se hizo una clasificación no jerárquica usando el algoritmo k-means para identificar las muestras homogéneas y las variables más relevantes asociadas a cada muestra. El número óptimo de grupos se ha seleccionado con el criterio del agrupamiento cúbico (22). Los análisis estadísticos fueron realizados con el software estadístico SPSS v. 22.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros físicos

La temperatura promedio de todo el sistema de riego fue de 13.2°C . Las aguas más frías provienen del canal de riego y del río con 9.90°C y 11.07°C , respectivamente. El reservorio y la red de distribución tuvieron temperaturas similares con 15.97°C y 15.83°C , respectivamente. En el agua analizada se encontraron valores de pH lige-

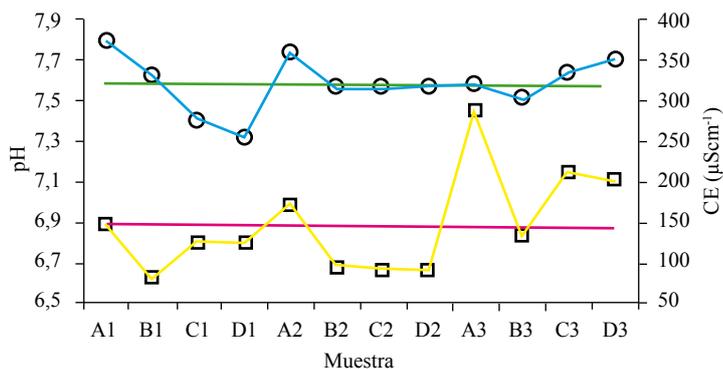


Figura 1. Conductividad eléctrica y pH del agua

ramente alcalinos, lo cual indica que los metales pesados están menos disponibles. El pH de la solución tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados porque afecta el equilibrio entre la solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo (23,24). Al aumentar el pH, los metales son removidos de la solución del suelo y adsorbidos por los coloides disminuyendo su biodisponibilidad (23,25). Todos los valores de pH están dentro del rango de límites permisibles (6 – 9); mientras que la conductividad eléctrica mostró todos sus valores por debajo del límite máximo permitido de 700 µS/cm-1 (figura 1). Según estos dos parámetros, el agua

analizada es recomendable para el riego agrícola de conformidad con los límites establecidos por la normativa ecuatoriana sobre criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola (26).

Parámetros químicos

Se analizaron 27 parámetros, pero únicamente 17 dieron resultados por encima de los límites de detección.

El agua del río tiene los promedios más altos de Fe, Mn, Mo, Sn y Ti, debido al arrastre de minerales. En el agua del canal se encuentran los valores promedio más elevados de Ag y Ba provenientes de las fuentes que lo alimentan. En el reservorio se han encontrado los niveles más altos de Ca, Cd, K, Mg, Ni, Pb, Si, Sr y Tl; que podrían asociarse con la concentración de sus sales minerales.

Todos los analitos se encuentran dentro de los LMP establecidos por la normativa ecuatoriana sobre criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola, excepto el Mo que en la entrada del agua del río presenta un promedio de 34,48

Analito [ppb]	Río	Canal	Reservorio	Distribución	ANOVA
Ag	7,128 a	7,619 a	7,367 a	6,826 a	NS
As	3,187 a	2,900 a	2,302 a	5,342 a	NS
Ba	29,08 a	38,99 b	30,70 a	20,07 c	***
Ca	24973 a	22387 b	26847 c	20607 d	*
Cd	2,519 ab	2,776 a	4,810 c	1,779 b	***
Fe	742,4 a	165,0 b	314,7 c	236,2 d	*
K	1734 a	1013 b	1817 c	1299 d	*
Mg	7734 a	3706 b	8076 a	5879 c	*
Mn	17,96 a	8,92 b	12,49 c	9,94 b	*
Mo	34,48 a	4,25 b	3,21 b	6,54 b	*
Ni	4,136 a	3,794 a	4,565 a	0,000 b	*
Pb	6,479 a	6,959 a	7,261 a	6,086 a	NS
Si	9341 a	8496 b	9662 c	7000 d	*
Sn	3,214 a	1,813 a	2,454 a	1,557 a	*
Sr	130,4 a	75,1 b	138,2 c	99,7 d	*
Ti	23,86 a	2,99 b	10,40 c	9,77 c	*
Tl	14,02 a	12,22 b	14,17 a	13,28 a	**

***: Significativa a P< 0.001; **: Significativa a P< 0.01. *: Significativa a P< 0.05. NS: No significativa. Los valores medios en las filas seguidos por la misma letra no difieren significativamente a P < 0.05 (test Tukey-b).

Tabla 1. Concentración de metales

	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Mo	Ni	Sr
Mg	0,715	0,653	0,985***					
Mn	0,562	0,978***	0,759	0,741				
Mo	0,214	0,951***	0,431	0,427	0,902***			
Si	0,933***	0,488	0,654	0,544	0,582	0,308	0,945***	
Sr	0,784	0,645	0,997***	0,993***	0,742	0,409	0,381	
Ti	0,396	0,977***	0,713	0,725	0,957***	0,917***	0,190	0,700
Tl	0,675	0,571	0,877***	0,906***	0,634	0,363	0,185	0,891***

***: Significativa a $P < 0.001$;

Tabla 2. Correlación de variables

$\mu\text{g/L}$ muy por encima del LMP=0,01 mg/L (26). El principal problema del riego con agua que contiene elevadas cantidades de molibdeno es que éste es absorbido y concentrado por las plantas. Altas concentraciones de molibdeno rara vez retrasan el crecimiento de la planta, pero pueden disminuir la disponibilidad de cobre provocando hipocuposis (27) y síndrome de molibdenosis en el organismo de los animales rumiantes (28). La concentración elevada de Mo puede deberse a que en las tierras altas existen minerales que lo contienen y que son transportados por el caudal del río. Con excepción de Ag, As y Pb, existen diferencias significativas en la concentración media de los metales de acuerdo al sitio de muestreo.

La tabla 2 muestra las correlaciones entre los elementos. Dado que las correlaciones son positivas, significa que el incremento de la concentración de un analito implica el aumento de la concentración del otro. La mejor de todas las correlaciones es para K-Sr con $r=0.997$. Los elementos que están correlacionados aportan la misma información, por lo que podría desecharse uno de ellos, reduciendo de esta manera el número de metales en estudio.

Análisis multivariado

En el análisis de componentes principales la medida de Kaiser–Meyer–Olkin de suficiencia del muestreo (KMO) fue

mayor que 0.5 y el test de esfericidad de Bartlett mostró un valor $P < 0.001$. Además, ninguna de las variables presentó un valor de extracción < 0.5 . Por tanto, el modelo establecido fue adecuado. Las dos componentes principales (CP) explicaron 87.44% de la variabilidad, con contribuciones CP1: 53.68% y CP2: 33.76%. CP1 estuvo constituida por Mn, Ti, Mg, Tl, K, Fe, Sr, Sn y Mo. Las demás variables constituyeron CP2.

Todas las variables en CP1 están positivamente correlacionadas, mientras que en CP2 el As está correlacionado negativamente con las demás variables.

	CP1	CP2
Varianza explicada (%)	53,68	33,76
Varianza acumulativa (%)	53,68	87,44
Mn	0,947	
Ti	0,943	
Mg	0,913	
Tl	0,907	
K	0,907	
Fe	0,905	
Sr	0,900	
Sn	0,879	
Mo	0,763	
As		-0,978
Pb		0,977
Ni		0,917
Ag		0,882
Cd		0,843
Si		0,843
Ba		0,817
Ca		0,755

Tabla 3. Loadings de las variables para las componentes principales (CP) extraídas mediante análisis ACP, para las muestras estudiadas (sólo se reportan los loadings significativos $> |0.6|$).

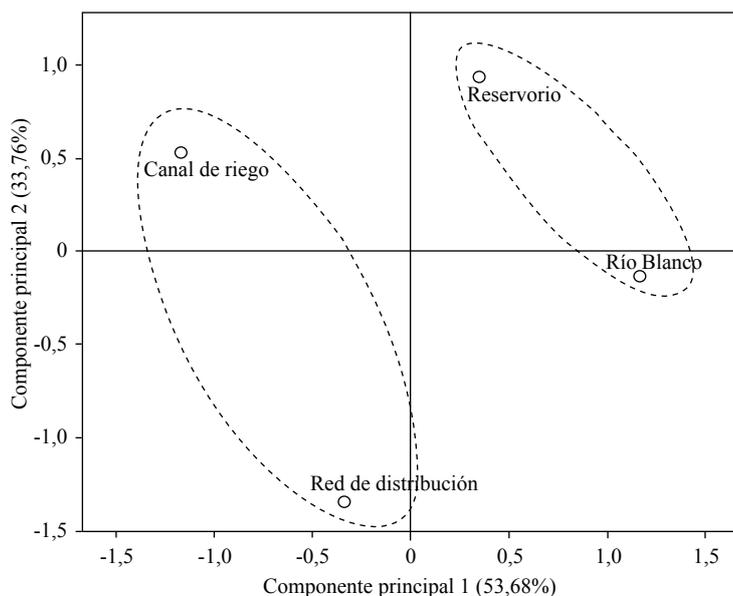


Figura 2. Puntajes de las muestras en el análisis de componentes principales

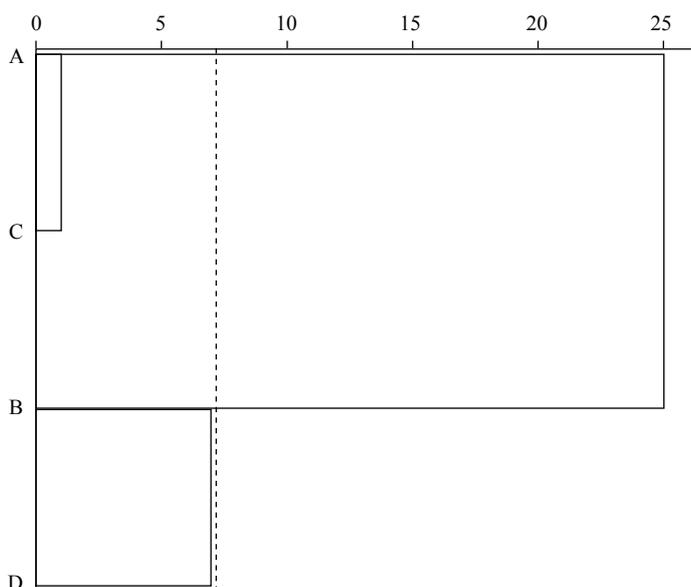


Figura 3. Agrupación jerárquica de las muestras probadas en el presente estudio.

Grupo 1	Distancia	Grupo 2	Distancia
Río Blanco	2,207	Canal de riego	2,658
Reservorio	2,207	Red de distribución	2,658

Tabla 4. Grupos k-means

Las muestras provenientes del río Blanco y del reservorio se distribuyen sobre el lado positivo de CP1. Sobre el lado negativo se encuentran las muestras que provienen del canal de riego y de la red de distribución.

El análisis de agrupación jerárquica se usó para estudiar la similitud entre las muestras. Usando un corte de 7.2 en la distancia normalizada, se identificaron dos grupos: un grupo que consiste de las muestras provenientes del río Blanco y del reservorio, y otro grupo compuesto por las muestras del canal de riego y de la red de distribución.

El análisis de agrupación no jerárquico (k-means) dio como resultado dos grupos: un grupo compuesto por las muestras provenientes del río Blanco y del reservorio, y otro grupo compuesto por las muestras del canal de riego y de la red de distribución.

Los grupos obtenidos por los métodos de agrupación jerárquica y no jerárquica, corroboran completamente los resultados obtenidos por el ACP. Las muestras de agua del río Blanco y del reservorio pertenecen al mismo grupo debido a que el reservorio es alimentado en mayor volumen por el agua del río.

CONCLUSIONES

Los parámetros pH y CE se encuentra dentro de los rangos establecidos en la legislación ecuatoriana, por tanto el agua es apropiada para el riego agrícola. El agua es apta para su uso en irrigación agrícola, dado que las concentraciones de los metales estudiados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, excepto por el Mo proveniente del agua del río. Aunque las cantidades de metales pesados y otras sustancias tóxicas son del orden de partes por billón, éstas producen la contaminación del suelo por acumulación debido al riego frecuente. El análisis multivariado determinó que las muestras de agua del río y del reservorio pertenecen al mismo grupo.

	Grupo 1		Grupo 2		ANOVA
	Media	DE	Media	DE	
Ag	7,25	0,17	7,22	0,56	NS
As	2,74	0,63	4,12	1,73	NS
Ba	29,89	1,15	29,53	13,38	NS
Ca	25910,00	1324,65	21496,67	1258,65	NS
Cd	3,66	1,62	2,28	0,70	NS
Fe	528,53	302,45	200,60	50,39	NS
K	1775,17	58,69	1155,78	202,54	NS
Mg	7905,00	241,36	4792,50	1536,54	NS
Mn	15,23	3,87	9,43	0,72	NS
Mo	18,85	22,11	5,40	1,62	NS
Ni	4,35	0,30	1,90	2,68	NS
Pb	6,87	0,55	6,52	0,62	NS
Si	9501,33	226,75	7747,67	1057,83	NS
Sn	2,83	0,54	1,69	0,18	NS
Sr	134,30	5,47	87,37	17,41	NS
Ti	17,13	9,52	6,38	4,79	NS
Tl	14,10	0,11	12,75	0,75	NS

***: Significativa a $P < 0.001$;

Tabla 5. Valor medio y desviación estándar de las variables observadas mediante agrupación k-means.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Empresa White River Roses

por las facilidades brindadas en la recolección de las muestras para esta investigación y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por el apoyo logístico y académico.

Referencias

1. Bauder TA, Waskom RM, Sutherland PL, Davis JG. Irrigation Water Quality Criteria. [cited 2017 Aug 1]; Available from: https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/10217/182905/AEXT_ucsu2062205062011.pdf?sequence=1
2. Yohannes DF, Ritsema CJ, Solomon H, Froebrich J, van Dam JC. Irrigation water management: Farmers' practices, perceptions and adaptations at Gumselassa irrigation scheme, North Ethiopia. *Agric Water Manag* [Internet]. 2017;191:16–28. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377417301865>
3. Levin M, Gealt M. Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos. Madrid: McGraw-Hill; 1997.
4. Bautista Zúñiga F. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán; 1999. 109 p.
5. Restrepo Acevedo AM. Calibración y validación del muestreador pasivo seleccionado, para la determinación de mercurio y metales pesados, simulando las condiciones ambientales reales en el laboratorio. Corporación Universitaria Lasallista; 2015.
6. Guzmán A, Sánchez S, Flores D, Quevedo N, Váldez R. La Biorremediación, un método para descontaminar áreas agrícolas. *Anu DICT-UNAH, Cuba* 51pp, formato electrónico. 2005;

7. Orroño D, Lavado R. Heavy metal accumulation in *Pelargonium hortorum*: Effects on growth and development. *Phyt (Buenos Aires)* [Internet]. 2009 [cited 2017 Aug 1];75. Available from: <http://www.scielo.org.ar/img/revistas/phyton/v78n1/html/v78n1a13.htm>
8. Wu Q, Leung JYS, Geng X, Chen S, Huang X, Li H, et al. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals. *Sci Total Environ* [Internet]. 2015;506:217–25. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714015836>
9. Gavilanes-Terán I, Paredes C, Pérez-Espinosa A, Ángeles Bustamante M, Gálvez-Sola L, Jara-Samaniego J. Opportunities and Challenges of Organic Waste Management from the Agroindustrial Sector in South America: Chimborazo Province Case Study. *Commun Soil Sci Plant Anal* [Internet]. 2014;46(sup1):137–56. Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84924965289&partnerID=tZOtx3y1>
10. Vilanova Gisbert E, Sogorb Sánchez MA. Técnicas analíticas de contaminantes químicos: aplicaciones toxicológicas, medioambientales y alimentarias. Ediciones Díaz de Santos; 2004.
11. Skoog DA. Fundamentals of analytical chemistry. Grupo Editorial Norma; 2004.
12. Sogorb Sánchez MA, Vilanova Gisbert E. Técnicas analíticas de contaminantes químicos : aplicaciones toxicológicas, medioambientales y alimentarias. Ediciones Díaz de Santos; 2004. 305 p.
13. Marrugo-Negrete JL, Urango-Cardenas ID, Núñez SMB, Díez S. Atmospheric deposition of heavy metals in the mining area of the San Jorge river basin, Colombia. *Air Qual Atmos Heal*. 2014;7(4):577–88.
14. Mulki M, Yánez O, Jaramillo M, Jácome A, Leiva E, Jaramillo P. Manual para muestreo de aguas y sedimentos. Quito; 1998.
15. Feist B, chemistry BM-F, 2014 undefined. Preconcentration of heavy metals on activated carbon and their determination in fruits by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. Elsevier [Internet]. [cited 2018 Mar 25]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613014349>
16. Amin N-, Hussain A, Alamzeb S, Begum S. Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan, Pakistan. *Food Chem* [Internet]. 2013;136(3):1515–23. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612014628>
17. American Public Health Association, APHA. Water Environment Federation (1992) Standard methods for the examination of water and wastewater. 1996;
18. Islam M, Ahmed M, ... MR-E, 2015 undefined. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. Elsevier [Internet]. [cited 2018 Mar 25]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14003719>
19. US EPA O. Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. [cited 2018 Mar 24]; Available from: <https://www.epa.gov/homeland-security-research/method-2007-determination-metals-and-trace-elements-water-and-wastes>
20. Gil MV, Calvo LF, Blanco D, Sánchez ME. Assessing the agronomic and environmental effects of the application of cattle manure compost on soil by multivariate methods. *Bioresour Technol* [Internet]. 2008 Sep [cited 2018 Mar 3];99(13):5763–72. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852407008528>
21. Paredes C, Medina E, Bustamante MA, Moral R. Effects of spent mushroom substrates and inorganic fertilizer on the characteristics of a calcareous clayey-loam soil and lettuce production. *Soil Use Manag*. 2016;32(4):487–94.
22. Rinaldi S, De Lucia B, Salvati L, Rea E. Understanding complexity in the response of ornamental rosemary to different substrates: A multivariate analysis. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2014;176(September):218–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.011>

23. Torres G, Navarro EA, Languasco J, Campos K, Cuizano N. Estudio preliminar de la fitoremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratioides* (lechuga de agua). Descargado http://cienciaescolar.net/proyectos/wpcontent/uploads/2009/09/Art_14_Torres_lechuga_agua.pdf el. 2007;15.
24. Meng W, Wang Z, Hu B, Wang Z, Li H, Goodman RC. Heavy metals in soil and plants after long-term sewage irrigation at Tianjin China: A case study assessment. *Agric Water Manag* [Internet]. 2016;171:153–61. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037837741630097X>
25. Gaete H, Aránguiz F, Cienfuegos G, Tejos M. Metales pesados y toxicidad de aguas del río Aconcagua en Chile. *Quim Nova*. 2007;30(4):885.
26. Ministerio del Ambiente. Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al Recurso Agua. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes : Recurso Agua. 2014.
27. Ward GM. Molybdenum toxicity and hypocuprosis in ruminants: a review. *J Anim Sci*. 1978;46(4):1078–85.
28. Igarza LM, Auza N. Buenos Aires (Argentina). Fac. de Ciencias Veterinarias) Y (Universidad N del C. Molybdenum in ruminants: a review of the physiological and toxic aspects. Vol. v. 27, *Archivos de Medicina Veterinaria* (Chile). 1995.

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA Y CITOTÓXICA DE ATRANORINA Y DILACTONA DEL ÁCIDO PULVÍNICO: COMPUESTOS FENÓLICOS BIOACTIVOS DEL LÍQUEN *PARMELINA TILIACEA*

Evaluation of the Anti-Inflammatory and Cytotoxic Activity of Atranorine and Dilactone of Pulvine Acid: Bioactive Phenolic Compounds from The Lichen *Parmelina tiliacea*

¹Vinueza Diego, ²Janeta Marco, ¹Pilco Gisela, ¹Acosta Karen, ¹Abdo Susana

¹Laboratorio de Productos Naturales, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km 1 ½, Riobamba-Ecuador.

²Departamento de Farmacología, Facultad de Farmacia, Universitat de València, 46100, Burjassot, Valencia-España

R esumen

Parmelina tiliacea es una especie de líquen de Ecuador que ha sido poco estudiada en relación a sus potenciales aplicaciones. La investigación se llevó a cabo con el objetivo de establecer la actividad antiinflamatoria y citotóxica de *P. tiliacea*, mediante un método celular *in vitro* basado en el uso de una sal de tetrazolio soluble (WST-1) sobre neutrófilos aislados. Las moléculas de atranorina y dilactona del ácido pulvínico fueron aisladas del líquen *P. tiliacea* mediante métodos cromatográficos (cromatografía flash en columna y TLC). Los compuestos fueron identificados con la ayuda de estudios espectroscópicos (UV e IR), cromatográficos (TLC) y pruebas de identificación específicas para compuestos líquénicos usando reactivos químicos establecidos para este tipo de moléculas. Los resultados de actividad citotóxica mostraron una reducción de la viabilidad celular hasta un 15 – 20% a una concentración de 200 µg/mL de ambos compuestos identificados. A la misma concentración de 200 µg/mL, la actividad antiinflamatoria de atranorina, dilactona del ácido pulvínico y ácido acetilsalicílico (control positivo) fueron 75.92±0.73%, 73.65±0.44% y 83.77±0.47%, respectivamente. Este estudio constituye la base para investigaciones posteriores sobre líquenes en el Ecuador.

Palabras claves: *Parmelina tiliacea*, líquen, actividad antiinflamatoria, citotoxicidad, WST-1.

A bstract

Parmelina tiliacea is an Ecuadorian lichen that has been little studied in relation to its potential applications. The research was carried out with the objective of establishing the anti-inflammatory and cytotoxic activity of *P. tiliacea*, by an *in vitro* cell method based on the use of a soluble tetrazolium salt (WST-1) on isolated neutrophils. Atranorin and pulvinic dilactone were isolated from lichen *P. tiliacea* by chromatographic methods (flash column chromatography and TLC). The compounds were identified with the help of spectroscopic studies (UV and IR), chromatographic (TLC) and specific identification tests for lichen compounds using chemical reagents established for this type of molecules. The results of cytotoxic activity showed a reduction of cell viability up to 15-20% in the presence of a concentration of 200 µg/mL of these compounds. At the same concentration of 200 µg / mL, the anti-inflammatory activity of atranorin, dilactone of pulvinic acid and acetylsalicylic acid (positive control) were respectively 75.92±0.73%, 73.65±0.44% and 83.77±0.47%, respectively. This study represents the basis for subsequent lichen research in Ecuador.

Keywords: *Parmelina tiliacea*, líquen, actividad antiinflamatoria, citotoxicidad, WST-1.

Fecha de recepción: 01-dic-2017

Fecha de aceptación: 17-may-2018

INTRODUCCIÓN

Los líquenes son una asociación simbiótica entre un micobionte heterotrófico (hongo) y un fotobionte autótrofo (pareja fotosintética, un alga verde eucariótica o una cianobacteria). Los líquenes en estado seco se caracterizan por una inactivación total de la actividad fotosintética y el intercambio de gases. Al igual que otros organismos poiquilohídricos, la regulación negativa de su metabolismo en estado seco permite que los líquenes mantengan la integridad funcional de sus membranas mediante la inmovilización del citoplasma en una matriz vítrea multicomponente estable. La adición de agua a los líquenes secos puede restaurar su actividad fotosintética en pocos minutos. Muchos estudios han demostrado que las especies de líquenes son notablemente resistentes a las condiciones ambientales extremas, haciendo uso de estrategias de adaptación específicas para hacer frente a las duras condiciones ecológicas. *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Ach. (*P. tiliacea*) es una asociación simbiótica entre *Parmelina* (un género de hongos liquenizados) y el alga *Trebouxia jamesii* (la pareja fotosintética) (1). Los compuestos aislados de líquenes han sido ampliamente estudiados en detalle alrededor de todo el mundo, particularmente en su composición química. Sin embargo, en Ecuador los estudios han sido limitados. La primera investigación en el Ecuador continental está enfocada principalmente en la distribución geográfica de líquenes (2). El primer informe de aislamiento de atranorina reportado fue en *Stereocaulon vesuvianum* (3). Actualmente, un protocolo común de aislamiento de atranorina está relacionado con una investigación de *Cladonia kalbi* (4). Se han estudiado varias actividades biológicas *in vitro* de atranorina aislada de *C. kalbii*, tales como su efecto antioxidante y citoprotector en líneas celulares SH-SY5Y (5). La atranorina

aislada de *Parmotrema saccatilobum* fue ensayada para la inhibición de ciclooxigenasa *in vitro* (6).

Por otra parte, el compuesto dilactona del ácido pulvínico ha sido escasamente estudiado en relación a su potencial aplicación biológica. Los trabajos sobre este compuesto se han centrado en sus cambios estructurales (7) y su caracterización química mediante espectroscopía FT-Raman (8).

A través de esta investigación, se logró determinar la actividad antiinflamatoria y citotoxicidad *in vitro* de dos compuestos aislados del líquen ecuatoriano *P. tiliacea* mediante un ensayo simple utilizando la sal de tetrazolio soluble en agua (WST-1) sobre el modelo celular de neutrófilos aislados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material liquénico y reactivos químicos

La muestra de *P. tiliacea* fue recolectada en Ecuador, provincia de Bolívar, cantón San Miguel, recinto Laguatan, sector S 01° 43' 51.139" W 079° 3' 4.402", a una altitud promedio de 2714 m.s.n.m. Los reactivos Ficol paque, solución modificada de Hanks, Zimosan A y Triton X-100, fueron adquiridos a Sigma-Aldrich, S.L. (USA). La sal de tetrazolio soluble (WST-1) fue adquirida a Roche (USA), el ácido acetilsalicílico a J.T. Baker (USA), el dimetilsulfóxido y cloruro de amonio a Merck (Germany). Cabe remarcar que se usó agua desionizada en todos los procedimientos experimentales.

Aislamiento e identificación de atranorina y dilactona del ácido pulvínico

El aislamiento de los compuestos atranorina y dilactona del ácido pulvínico a partir de *P. tiliacea* (25 g) fue llevado a cabo mediante extracción por reflujo usando etanol (500 mL). Después de someter el extracto a concentración en rotavapor bajo condiciones controladas (45°C and -0.5 bar) se obtuvieron 4.6967 g de residuo sólido. Posteriormente, se llevó a cabo la cromatografía del residuo sólido redissuelto usando un sistema de solventes que consistió en una mezcla de tolueno, acetato de etilo y ácido fórmico (139:83:8). Las fracciones eluidas que contenían el mismo compuesto (comprobado mediante TLC) fueron reunidas. Después de la evaporación del solvente el rendimiento de los compuestos obtenidos fue respectivamente: C1 (23.7 mg) and C2 (21.2 mg).

Los espectros IR fueron registrados en un espectrofotómetro Jasco FT/IR-4100. Los espectros UV fueron re-

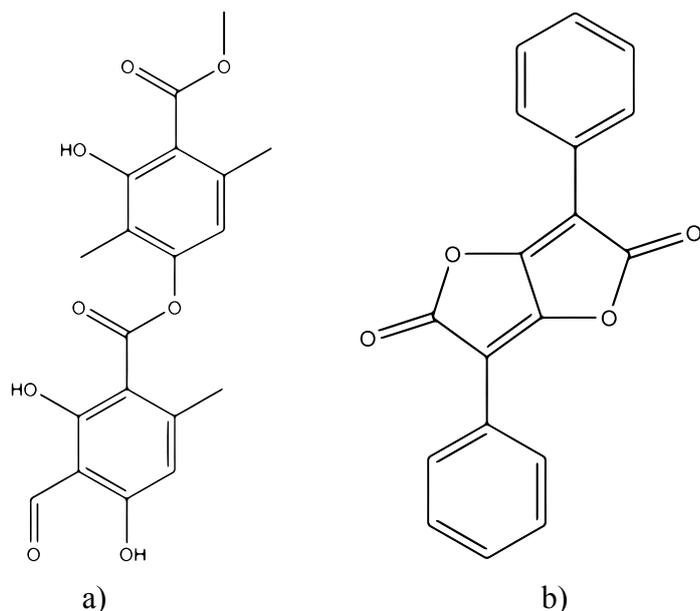


Figura 1. Estructuras de a) Atranorina y b) Dilactona del ácido pulvínico

gistrados en un espectrofotómetro Thermo Spectronic HeλOS-β. La cromatografía se llevó a cabo sobre placas de silica gel 60 F254 (20x20 cm, 0.25 mm, Merck) y los compuestos fueron detectados bajo luz UV (254 y 366 nm), mientras que una solución de ácido sulfúrico al 10% en etanol se usó como reactivo revelador. La placa fue sometida a calentamiento para el desarrollo de las manchas (9-10).

Ensayos de actividad biológica

Se realizó la extracción de muestras frescas de sangre venosa en voluntarios sanos, a partir de las cuales fueron aislados los neutrófilos (11). La sangre fue añadida

al reactivo Ficoll paque, la mezcla obtenida fue centrifugada durante 30 minutos a 1500 rpm. Después de descartar el sobrenadante, las trazas de células rojas sanguíneas fueron lisadas mezclando el pellet con una solución hipotónica de cloruro de amonio (0.83%). La suspensión fue centrifugada nuevamente y los neutrófilos fueron lavados con solución modificada de Hanks (pH 7.4) y resuspendidas a la concentración de 107 células/mL en un volumen apropiado de solución modificada de Hanks (12). Las células metabólicamente activas reducen las sales de tetrazolio para producir compuestos coloreados derivados de formazán; de manera que los ensayos colorimétricos basados en sales de tetrazolio detectarán únicamente células viables. Estos ensayos sensibles pueden ser fácilmente llevados a cabo en un lector de microplacas con un número relativamente bajo de células usando un método modificado (13). En este estudio, los neutrófilos humanos aislados (107 células/mL) fueron incubados con los compuestos de prueba durante 30 minutos; posteriormente, la sal de tetrazolio WST-1 (250 μM) fue añadida y la mezcla fue incubada a 37°C por 3 h. La absorbancia se registró a una longitud de onda de 450 nm. El tensoactivo Triton X-100 (0.1%) fue usado como control negativo exhibiendo 0.00% de viabilidad celular (12). Una solución de DMSO 5% fue usada como blanco mostrando 100.00% de viabilidad celular. Los valores obtenidos son el promedio de cinco repeticiones. El porcentaje de viabilidad celular fue calculado mediante la siguiente fórmula y los resultados se muestran en la Tabla 1:

CONCENTRACIÓN (μg/mL)	VIABILIDAD CELULAR (%)	
	Atranorina	Dilactona del ácido pulvínico
200	14.98±0.75	20.47±0.46
100	24.19±0.29	25.39±0.42
50	42.27±0.30	38.86±0.93
25	71.04±0.33	58.81±1.24
12.5	83.44±0.63	90.67±3.45
LC ₅₀	55.64±1.22	53.19±4.46

Los resultados son el promedio±SD de al menos 5 repeticiones

Tabla 1. Porcentaje de viabilidad celular de los compuestos a diferentes concentraciones.

$$\% \text{ Viabilidad celular} = \frac{\text{OD}_{\text{COMPUESTOS}}}{\text{OD}_{\text{DMSO}}} \times 100$$

La actividad antiinflamatoria fue determinada usando un método modificado (14). Este ensayo in vitro está basado

en la reducción de la sal WST-1 en la presencia de neutrófilos activados. El ensayo antiinflamatorio fue determinado en un volumen total de 250 μL de solución modificada de Hanks (pH 7.4) conteniendo 104 neutrófilos/ μL , 500 μM WST-1 y las concentraciones de los compuestos de prueba o referencia. El blanco estuvo constituido por buffer, neutrófilos y WST-1. Todos los compuestos fueron equilibrados a 37°C y la reacción fue iniciada mediante la adición de Zymosan A opsonizado (15 mg/mL), el cual fue preparado mezclando Zymosan A con suero humano, seguido de centrifugación a 3000 rpm y el pallet fue resuspendido en solución buffer de fosfato. La absorbancia se registró a una longitud de onda de 450 nm (12). Ácido acetilsalicílico fue usado como control positivo, dado que es un antiinflamatorio no esterooidal ampliamente utilizado para el tratamiento de enfermedades inflamatorias (15-16). Los valores de IC_{50} fueron calculados mediante comparación con la solución de DMSO usada como blanco y expresados como porcentaje de inhibición de aniones superóxido producidos.

Análisis de datos

Todos los resultados son expresados como el promedio \pm desviación estándar (SD). Un valor de $P < 0.05$ fue considerado para indicar diferencia significativa. La LC_{50} para el ensayo de citotoxicidad y IC_{50} para el ensayo antiinflamatorio fueron determinados mediante análisis probit. El test de Student y la prueba de ANOVA-Tukey se usaron para comparar diferencias significativas entre los resultados según fue aplicable.

RESULTADOS

Fueron aislados atranorina y la dilactona del ácido pulvínico a partir del liquen *P. tiliacea*, usando técnicas cromatográficas sencillas. Los compuestos fueron

caracterizados mediante espectroscopía UV (Atranorina $\lambda_{\text{máx}}$ nm: 210, 249, 320; dilactona del ácido pulvínico $\lambda_{\text{máx}}$ nm: 241, 275, 369), espectroscopía IR (atranorina $\nu_{\text{máx}}$ cm^{-1} : 3040, 1803, 1667, 1451, 1270; dilactona del ácido pulvínico $\nu_{\text{máx}}$ cm^{-1} : 2945, 2835, 1630, 1599, 1264), pruebas químicas simples (atranorina y dilactona del ácido pulvínico no fueron reactivas con las pruebas químicas estandarizadas para identificación de compuestos liquénicos) así como cromatografía en capa fina (sistemas de solventes A (tolueno, dioxano, ácido acético 180:45:5), B (hexano, éter dietílico, ácido fórmico 130:80:20), C (tolueno, ácido acético 170:30), G (tolueno, etil acetato, ácido fórmico 139:83:8) (atranorina: RfA 75.6, RfB 77.0, RfC 79.0, RfG X y dilactona del ácido pulvínico: RfA 80.3, RfB 83, RfC 89.7, RfG X) (9). En la Fig.2 se muestran las estructuras de los compuestos aislados.

Como se muestra en la Tabla 1, el porcentaje de viabilidad celular disminuye al incrementarse las concentraciones de atranorina y dilactona del ácido pulvínico. No existen diferencias significativas entre las concentraciones evaluadas de atranorina y dilactona del ácido pulvínico ($p < 0.05$ Student t-test). La Tabla 2 indica los porcentajes de actividad antiinflamatoria de los compuestos aislados (atranorina y dilactona del ácido pulvínico). Se demuestra una relación directamente proporcional entre

CONCENTRACIÓN ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	ACTIVIDAD ANTIINFLAMATORIA (%)	
	Atranorina	Dilactona del ácido pulvínico
200	75.92 \pm 0.73	73.65 \pm 0.44
100	63.77 \pm 0.54	54.88 \pm 1.08
50	46.15 \pm 0.63	37.52 \pm 0.91
25	27.22 \pm 1.04	21.86 \pm 0.29

Los resultados son el promedio \pm SD de al menos 5 repeticiones

Tabla 2. Porcentaje antiinflamatorio de los compuestos a diferentes concentraciones.

COMPUESTO	INHIBICIÓN A 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (%)	$\text{IC}_{50}\pm\text{SDa}$ ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
Atranorina	75.92 \pm 0.73	61.21 \pm 4.00
Dilactona del ácido pulvínico	73.65 \pm 0.44	80.26 \pm 4.93
Ácido acetilsalicílico	83.77 \pm 0.47*	2.49 \pm 0.19

a SD fue la desviación estándar de 5 ensayos, *Valores significativos, $P < 0.05$, usando el test de Tukey.

Tabla 3. Valores de IC_{50} ($\mu\text{g}/\text{mL}$) de los compuestos y el control positivo a 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$

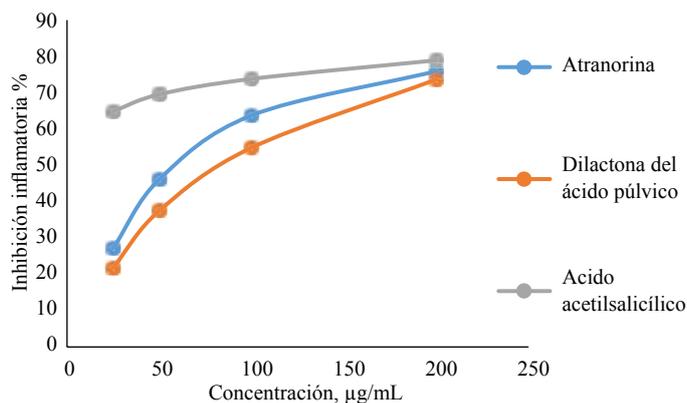


Figura 2. Comportamiento antiinflamatorio de los compuestos aislados y referencia.

la actividad antiinflamatoria y concentración de las sustancias de prueba; sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las concentraciones ensayadas ($p < 0.05$ Student t-test). En la Tabla 3, se muestra la actividad antiinflamatoria expresada como IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) de los compuestos obtenidos (atranorina y dilactona del ácido púlvínico), como del control positivo a una concentración de $200 \mu\text{g/mL}$. Finalmente, existe la posibilidad de que las diferencias entre los valores promedio de actividad antiinflamatoria entre los compuestos obtenidos y la referencia (control positivo); muestren una diferencia significativa a la concentración de 200 mg/kg ($p < 0,001$ Tukey test).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fortalecen las hipótesis planteadas en investigaciones precedentes sobre el potencial efecto antiinflamatorio asociado a la molécula atranorina, dado que según aquellas el efecto positivo de la atranorina sobre la respuesta inflamatoria podría estar relacionado con la inhibición inducida por la atranorina sobre la actividad de la ciclooxigenasa (COX-1 y COX-2) (6) y el bloqueo de la biosíntesis del leucotrieno B4 (17), lo que podría conducir a un efecto antiinflamatorio (18). Adicionalmente, en un estudio recopilatorio sobre el efecto de varias moléculas para combatir el dolor, se establece que aquel efecto en el caso de la atranorina podría deberse a la inhibición de la liberación de sustancia P o a una acción de bloqueo directo sobre su receptor de neuroquinina 1 (NK-1) (19). Asimismo, se sugiere un posible efecto antinociceptivo de la atranorina para actuar periféricamente sobre los mediadores inflamatorios, especialmente prostaglandinas (4). Los mecanismos precisos a través de los

cuales la atranorina ejerce su acción están actualmente bajo investigación, pero posiblemente podrían estar relacionados con la cascada de ácido araquidónico y/o la modulación de la producción de moléculas proinflamatorias (20-21).

Numerosos líquenes contienen pigmentos amarillos o anaranjados que se componen de dos unidades de fenilpropano, en las que la unidad C3 de estos ácidos derivados de líquenes es isopropilo en lugar de propilo (22). Los derivados de ácido vulpínico, un éster metílico del prototipo de ácido pulvínico, fueron de las primeras moléculas liquénicas en ser evaluadas como agentes antiinflamatorios mediante la prueba de artritis adyuvante en ratas (23). En cuanto a la dilactona del ácido pulvínico la información disponible determina su importancia como una sustancia responsable de efectos fotoprotector y cardiotónico (24). El efecto antiinflamatorio de la dilactona del ácido pulvínico se suma a las actividades demostradas para esta sustancia, sin embargo; son necesarios mayores esfuerzos para determinar los mecanismos mediante los cuales ejerce su acción en términos moleculares. Finalmente, la citotoxicidad de las sustancias aisladas no presentó diferencias estadísticamente significativas, lo cual constituye una medida relativa de la seguridad del uso potencial de estas moléculas para combatir trastornos inflamatorios.

CONCLUSIONES

Los compuestos atranorina y dilactona del ácido pulvínico fueron satisfactoriamente aislados del líquen *P. tiliacea* mediante extracción con reflujo y técnicas cromatográficas. Los compuestos fueron identificados mediante espectroscopía UV, IR, cromatografías (TLC) y pruebas químicas de identificación para compuestos liquénicos, puesto que los máximos de absorción (nm) del espectro UV y las bandas de absorción en IR (cm^{-1}) corresponden a investigaciones

preliminares de estas moléculas (8-9) (25-26). Los resultados indican que los compuestos liquénicos aislados de *P. tiliacea* muestran una apreciable actividad antiinflamatoria bajo el modelo experimental. Sin embargo, no alcanzan el mismo nivel de actividad antiinflamatoria que el compuesto de referencia (ácido acetilsalicílico) como se muestra en la Fig.2. A pesar de lo anterior, el potencial de estos compuestos para utilizarlos en el futuro como candidatos a fármacos antiinflamatorios resulta evidente. Además, aunque según el “Catalogue of standardized chromatographic data and biosynthetic relationships for lichen substances” publicado por John A. Elix

(9), la identidad de un compuesto liquénico desconocido puede ser confirmada solamente mediante TLC comparativa en al menos tres sistemas de solvente. Se recomienda para posteriores investigaciones realizar estudios de los compuestos aislados mediante HPLC/MS para tener un 100% de confirmación estructural.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindar las instalaciones para llevar a cabo esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

R eferencias

1. Oukarroum A, El Gharous M, Strasser RJ. Does *Parmelina tiliacea* lichen photosystem II survive at liquid nitrogen temperatures? *Cryobiology* [Internet]. 2017 [citado el 22 Enero 2018]; 74: 160–2. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cryobiol.2016.12.005>.
2. Cevallos-Solórzano G. Checklist de líquenes y hongos liquenícolas de Ecuador continental. 2012. Conservación de la Diversidad Biológica. Universidad Rey Juan Carlos; 37 p.
3. Bolognese A, Chioccare F, Scherillo G. Phytochemical reports. *Phytochemistry*. 1974; 13: 1989–90.
4. Melo MGD, Araújo AAS, Rocha CPL, Almeida EMSA, Siqueira RDS, Bonjardim LR, et al. Purification, physicochemical properties, thermal analysis and antinociceptive effect of atranorin extracted from *Cladonia kalbii*. *Biol Pharm Bull*. 2008; 31(10): 1977–80.
5. Melo MGD, dos Santos JPA, Serafini MR, Caregnato FF, de Bittencourt Pasquali MA, Rabelo TK, et al. Redox properties and cytoprotective actions of atranorin, a lichen secondary metabolite. *Toxicol Vitro*. 2011; 25(2): 462–8.
6. Bugni TS, Andjelic CD, Pole AR, Rai P, Ireland CM, Barrows LR. Biologically active components of a Papua New Guinea analgesic and anti-inflammatory lichen preparation. *Fitoterapia*. 2009; 80(5): 270–3.
7. Ijima H, Ebizuka Y, Sankawa U, Yamamoto E, Towers GHN. An inducible lactone hydrolase yielding 2,5-diphenyl-3-hydroxy-4-oxo-2hexendioic acid from pulvinic acid. *Phytochemistry*. 1983; 22(2): 371–4.
8. Fernandes RF, Ferreira GR, Spielmann AA, Edwards HGM, De Oliveira LFC. FT-Raman spectroscopy of the *Candelaria* and *Pyxine* lichen species: A new molecular structural study. *J Mol Struct* [Internet]. 2015 [citado el 22 Enero 2018]; 1102: 57–62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molstruc.2015.08.040>
9. Elix JA. A catalogue of standardized chromatographic data and biosynthetic relationships for lichen substances. Third Edition. Published by the author, Canberra (Australia). 2014. 323 p.
10. Huneck S, Yoshimura I. Identification of Lichen Substances. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1996. 493 p.
11. Siddiqui RA, English D, Harvey K, Cui Y, Martin MI, Wentland J, et al. Phorbol ester-induced priming of superoxide generation by phosphatidic acid-stimulated neutrophils and granule-free neutrophil cytoplasts. *J Leukoc Biol*. 1995; 58(2): 189–95.
12. Choudhary MI, Jalil AS, Rahman A. Bioactive phenolic compounds from a medicinal lichen, *Usnea longissima*. *Phytochemistry*. 2005; 66: 2346–50.

13. Berridge M V, Tan ANS, McCoy KD, Wang RUI. The Biochemical and Cellular Basis of Cell Proliferation Assays That Use Tetrazolium Salts. *Biochemica*. 1996; (4): 14–9.
14. Tan AS, Berridge M V. Superoxide produced by activated neutrophils efficiently reduces the tetrazolium salt, WST-1 to produce a soluble formazan: a simple colorimetric assay for measuring respiratory burst activation and for screening anti-inflammatory agents. *J Immunol Methods*. 2000; 238: 59–68.
15. Macdonald TM, Beard K, Bruppacher R, Hasford J, Lewis M, Logan RF, et al. The safety of drugs for OTC use: what evidence is required for an NSAID switch? *Pharmacoepidemiol Drug Saf*. 2002; (11): 577–84.
16. Martin C, Connelly A, Keku TO, Mountcastle SB, Galanko J, Woosley JT, et al. Nonsteroidal Anti-inflammatory Drugs, Apoptosis, and Colorectal Adenomas. *Gastroenterology*. 2002; (123): 1770–7.
17. Kumar KC S, Müller K. Lichen metabolites. 2. Antiproliferative and cytotoxic activity of gyrophoric, usnic, and diffractaic acid on human keratinocyte growth. *J Nat Prod*. 1999; 62(6): 821–3.
18. Barreto RSS, Albuquerque-Júnior RLC, Pereira-Filho RN, Quintans JSS, Barreto AS, DeSantana JM, et al. Evaluation of wound healing activity of atranorin, a lichen secondary metabolite, on rodents. *Brazilian J Pharmacogn [Internet]*. 2013 [citado el 22 Enero 2018]; 23(2): 310–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000010>
19. Holanda Pinto SA, Pinto LMS, Guedes MA, Cunha GMA, Chaves MH, Santos FA, et al. Antinociceptive effect of triterpenoid α,β -amyrin in rats on orofacial pain induced by formalin and capsaicin. *Phyto-medicine*. 2008; 15(8): 630–4.
20. Siqueira RS, Bonjardim LR, Araújo AAS, Araújo BES, Melo MGD, Oliveira MGB, et al. Antinociceptive activity of atranorin in mice orofacial nociception tests. *Zeitschrift für Naturforsch - Sect C J Biosci*. 2010; 65 C(9–10): 551–61.
21. Siqueira-Lima PS, Silva JC, Quintans JSS, Antonioli AR, Shanmugam S, Barreto RSS, et al. Natural products assessed in animal models for orofacial pain – a systematic review. *Rev Bras Farmacogn [Internet]*. 2017 [citado el 22 Enero 2018]; 27(1): 124–34. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0102695X16301879>
22. Müller K. Pharmaceutically relevant metabolites from lichens. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2001; 56(1–2): 9–16.
23. Foden FR, McCormick J, O'Mant DM. Vulpinic Acids as Potential Antiinflammatory Agents. 1. Vulpinic Acids with Substituents in the Aromatic Rings. *J Med Chem*. 1975; 18(2): 199–203.
24. Atta-ur-Rahman. *Studies in Natural Products Chemistry*. First edit. Elsevier B.V.; 2013. 476 p.
25. Manojlović N, Ranković B, Kosanić M, Vasiljević P, Stanojković T. Chemical composition of three *Parmelia* lichens and antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of some their major metabolites. *Phytomedicine*. 2012; 19(13): 1166–72.
26. Edwards HGM, Newton EM, Wynn-Williams DD. Molecular structural studies of lichen substances II: Atranorin, gyrophoric acid, fumarprotocetraric acid, rhizocarpic acid, calycin, pulvinic dilactone and usnic acid. *J Mol Struct*. 2003; 651–53: 27–37.

MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Mathematical Modeling of The Hydraulic System of The Potable Water Network of The City of Riobamba

¹Chuquín Nelson*, ¹Chuquín Daniel, ¹Miño Gloria, ¹Chuquín Juan, ²Soriano Javier

¹Grupo de Investigación en seguridad, ambiente y energía. Facultad de Mecánica.
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador.

²Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.
Valencia - España.

*nelson.chuquin@epoch.edu.ec

Resumen

Los sistemas de distribución de agua potable constituyen una pieza clave en el bienestar y el desarrollo de una población, siendo importante el estudio técnico y minucioso de la misma. El objetivo del estudio fue desarrollar un modelo hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Riobamba, la cual se encuentra distribuido en 9 sectores, misma que suministra el recurso alrededor de 249.891 habitantes.

El modelo desarrollado que simula el comportamiento de la red se realizó en conjunto con la colaboración de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Riobamba (EMAPAR). Para determinar la eficiencia del modelo se compararon los resultados del modelo desarrollado, con los registrados por la empresa municipal, comprendidos entre los años 2014 y 2015. El estudio en este sentido es de vital importancia, en vista que constituye una herramienta funcional para el análisis dinámico de la red de abastecimiento. De este modo se evaluará puntos estratégicos de la red, donde se evidencia presiones altas en el sistema, mismas que ocasionan fugas en la red disminuyendo su eficiencia volumétrica y aumentando los costos de explotación y distribución del recurso.

El software empleado para la simulación es EPANET (Rosman, 2002) que es una de las herramientas más utilizada para la simulación de redes de abastecimiento de agua, el cual permite al usuario llevar a cabo simulaciones en estado estacionario y en estado dinámico con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico del sistema.

Palabras claves: EPANET, modelo, red de simulación, simulación.

Abstract

Distribution systems of drinking water are a key element in the well-being and development of a population, being important the technical and meticulous study of them. The goal of this study was to develop a hydraulic model of the water supply network of the Riobamba City, which is distributed in 9 sectors, and supplies the resource around 249,891 inhabitants. The model developed to simulate the behavior of the network was carried out in conjunction with the collaboration of the municipal water and sewage company of the city of Riobamba (EMAPAR). To determine the Model's efficiency, the results of it, were compared with those of the municipal company between the years 2014 and 2015. The study

in this sense is of vital importance, since it constitutes a functional tool for the dynamic analysis of the supply network. In this way, strategic points of the network will be evaluated, where high pressures in the system are evidenced, which cause leaks in the network reducing its volumetric efficiency and increasing the costs of exploitation and distribution of the resource.

The software used for the simulation is EPANET (Rosman, 2002), which is one of the most used tools for the simulation of water supply networks, this allows the user to carry out simulations in steady state and in dynamic state with the to evaluate the hydraulic behavior of the system.

Keywords: EPANET, model, simulation network, simulation.

Fecha de recepción: 03-nov-2017

Fecha de aceptación: 21-may-2018

INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de agua son infraestructuras hidráulicas que están constituidas por bombas, tanques, reservorios y válvulas. El análisis y modelación a través de modelos hidráulicos en la actualidad están constituyendo una herramienta confiable y eficaz en la toma de decisiones, además de la creación de diferentes escenarios que promuevan en forma conjunta una mejora en el rendimiento, confiabilidad del diseño y eficacia en el suministro de agua potable [1]. Estos modelos son capaces de determinar la velocidad de los flujos, pérdidas unitarias y presiones a lo largo de toda una red para diferentes escenarios de simulación, tales como la variación de los niveles de agua en los depósitos o tanques reservorios, condiciones de las conducciones, esqueletizaciones o ramificaciones de la red, entre otras, y esto lo ejecuta resolviendo interna y simultáneamente ecuaciones de conservación de masa para cada nodo y relacionando la pérdida de carga para cada tubería en la red [2].

El análisis y diseño de redes resulta realmente complejo cuando se tienen redes malladas de abastecimiento como generalmente ocurre en las metrópolis, sin embargo, el comportamiento de la red puede ser descrito por medio de una secuencia de condiciones de estado estacionario, los cuales resultan determinantes para evaluar la adecuación y sistematización de una red. [3]

En los modelos empleados, las ecuaciones hidráulicas son conocidos de tal manera que describen los principales parámetros hidráulicos, tales como: caudal, velocidad y presión de flujo en toda la red de abastecimiento, o ya sea en los nudos de consumo principales, cuyo desempeño será mostrado a través de gráficas tabuladas con objetivos de evaluación [1].

El éxito o fracaso del modelo, respecto a la eficiencia de este, depende directamente de la estimación, de un análisis implícito de sensibilidad de los inputs o parámetros de entrada utili-

zados para generar el modelo, así como también de la calibración y validación de este [4,5].

Los modelos de redes de suministro de agua se construyen en función de 2 elementos importantes que son las líneas y los nodos, donde cada línea representa las tuberías del sistema de abastecimiento que estarán interconectadas con los nudos, y cada nudo representa los puntos de consumo de la red [6].

Los nudos de consumo pueden ser de 2 tipos, independientes de la presión (función del volumen) y los que son dependientes de la presión, es decir aquellos donde el suministro de agua depende de la presión hidráulica disponible, por esta razón para obtener resultados más confiables los modelos hidráulicos deben incluir fugas que indudablemente se generan a lo largo de la red de abastecimiento [7].

Las fugas representan pérdidas de agua que es necesario tenerlas en cuenta en la modelación, dado que una red mal gestionada puede reportar valores superiores al 50% del volumen de entrada de agua al sistema [8-10]. A grosso modo, la pérdida de agua en una red de abastecimiento es difícil de cuantificar y localizar, sin embargo, para incluirlas en un modelo hidráulico, generalmente se considera que esta, puede ser distribuida en proporciones iguales en todos los nodos de consumo que componen la red, disminuyendo de esta manera la incertidumbre en la modelación [11]. Además,

es importante considerar que las características hidráulicas varían espacial y temporalmente en función del patrón de demandas o de la disponibilidad de recurso.

EPANET [12] es una de las herramientas más utilizadas para la simulación de redes de abastecimiento de agua, este permite al usuario llevar a cabo simulaciones tanto en estado estacionario como en estado dinámico con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico del sistema y la calidad del agua a lo largo de un período de tiempo en una red de suministro a presión. Este software fue el empleado para el desarrollo del Modelo Hidráulico de la Ciudad de Riobamba.

Área de Estudio

La ciudad de Riobamba está situada a una distancia de 196 Km de Quito (Capital del Ecuador), se encuentra a una altura de 2.750 msnm, cuenta con 225.741 habitantes (INEC,2010).

El consumo promedio mensual de la localidad se estima en 1.18 Hm³. Por las características de la zona y la disponibilidad del fluido la red de distribución se encuentra sectorizada (9 sectores), de tal forma que se mantiene un control por áreas del caudal mensual que demanda y consume cada zona. La particularidad de la red es la presencia de depósitos atmosféricos que distribuyen el agua por gravedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para la elaboración del modelo hidráulico sigue el proceso que se ilustra en la Figura.1

Recopilación de datos y Esqueletización de la red

Los parámetros hidráulicos para la modelación, en lo que respecta a trazado de la red, diámetros, topología y demandas urbanas, se fundamenta en el estudio realizado por Yépez (2014) [13]. Sin embargo, previo a la carga del modelo la base de datos fue depurada a través del

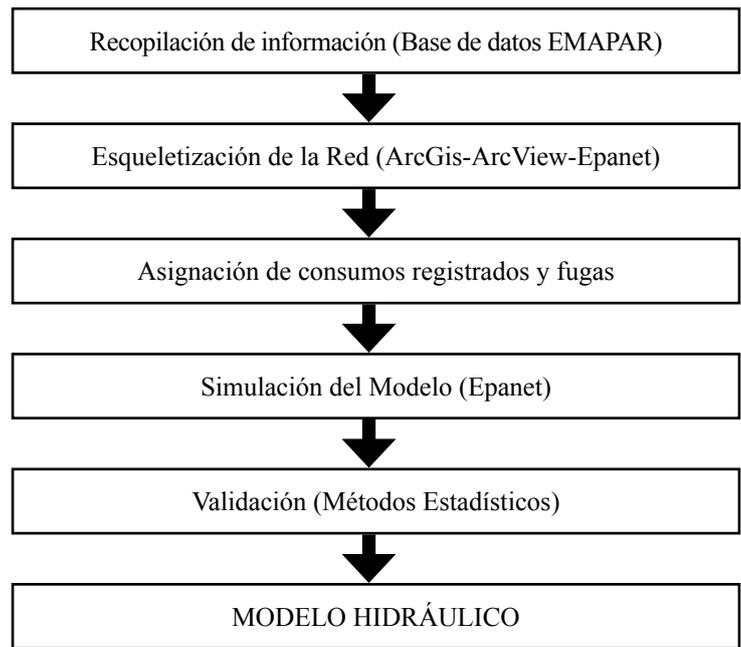


Figura 1. Etapas en la elaboración del Modelo

software ArcView y GisRed para localizar posibles fallos de unión del conjunto tubería – nudo.

Asignación de los consumos y fugas registradas en cada nudo

Las demandas en los nudos de consumo son fundamentales en las simulaciones, de ellas depende el caudal inyectado y consumido por la red, la fluctuación de nivel de los depósitos, y fundamentalmente la presión disponible en cada nudo. Con el fin de crear un modelo que represente con mayor exactitud las condiciones reales del sistema, se consideraron fugas en el sistema y las mismas fueron analizadas como dependientes de la presión, proponiendo un coeficiente global de fugas y ajustándolo a cada nudo mediante un valor de longitud ponderada de las tuberías [15].

$$Q_f = K_f \sum_{i=1}^{N_j} L_i = (K_i)^a \tag{1}$$

$$L_i = \frac{L_i}{L_r} \tag{2}$$

En la Ec.1, QF es el caudal de fugas, Kf es el coeficiente global de fugas, Nj es el número total de nudos en el modelo, Li es el factor de ponderación de longitud, Pi es la presión en el nudo i, α es el exponente de fugas (para este proyecto se considera el valor de 0.5), mientras que en la Ec.2, Li es el 50 % de la longitud de las tuberías conectadas al nudo i, Lt es la longitud total de las tuberías del modelo. Los coeficientes emisores (Figura.2) fue determinante para la calibración del modelo y se calculó multiplicando el factor global de fugas por la ponderación de la longitud de las tuberías conectadas a cada nudo en particular.

Simulación en estado estacionario y dinámico

La simulación tanto en estado estacionario como dinámico a través del software EPANET, permitió observar la evolución de los caudales, presiones, pérdidas unitarias y velocidades a través de las tuberías y nudos de consumo para cada zona sectorizada del sistema. En referencia a la simulación en estado dinámico, se realizó a escala horaria para un total de 168 horas.

Validación del Modelo

Los resultados de las simulaciones son válidos siempre y cuando los datos que se obtienen del modelo reproducen con un cierto grado de confianza las características hidráulicas de la red. Para dar el modelo como válido se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en 8 puntos estratégicos de la red (1 por cada sector) a intervalos de medición de 12 horas (8H00 – 20H00), durante 7 días donde es posible la monitorización, registro de caudales y velocidades en la red. A partir del ANOVA se evaluó las medias de las variables hidráulicas (presión, velocidad) en cada sector considerando que la presión y velocidad media en cada punto de control es igual a las presiones y velocidades medias de los datos obtenidos del modelo (hipótesis nula).

Además, con el objeto de fortalecer el análisis de varianza y validar la efectividad del modelo hidráulico, se realizó la prueba de rangos múltiples (Test LSD Fisher) para determinar las diferencias de medias posibles, la homogeneidad y valoración de los datos respecto al umbral de velocidades y presiones medias registradas en el sistema. En los dos casos se estableció un intervalo de confianza del 95%.

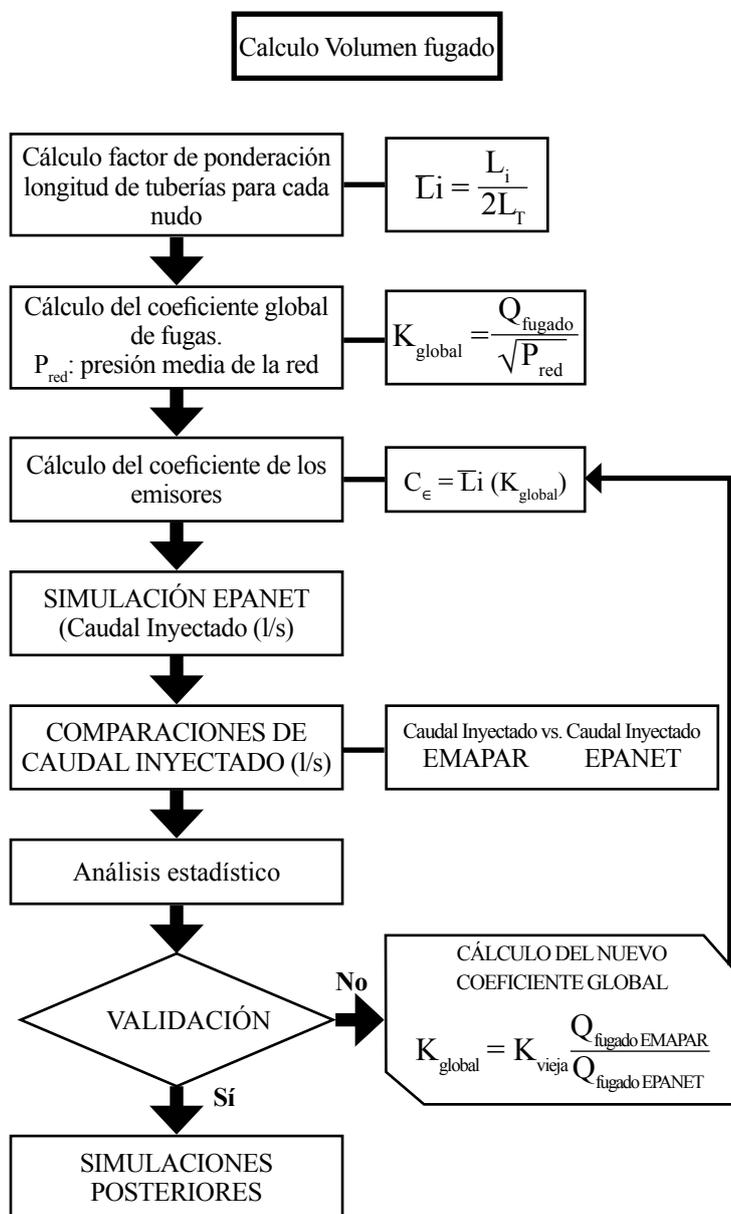


Figura 2. Flujograma para el cálculo de los coeficientes emisores.

Sector	Punto Monitoreado	Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamiento	P2	Entre grupos	131.508	1	131.508	3.08	0.081
		Intra grupos	7687.44	180	42.708		
		Total (Corr)	7818.95	181			
Tapi	P4	Entre grupos	2.69218	1	2.69218	0.21	0.6492
		Intra grupos	2334.37	180	12.9687		
		Total (Corr)	2337.06	181			
Recreo	P6	Entre grupos	16.3599	1	16.3599	2.53	0.1137
		Intra grupos	1165.84	180	6.47687		
		Total (Corr)	1182.2	181			
Carmen	P8	Entre grupos	9.61848	1	9.61848	2.33	0.1288
		Intra grupos	743.667	180	4.13149		
		Total (Corr)	753.286	181			
Saboya	P10	Entre grupos	75.7298	1	75.7298	2.87	0.092
		Intra grupos	4750.08	180	26.3893		
		Total (Corr)	4825.81	181			
Maldonado	P12	Entre grupos	58.0936	1	58.0936	3.73	0.0549
		Intra grupos	2800.1	180	15.5561		
		Total (Corr)	2858.19	181			
Veranillo	P14	Entre grupos	49.3812	1	49.3812	3.69	0.0564
		Intra grupos	2411.27	180	13.3959		
		Total (Corr)	2460.65	181			
Piscin	P16	Entre grupos	10.9227	1	10.9227	3.13	0.0786
		Intra grupos	628.381	180	3.491		
		Total (Corr)	639.303	181			
Yaruquies	P18	Entre grupos	45.5112	1	45.5112	2.91	0.0897
		Intra grupos	2814.31	180	15.635		
		Total (Corr)	2859.82	181			

Tabla 1. ANOVA (Presión: Registradas - EPANET)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Presiones en la Red

Las mediciones in situ empleadas para la comparación y validación del modelo se realizó en 9 puntos estratégicos de la red en función de la accesibilidad a los puntos de monitorización. En la Tabla 1 se muestra el análisis de varianza, se acepta la hipótesis nula con un intervalo de confianza del 95%, como se evidencia en cada punto monitoreado (P2, P4, P6, P8, P10, P12, P14, P16, P18) el valor de P en todos los casos fue mayor a 0.05, por tanto, estadísticamente no existe una diferencia significativa entre las medias de los datos monitoreados en la red y lo

simulados en EPANET con un nivel de significancia del 5%.

En la Tabla 2 y Figura.3, la prueba de rangos múltiples además corrobora la homogeneidad de los datos comparados, no existe según los resultados del análisis una diferencia significativa entre los conjuntos de datos, el método empleado fue el de diferencia mínima significativa (LSD) con el cual hay un riesgo del 5% al decir que los pares de datos obtenidos de EPANET son significativamente diferentes a los datos registrados en la red en los puntos de control.

El análisis de presiones deduce que el modelo desarrollado reproduce con un bajo grado de incertidumbre el comportamiento real de la red de suministro. Los resultados de la simulación indican que existen ciertos sectores donde se tienen valores superiores a 50 mca (Nudos Rojos – Figura.4), presiones excesivamente altas, que podrían ocasionar fisuras en la red, lo cual aumentaría

Sector	Punto Registro	Casos	Media (mca)	Grupos Homogéneos	Diferencia	+/- Límites
Tratamiento	P2-EPANET	91	83.9	X	-1.70008	1.91173
	P2-Observado	91	85.6001	X		
Tapi	P4-EPANET	91	50.1294	X	-0.243246	1.05347
	P4-Observado	91	50.3727	X		
Recreo	P6-EPANET	91	36.9003	X	0.599631	0.744484
	P6-Observado	91	37.4999	X		
Carmen	P8-EPANET	91	19.8	X	0.459777	0.594602
	P8-Observado	91	20.2598	X		
Saboya	P10-EPANET	91	54.9499	X	1.29011	1.50275
	P10-Observado	91	56.2401	X		
Maldonado	P12-EPANET	91	51.9501	X	1.12995	1.15378
	P12-Observado	91	53.08	X		
Veranillo	P14-EPANET	91	35.9818	X	1.04178	1.07068
	P14-Observado	91	37.0236	X		
Piscin	P16-EPANET	91	25.83	X	0.489959	0.546573
	P16-Observado	91	26.32	X		
Yaruquies	P18-EPANET	91	61.5999	X	1.00012	1.1567
	P18-Observado	91	62.6001	X		

Tabla 2. Prueba de Rangos Múltiples (P-Registradas y P-EPANET)

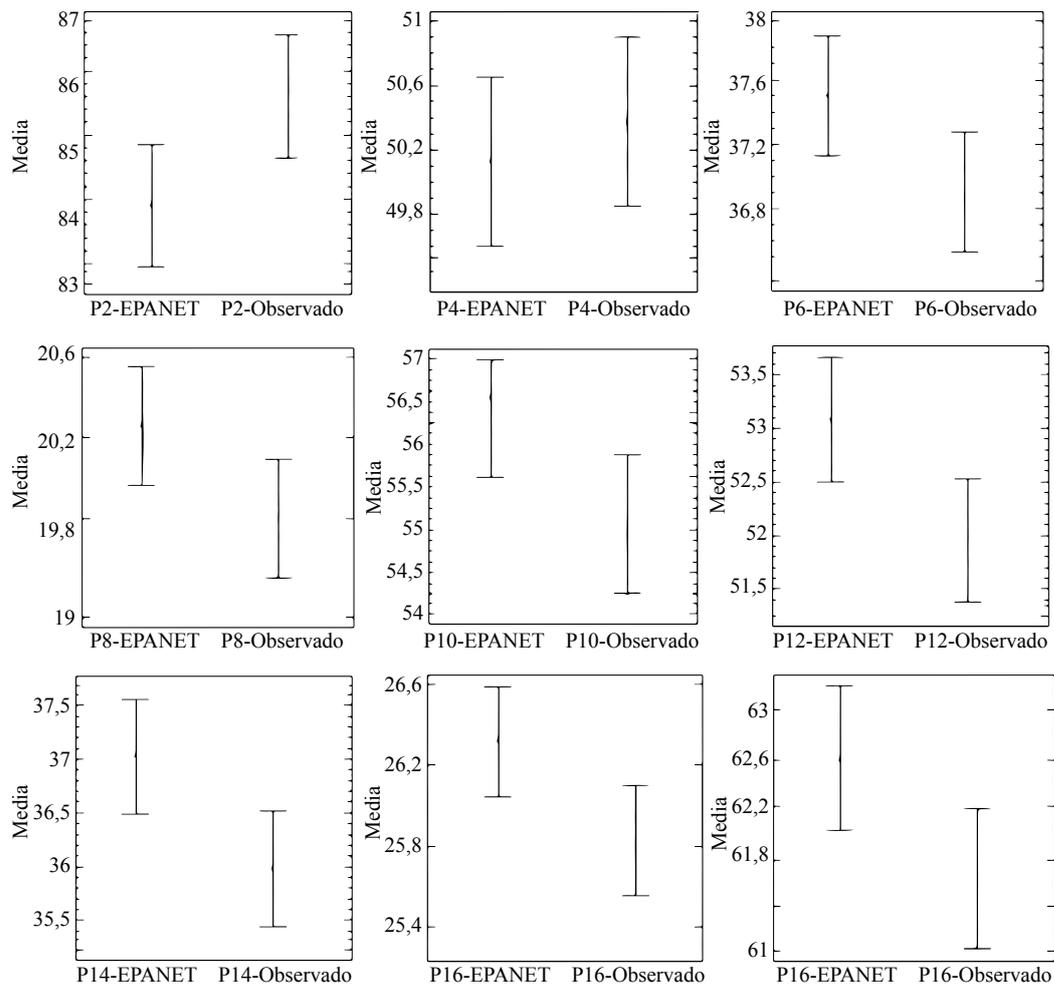


Figura 3. Medias (95% de Fisher LSD)

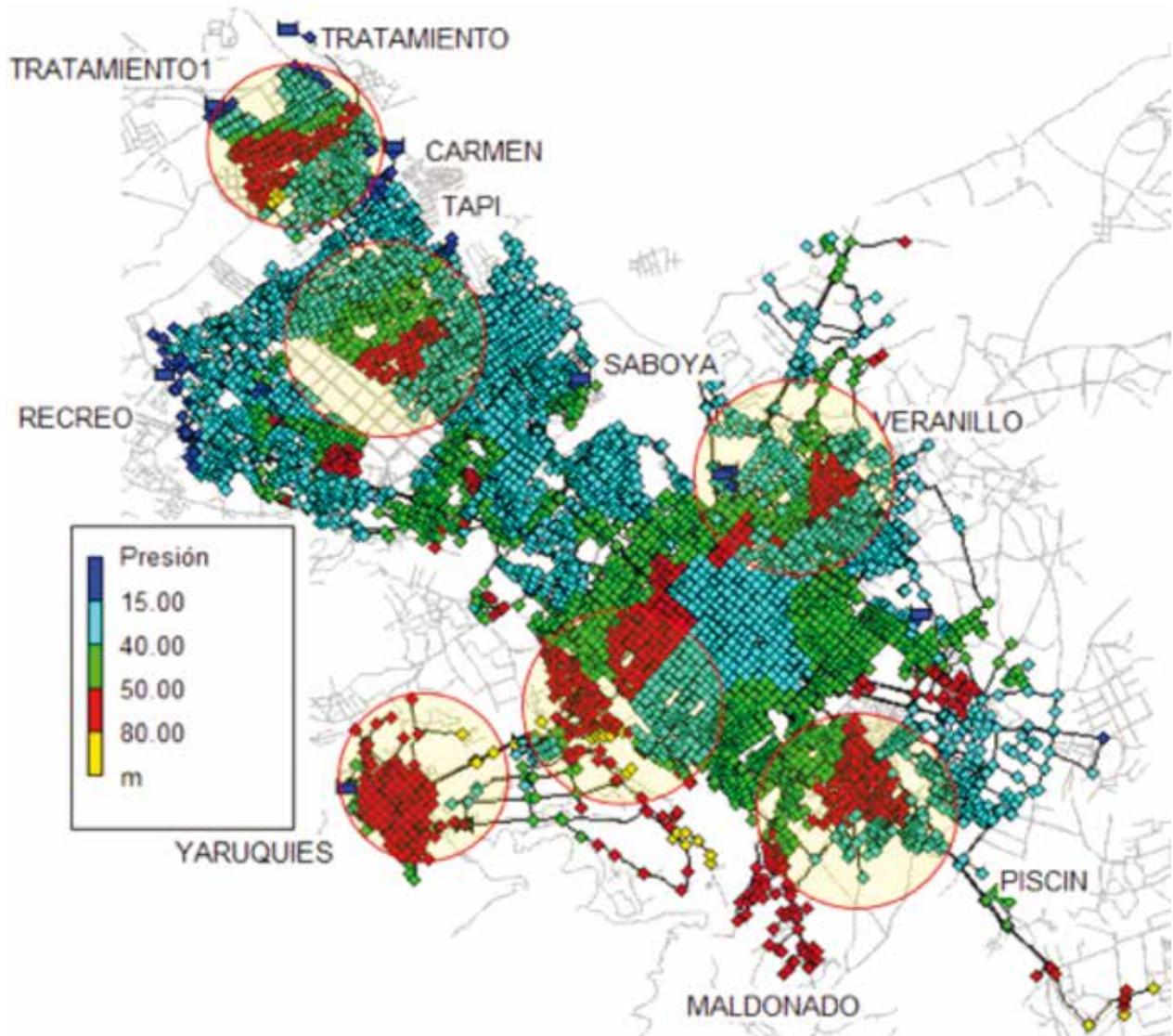


Figura 4. Presiones en la red (Modelo EPANET)

el volumen de agua fugado. Además, el modelo señala que existen puntos donde se tienen presiones del rango de 0 a 15 mca (Nudos Azules – Figura.4), siendo 20 mca la presión recomendada por la AWWA (The American Water Works Association) para evitar posibles intrusiones patógenas y la consecuente contaminación del agua [15].

Estudio de velocidades

La validación de las velocidades del agua en la red se realizó en función de la velocidad media en la tubería principal de cada sector. El análisis de varianza indicó que no existe una diferencia sig-

nificativa entre las velocidades medias (valores de $P > 0.05$) registradas en la red y las obtenidas con el modelo de EPANET (Tabla 3). En la Tabla 4 se especifica la media para cada par de datos y en la misma se detallan intervalos de medida (LSD) bajo las cuales las medias se solaparán el 95% de las simulaciones realizadas.

La validación del modelo y la simulación extendida posteriori, mostró que el agua en la red adquiere velocidades del rango (0 – 3 m/s), evidenciándose además que la mayor parte de la red en determinadas horas (baja demanda) la velocidad adquiere valores por debajo de 0.10 m/s (Líneas Azules – Figura.5), causando efectos contraproducentes en el funcionamiento ideal del sistema, dado que en estas condiciones se favorece la sedimentación de partículas y la acumulación de biofilm en las paredes de las tuberías en el caso que existan averías en la red. Además, estas velocidades bajas promueven el aumento de

Sector	Punto Monitoreado	Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamiento	P2	Entre grupos	0.00309066	1	0.00309066	0.1	0.7505
		Intra grupos	5.48748	180	0.030486		
		Total (Corr)	5.49057	181			
Tapi	P4	Entre grupos	0.00284835	1	0.00284835	0.08	0.773
		Intra grupos	6.14434	180	0.0341352		
		Total (Corr)	6.14719	181			
Recreo	P6	Entre grupos	0.0121984	1	0.0121984	0.41	0.524
		Intra grupos	5.3873	180	0.0299294		
		Total (Corr)	5.3995	181			
Carmen	P8	Entre grupos	0.00184835	1	0.00184835	0.03	0.8648
		Intra grupos	11.4472	180	0.0635955		
		Total (Corr)	11.449	181			
Saboya	P10	Entre grupos	0.00106374	1	0.00106374	0.01	0.911
		Intra grupos	15.275	180	0.084861		
		Total (Corr)	15.276	181			
Maldonado	P12	Entre grupos	0.00184835	1	0.00184835	0.03	0.8633
		Intra grupos	11.1942	180	0.0621899		
		Total (Corr)	11.196	181			
Veranillo	P14	Entre grupos	0.00406374	1	0.00406374	0.13	0.7159
		Intra grupos	5.50665	180	0.0305925		
		Total (Corr)	5.51071	181			
Piscin	P16	Entre grupos	0.000494505	1	0.000494505	0.01	0.9089
		Intra grupos	6.78294	180	0.037683		
		Total (Corr)	6.78344	181			
Yaruquies	P18	Entre grupos	0.107829	1	0.107829	3.18	0.0763
		Intra grupos	6.10731	180	0.0339295		
		Total (Corr)	6.21514	181			

Tabla 3. ANOVA (Velocidades Medias: Registradas - EPANET)

tiempo de residencia del agua en la red, disminuyendo en este sentido la eficiencia de la desinfección (pérdida de la calidad del agua) como consecuencia de la degradación del cloro en la red.

Las velocidades bajas tienen lugar por la existencia de tuberías sobredimensionadas (400 – 600 mm), en cuanto a las velocidades máximas (Líneas Amarillas – Figura.5), de acuerdo con el análisis en período extendido se observan valores por encima de 1.5 m/s en horas donde (8H00, 13H00, 20H00) se tienen picos de caudales por las altas demandas, causando en este aspecto importantes pérdidas de carga en forma de energía.

Estudio de pérdidas unitarias

Este análisis permitió localizar aquellas tuberías que actúan como cuellos de botella disipando energía. Se ha

elegido un factor de referencia (4mca/km) para determinar si las conducciones generan importantes pérdidas de carga. El análisis en la Figura.6, junto con los resultados que se detallan en la Tabla 5, muestra que existen sectores (Tratamiento, Tapi, Recreo, Veranillo, Piscin) donde las pérdidas unitarias son despreciables, del orden de 0 - 2mca (Líneas Azules – Figura 6), mientras que en otras (Saboya, Maldonado) se identifica pérdidas superiores a los 4 mca/km (Líneas Rojas – Figura.6) que deben ser analizadas periódicamente ya que pueden afectar drásticamente las condiciones de funcionamiento y generar fallos indeseables en el sistema de abastecimiento.

Sector	PUNTOS DE MEDICIÓN	Casos	Media (m/s)	Error Estándar		
				(s agrupada)	Límite inferior	Límite superior
Tratamiento	Vel.P2- EPANET	91	0.427582	0.0183033	0.402044	0.453121
	Vel.P2- Observada	91	0.435824	0.0183033	0.410286	0.461363
	Total	182	0.431703			
Tapi	Vel.P4- EPANET	91	0.77989	0.0193678	0.752866	0.806914
	Vel.P4- Observada	91	0.771978	0.0193678	0.744954	0.799002
	Total	182	0.775934			
Recreo	Vel.P6- EPANET	91	0.548352	0.0181355	0.523047	0.573656
	Vel.P6- Observada	91	0.531978	0.0181355	0.506674	0.557282
	Total	182	0.540165			
Carmen	Vel.P8- EPANET	91	1.20143	0.0264358	1.16454	1.23831
	Vel.P8- Observada	91	1.19505	0.0264358	1.15817	1.23194
	Total	182	1.19824			
Saboya	Vel.P10- EPANET	91	1.46066	0.0305375	1.41805	1.50327
	Vel.P10- Observada	91	1.45582	0.0305375	1.41322	1.49843
	Total	182	1.45824			
Maldonado	Vel.P12- EPANET	91	1.17989	0.026142	1.14341	1.21637
	Vel.P12- Observada	91	1.17352	0.026142	1.13704	1.20999
	Total	182	1.1767			
Veranillo	Vel.P14- EPANET	91	0.487582	0.0183352	0.461999	0.513165
	Vel.P14- Observada	91	0.478132	0.0183352	0.452549	0.503715
	Total	182	0.482857			
Piscin	Vel.P16- EPANET	91	0.75989	0.0203494	0.731497	0.788283
	Vel.P16- Observada	91	0.756593	0.0203494	0.7282	0.784987
	Total	182	0.758242			
Yaruquies	Vel.P18- EPANET	91	0.795275	0.0193094	0.768333	0.822217
	Vel.P18- Observada	91	0.746593	0.0193094	0.719651	0.773536
	Total	182	0.770934			

Tabla 4. Análisis de medias de las velocidades Registradas y Simuladas

Conclusiones

El presente estudio aplica un modelo hidráulico para el análisis del funcionamiento de la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Riobamba. A partir del análisis estadístico de varianza, comparación de medias y prueba de rangos múltiples se da como validado el modelo desarrollado, en vista que los principales parámetros hidráulicos (presión, velocidad) reproducen con un intervalo de confianza del 95% las condiciones bajo las cuales opera el sistema. El análisis en período extendido reveló que existen problemas de gran envergadura en la distribución del fluido. El

estudio de las presiones en el sistema evidenció una fluctuación importante de la presión en el rango de 0 a 85 mca, si bien es cierto la presión que garantiza un funcionamiento adecuado es de 20 mca, presiones por encima de los 50 mca generan sobrepresiones en el sistema que promueven la generación de fisuras y la consecuente aparición de fugas incontroladas en la red que aumentan el volumen fugado dentro de la instalación, ocasionando pérdidas en rendimiento volumétrico de la red y paralelamente pérdidas económicas importantes por el mal uso del recurso hídrico. Por otro lado, las depresiones que se observan en el sistema son presiones cercanas a 0 mca, lo que puede facilitar la intrusión patógena en el caso que el sistema este próximo a los colectores de aguas residuales, causando un fuerte impacto en la calidad microbiológica del agua, que a posteriori causan la formación de subproductos de cloración (productos cancerígenos), al

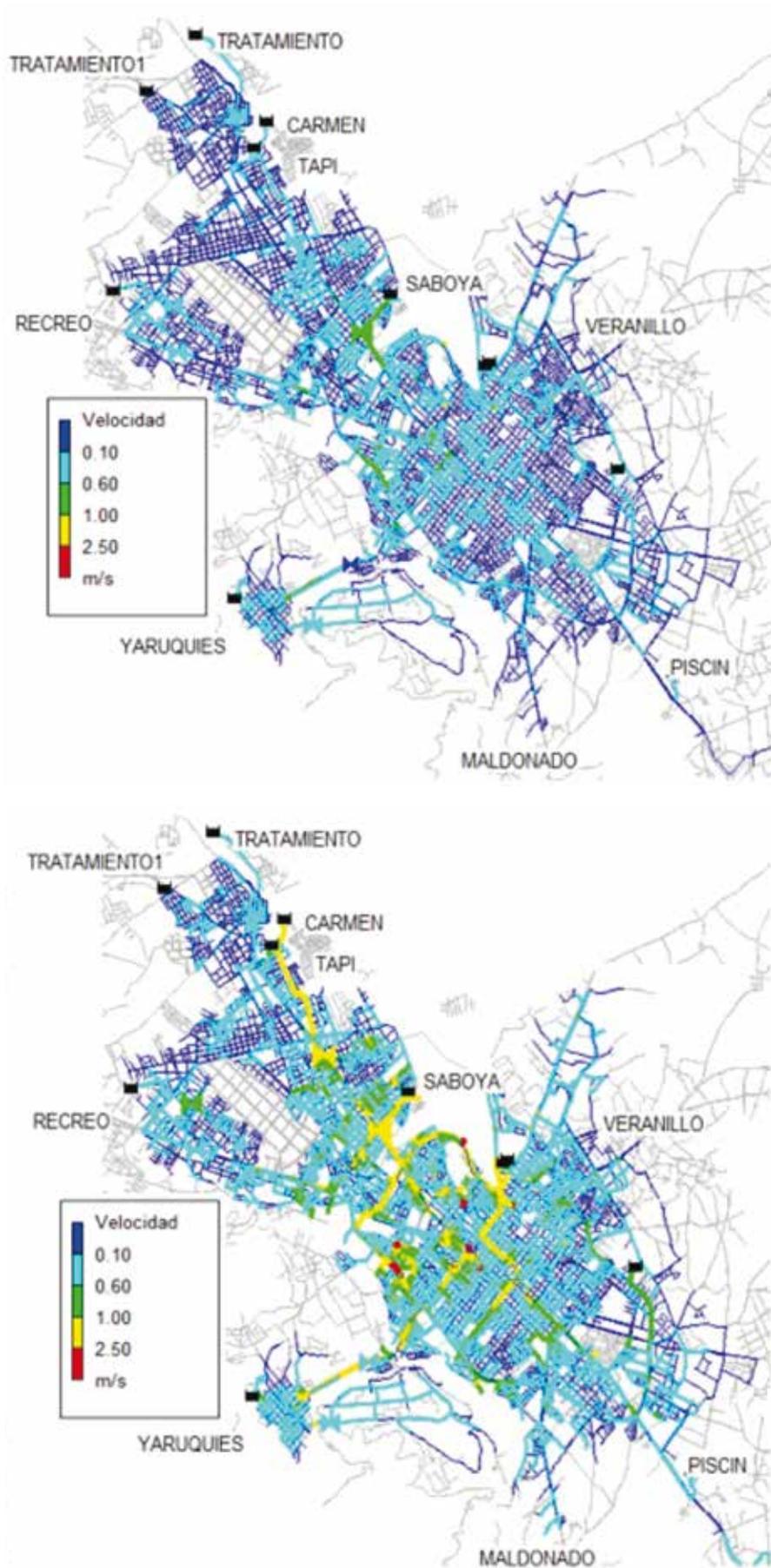


Figura 5. Velocidades mínimas y máximas (Modelo EPANET)

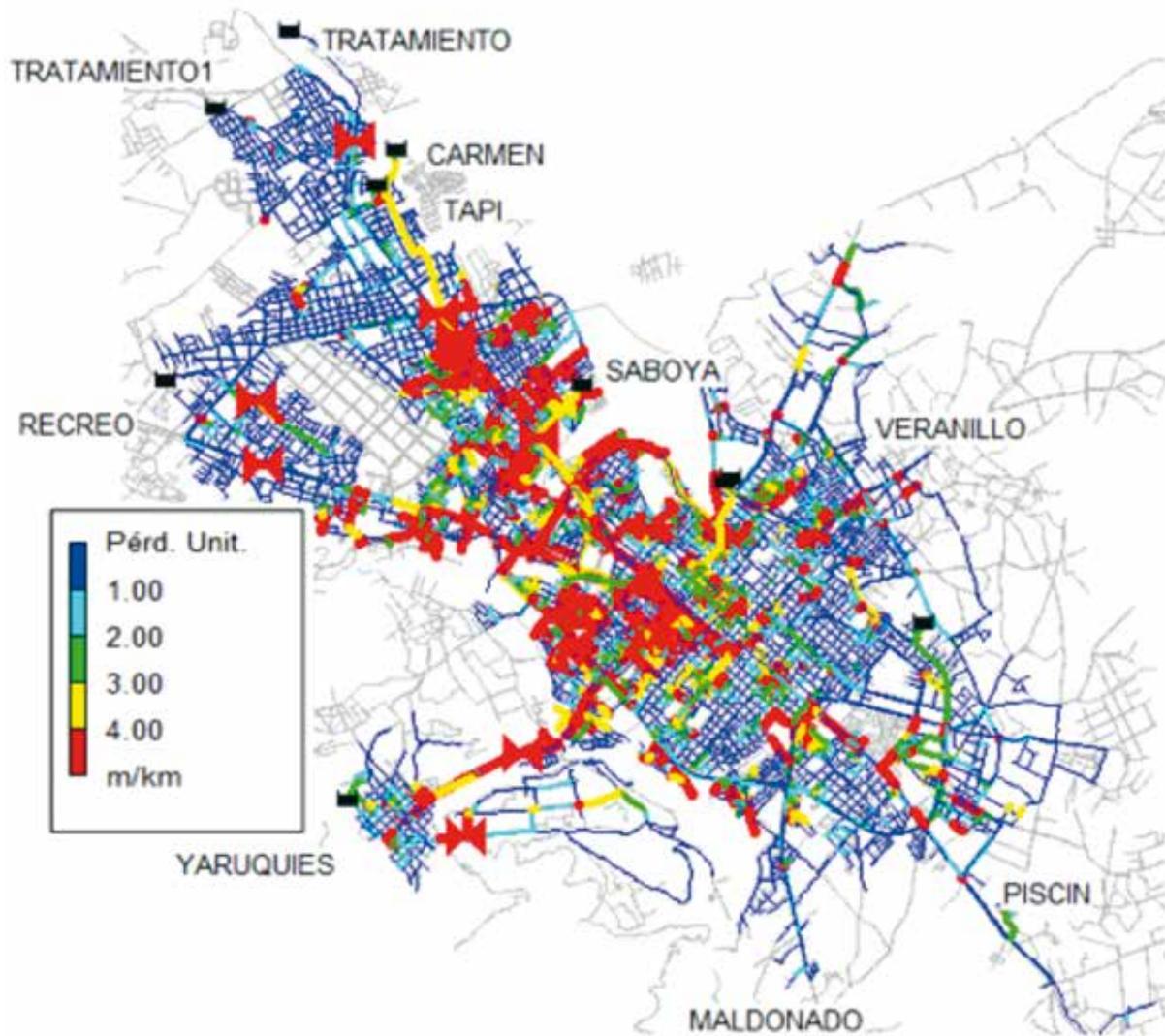


Figura 6. Pérdidas de carga unitarias de las conducciones (mca/km)

Hora	Tratamiento	Tapi	Recreo	Carmen	Saboya	Maldonado	Veranillo	Piscin	Yaruquies
8:00	0.41	1.42	0.69	1.83	5.3	4.3	0.34	1.3	1.97
9:00	0.45	1.58	0.75	2.15	5.4	4.6	0.39	1.49	2.19
10:00	0.50	1.78	0.86	2.56	4.2	3.8	0.39	1.73	2.46
11:00	0.55	2.02	0.97	3.07	3.9	3.7	0.45	2.03	2.82
12:00	0.59	2.2	1.06	3.43	3.85	2.9	0.51	2.24	3.06
13:00	0.61	2.27	1.1	3.58	5	5.2	0.51	2.33	3.16
14:00	0.57	2.09	1.01	3.2	4.8	4.9	0.51	2.11	2.91
15:00	0.46	1.61	0.78	2.21	3.5	4.7	0.39	1.53	2.23
16:00	0.39	1.32	0.65	1.64	3.2	3.6	0.28	1.19	1.82
17:00	0.36	1.19	0.56	1.39	3.6	4.1	0.28	1.03	1.64
18:00	0.36	1.19	0.56	1.39	3.7	4.6	0.28	1.03	1.64
19:00	0.38	1.29	0.62	1.59	4.8	5.2	0.28	1.16	1.79
20:00	0.42	1.46	0.71	1.92	5.2	4.9	0.34	1.35	2.02
Promedio	0.47	1.65	0.79	2.30	4.34	4.35	0.38	1.58	2.29

Tabla 5. Pérdidas de carga de las conducciones principales de la Red

reaccionar con el cloro residual de la red si el problema no es controlado.

Además, respecto a las velocidades se ha observado que en varias zonas de la red donde posiblemente existe un sobredimensionamiento de las tuberías, se desarrollan velocidades por debajo de los 0.10 m/s, lo cual para un sistema de abastecimiento urbano no es lo recomendable, dado que origina paralelamente la sedimentación y adsorción de partículas en las paredes de las tuberías causando progresivamente la disminución del área de flujo y consecuentemente el aumento de las pérdidas totales de carga. Al mismo tiempo, las velocidades bajas estarán asociadas indirectamente a la disminución de la calidad del agua en la red, dado que la degradación del cloro (proveniente de la desinfección) es proporcional al tiempo de residencia

del agua en la red, la concentración de cloro puede adoptar valores por debajo de 0.2 mg/lit (valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud para garantizar la inactivación de organismos patógenos causante de enfermedades gastrointestinales), ocasionando a posteriori problemas de salud en los usuarios. Un proyecto de investigación futuro será desarrollar un modelo para evaluar la evolución de cloro en la red y la pérdida de calidad en el sistema tanto en los depósitos de cabecera, como en los depósitos privados instalados por los usuarios.

R eferencias

1. Kara, S., Karadirek, I. E., Muhammetoglu, A., & Muhammetoglu, H. (2016). Hydraulic Modeling of a Water Distribution Network in a Tourism Area with Highly Varying Characteristics. *Procedia Engineering*, 162, 521-529.
2. Muranho, J., Ferreira, A., Sousa, J., Gomes, A., & Marques, A. S. (2014). Pressure-dependent demand and leakage modelling with an EPANET extension–WaterNetGen. *Procedia Engineering*, 89, 632-639.
3. American Water Works Association, Analysis, and Design of Water Distribution Systems.
4. Sarría, F., & Palazón, F. (2008). Estimación de parámetros, validación de modelos y análisis de sensibilidad. *Modelización de sistemas ambientales. Modelización de sistemas ambientales.*
5. Rondán Galán, E. (2016). Estado del arte de la calibración de modelos hidráulicos. *Modelado de fugas con Epanet.*
6. Caballero, D. (2016). Modelado y simulación de la calidad de agua en una red de abastecimiento municipal: implementación y validación en el municipio de Alcantarilla.
7. Germanopoulos, G. (1985). A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models. *Civil Engineering Systems*, 2(3), 171-179.
8. N. Trifunovic, S. Sharma, A. Pathirana, Modelling leakage in distribution system using EPANET, in: *Proceedings IWA International Conference WaterLoss2009, Sao Paolo, 2009*, pp. 482–489.
9. T. Walski, D. Chase, D. Savic, W. Grayman, S. Beckwith, E. Koelle, *Advanced Water Distribution Modelling and Management*, first ed., Bentley Institute Pre., London, 2007.
10. V. Kanakouidis, S. Tsitsifli, P. Samaras, A. Zouboulis, Assessing the performance of urban water networks across the EU Mediterranean area: The paradox of high NRW levels and absence of respective reduction measures, *Water Sci. Technol. Water Supply* 13 (2013) 939-950.
11. A. Bakogiannis, A. Tzamtzis, Modeling of district metered areas with relatively high leakage rate, The case study of Kalipoli's DMA, in: *Proceedings of international conference on hydroinformatics, CUNY Academic Works.*, 2014.
12. ROSSMAN, L. EPANET, Users Manual. Cincinnati: Water Supply and Water Resources Division, United States Environmental Protection Agency, 2002.
13. Yepez, (2014). Sistema de información geográfica (SIG) de predios, acometidas, tuberías y accesorios para la Empresa Pública Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de Riobamba (EP-EMAPAR), Ecuador

14. Almandoz, J., Cabrera, E., Arregui, F., Cabrera Jr, E., & Cobacho, R. (2005). Leakage assessment through water distribution network simulation. *Journal of water resources planning and management*.
15. Mays, L. W. (2000). *Water distribution systems handbook*. McGraw-Hill. Retrieved from <https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/water-distribution-system-handbook>

Colaboradores:

Karina Ramos, Facultad de Ciencias/Escuela de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Mabel Parada, Facultad de Ciencias/Escuela de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Sofia Godoy, Facultad de Ciencias/Escuela de Ingeniería Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Diego Vinuesa, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Gisela Pilco, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Karen Acosta, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Patricia Tierra, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Patricio Noboa, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

J. Idrovo, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

I. Gavilanez, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

N. Veloz, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

R. Erazo, Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (ESPOCH) Riobamba (Ecuador)

H. Valverde, Unidad de Admisión y Nivelación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba (Ecuador)

Marco Janeta, Departamento de Farmacología, Facultad de Farmacia, Universitat de València, Burjassot, Valencia-España

Nelson Chiquín, Grupo de Investigación en seguridad, ambiente y energía. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador

Daniel Chuquín, Grupo de Investigación en seguridad, ambiente y energía. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador



Gloria Miño, Grupo de Investigación en seguridad, ambiente y energía. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador

Juan Chuquín, Grupo de Investigación en seguridad, ambiente y energía. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador

Javier Soriano, Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia - España

Revista PERFILES.
Panamericana Sur, km 1 ½. Espoch, Facultad de Ciencias.
Riobamba, Ecuador
Telf.: (593) (03) 2998200 ext. 161
Correo electrónico: revistaperfiles@epoch.edu.ec
Dirección web: <http://ceaa.epoch.edu.ec:8080/revista.perfiles/>

