

Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone

David Carrera-Villacrés^a, Edgar Guerrero-Varela^a, Leidy Cajas-Morales^b, Tania González-Farinango^b, Erika Guamán-Pineda^b, Paul Velarde-Salazar^b

^a Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.

^b Escuela de Ingeniería Ambiental, FIGEMPA, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

dvcarrera@espe.edu.ec, erguerron@espe.edu.ec, lccajas@uce.edu.ec, tegonzalez@uce.edu.ec, elguamanp@uce.edu.ec, pavelarde@uce.edu.ec

Resumen—La eutrofización representa un gran problema debido al incremento de fósforo que degrada la calidad del agua. En el Cantón Chone, Ecuador, se construyó la Presa del Proyecto Multipropósito Chone (PPMC), cuyo embalse se encuentra cubierto de plantas acuáticas, por exceso de nutrientes. Por consiguiente, se analizó la influencia de la temperatura, pH y conductividad eléctrica (CE) sobre las concentraciones de fosfatos para entender su relación y cómo puede afectar en la eutrofización. Se definió 26 puntos de muestreo (época seca y de lluvia); los parámetros se midieron en el Laboratorio de Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Con los datos obtenidos, se realizó un análisis estadístico con el *software* “R” para evaluar las relaciones entre las variables, mediante correlación, dispersión y regresión. Se determinó que el pH no refleja relación con la variación de concentración de los fosfatos; la posible influencia de la temperatura en época seca se debe probablemente a la reducción del caudal del Río Grande ya que incrementa la concentración de fosfatos; la CE posiblemente influye, pues las concentraciones de los iones disueltos afectan los equilibrios químicos de las especies de fósforo. Así, la temperatura y CE tienen una posible influencia sobre la variación de concentración de fosfatos, afectada por las temporadas climáticas y posiblemente por las formaciones geológicas; éste conjunto de interacciones afecta la disponibilidad del fósforo en el agua, y en consecuencia influye en la eutrofización.

Palabras Claves—Correlación, eutrofización, fósforo, geología, regresión

Abstract— Eutrophication is a major problem due to the increase in phosphorus that degrades water quality. In Chone, Ecuador, the Chone Multipurpose Project Dam was built, which reservoir is covered with aquatic plants, due to excess nutrients. The influence of temperature, pH and electrical conductivity on phosphate concentrations was therefore analyzed to understand their relationship and how they may affect eutrophication. Twenty-six sampling points (dry and rainy seasons); the parameters were measured in the Environmental Laboratory of the Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. With the data obtained, a statistical analysis was performed with the *software* “R” to evaluate the relationships between the variables, by means of correlation, dispersion and regression. It was determined that the pH does not reflect a relationship with the variation in phosphate concentration; the possible influence of the dry season temperature is due to the reduction in the flow rate of the Río Grande as it increases the concentration of phosphates; the EC possibly has an influence because the concentrations of dissolved ions affect the chemical equilibrium of the phosphorus species. Thus, temperature and EC have a possible influence on the variation of phosphate concentration, affected by climatic seasons and possibly, by geological formations; this

set of interactions affects the availability of phosphorus in water, and consequently influences eutrophication.

Keywords—Correlation, eutrophication, phosphorus, geology, regression

I. INTRODUCCIÓN

La calidad de un río refleja varias influencias importantes, como la litología de la cuenca, aportes atmosféricos, condiciones climáticas y contaminación antropogénica [1]. La eutrofización es uno de los problemas más frecuentes, causados por las altas concentraciones de fósforo que aceleran el crecimiento de plantas acuáticas indeseadas y como consecuencia se reduce la calidad del agua [2]. Los factores que promueven la eutrofización pueden ser fisicoquímicos (como temperatura) y nutricionales, donde la cantidad de biomasa vegetal está determinada por la disponibilidad de los nutrientes limitantes [3], [4]. Los ríos del cantón Chone, como el Río Grande, presentan este problema progresivo, donde repercuten las actividades agrícolas, que ocasionan grandes concentraciones de fósforo en el suelo y se infiltran hasta llegar al agua [5]. En la zona de la PPMC se han realizado diversas investigaciones en materia medioambiental, como calidad de agua [6], caracterizaciones fisicoquímicas [7] y remediación con tecnosoles [5]. Factores como temperatura y pH del agua pueden influir en las concentraciones de fosfatos ya que afectan las reacciones de especiación [9]; también la CE como medida indirecta de la cantidad de iones solubles que pueden causar precipitación de fosfatos [7], [11]. Las épocas de estiaje y de lluvias en el cantón [12] pueden afectar las concentraciones y las relaciones entre estas variables, al igual que las formaciones geológicas que contienen rocas fosfatadas [13], [14], [15]. Los parámetros de representatividad en aguas pueden variar de un sitio a otro y de una época a otra, por tal, para el análisis de los datos se aplican programas estadísticos como el *software* “R”, que permite evaluar las múltiples relaciones que existen entre las variables [16], [17]. El análisis de correlación y los modelos de regresión y dispersión son usados con el fin de generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos [18]. Los objetivos de este trabajo fueron relacionar las variables medidas en el sistema hidrográfico de Río Grande entre los años 2016 y 2018, tales como temperatura, CE, pH y fosfatos a través de métodos estadísticos de regresión lineal para determinar la variable que más se

ajuste a una correlación lineal con los fosfatos, con el propósito de explicar el aceleramiento de la eutrofización.

II. MÉTODO

El Cantón Chone, provincia de Manabí (Fig. 1), presenta un clima cálido seco de junio a noviembre. En época invernal (diciembre a mayo), la temperatura alcanza los 34°C, con precipitaciones anuales que superan los 3 500 mm por año, cuando se presenta el fenómeno de El Niño. Chone es una zona con alto riesgo de inundaciones en época de lluvia, por esto se construyó la PPMC que funciona desde 2015, ubicada en la confluencia del Río Grande [6].

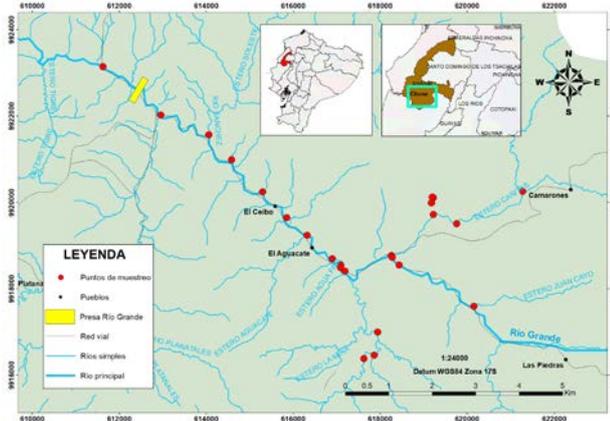


Fig. 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo, Río Grande, Cantón Chone.

El muestreo de agua se realizó a lo largo de Río Grande, en base a las normas INEN 2169:98 y 2176:98 [5]. Los puntos de muestreo se ubicaron aguas arriba de la PPMC, y en los afluentes Camarones, Cañitas y Coñaque. Se definieron 26 puntos (Fig. 1); los primeros nueve se efectuaron en agosto de 2016 (sequía) y, los siguientes 17 puntos se tomaron en febrero de 2017 (época de lluvia) debido a que el sistema hidrográfico del Río Grande presentó un aumento de la eutrofización [6]. El último punto se muestreó en enero del 2018. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos, de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales (NTE-INEN-0973; EPA 1983, 1701; NOM-AA-93-1984; Standard Methods, HACH 2000), en el Laboratorio de Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Los resultados de las concentraciones de fosfatos y de temperatura, pH y CE, se tabularon para época de sequía y para lluvia, con el fin de conocer las variaciones en las diferentes temporadas climáticas, pues estas influyen en las concentraciones [1], [5]. Se utilizó el software estadístico “RStudio” del paquete R, para analizar los resultados obtenidos y evaluar las relaciones que existen entre los factores (temperatura, pH y CE) y los fosfatos. Se aplicó técnicas como correlación, modelos de regresión lineal y modelos de dispersión que facilitan la comprensión del comportamiento entre variables, mediante indicadores de residuales generados, como coeficiente de correlación, error estándar y R cuadrado [15], [16].

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos, de las épocas de sequía y lluvia de los años 2016, 2017 y 2018, del análisis de laboratorio, se

muestran en la Tabla I.

TABLA I
MEDICIONES EN ÉPOCA DE SEQUÍA Y LLUVIA (2016 - 2018)

Punto	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)
Época de sequía (2016)				
1	23	7.87	411	1.57
2	24	8.10	406	1.42
3	26	7.99	322	0.97
4	28	9.08	320	0.81
5	28	8.03	355	0.64
6	27	7.92	335	0.73
7	28	7.66	324	0.82
8	32	9.43	269	0.72
9	28	9.96	304	0.82
Época de lluvia (2017)				
10	31	8.23	173.6	1.28
11	32	8.04	172.5	0.6
12	31	7.36	161.1	0.6
13	32	7.18	160.3	1.2
14	31	6.71	156.5	1.13
15	32	6.77	146.6	0.72
16	31	6.35	115.5	1.75
17	30	6.50	121.2	0.75
18	31	6.61	126.7	1.0
19	30	6.62	124.9	0.63
20	31	6.89	151.6	0.65
21	31	7.24	188.7	0.68
22	30	7.35	202.8	1.05
23	31	7.20	134.3	0.38
24	31	7.08	134.6	1.73
25	31	7.03	136.2	1.6
26	30	6.91	135.4	1.4
Época de lluvia (2018)				
27				P-PO ₄ ³⁻ = 0.325 mg/L

Para el análisis en la época de sequía, el coeficiente de correlación entre concentración de fosfatos y la temperatura es -0.84 (Tabla II), lo que indica, a medida que aumenta la temperatura, la concentración de fosfatos disminuye (Fig. 2), y al estar éste coeficiente próximo a -1, indica que la fuerza con la que están relacionadas estas variables son altas (Tabla III). El error estándar de los residuos (0.189), nos indica que el ajuste de regresión a una recta es bastante bueno (Fig. 3). El bajo valor del error estándar (0.025) corrobora la precisión de la estimación por ser muy cercano a 0. En la Figura 3 se muestra la distribución de los residuos, los cuales deberían ser aleatorios y según éste gráfico no los son aparentemente, por lo cual un mejor modelo de ajuste que se deberá considerar es un modelo de regresión curvilíneo [26]. El coeficiente de determinación R² (0.707), señala que las estimaciones se ajustan bastante bien al modelo (Fig. 2).

TABLA II
RESULTADOS DE REGRESIÓN OBTENIDOS CON LL SOFTWARE ESTADÍSTICO
“R” – ÉPOCA DE SEQUÍA

Indicadores estadísticos	Temp. vs Fosfatos	CE vs Fosfatos	pH vs Fosfatos
Correlación	-0.841	0.804	-0.323
Standard Error	0.0255	0.002	0.143
Residual standard error	0.189	0.208	0.331
Multiple R	0.707	0.648	0.104

TABLA III
SIGNIFICANCIA DE COEFICIENTES DE CORRELACIÓN [27]

Valor	Significancia
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación baja
$0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
$r = 0$	Correlación nula

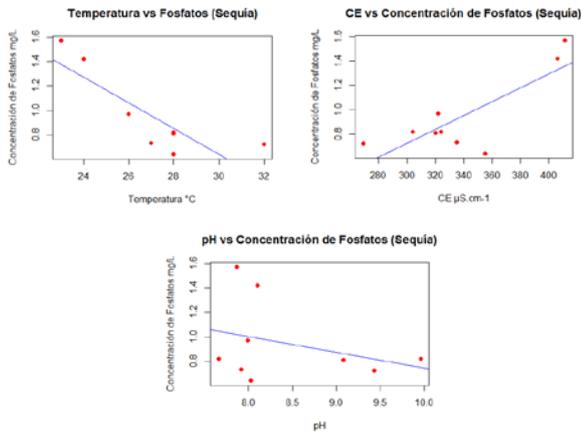


Fig. 2. Gráficas de dispersión de la variación de concentración de fosfatos con temperatura, CE y pH para la época de sequía.

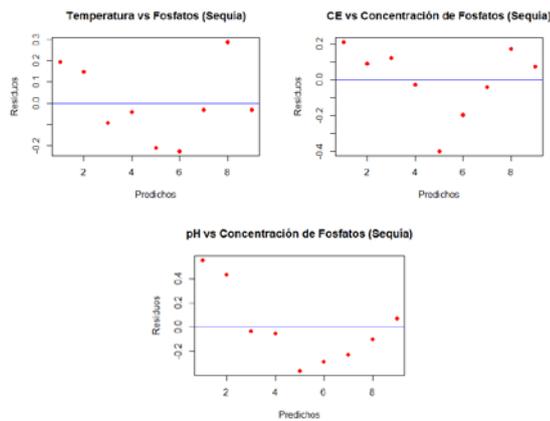


Fig. 3. Gráficas de residuales de regresión lineal de temperatura, CE y pH para la época de sequía.

La influencia de la CE en época de sequía, tiene un comportamiento similar al de la temperatura, pues la correlación es muy alta (Tabla II) y el error estándar residual es bajo (Tabla III); pero, la Figura 3 nuevamente nos estaría indicando que se podría ajustar a mejor modelo curvilíneo, posiblemente polinómico de grado 2, el coeficiente de determinación R cuadrado tiene un valor moderado (~ 0.6). En el análisis entre pH y fosfatos, se puede apreciar que la correlación entre estas variables es muy baja, por lo cual se puede decir que las variables son independientes.

En el análisis en época de lluvia, entre las variables Temperatura, CE y pH versus las variaciones de concentración de fosfatos, se puede observar que tanto el coeficiente de correlación y el de determinación son muy bajos (Tabla IV), lo que nos indica que éstas variables son independientes.

TABLA IV
RESULTADOS DE REGRESIÓN OBTENIDOS CON EL SOFTWARE ESTADÍSTICO
"R" – ÉPOCA DE LLUVIA

Indicadores estadísticos	Temp. vs Fosfatos	CE vs Fosfatos	pH vs Fosfatos
Correlación	-0.066	-0.226	-0.141
Standard Error	0.168	0.004	0.219
Residual standard error	0.443	0.433	0.439
Multiple R	0.004	0.051	0.019

IV. CONCLUSIONES

La posible influencia de la temperatura en los fosfatos en la sequía, se debe quizá a la reducción de caudal y de profundidad del Río Grande [6] que aumenta la concentración de fosfatos y el nivel de luz solar recibida [3], por tal, puede afectar las reacciones de especiación del fósforo [8] y por tanto la concentración. Eso no ocurre en la época lluviosa, debido a la variabilidad de las precipitaciones y el aumento del caudal [10]. La CE también tiene una posible influencia durante la época de sequía, ya que las concentraciones de los diferentes iones (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) afectan los equilibrios químicos de las especies de fósforo, como los ortofosfatos que pueden precipitar como fosfato de calcio [8]. En época seca aumenta la CE (Tabla II), por lo que los fosfatos pueden precipitar, pero contradice al resultado de la correlación (si aumenta la CE, aumentan los fosfatos); quizá el aporte de fósforo al agua por parte de las formaciones geológicas de la cuenca [7], [13] producen un equilibrio [8]. La CE es una medida indirecta de la cantidad de iones disueltos sumados en el agua, por tanto, para estudiar mejor su influencia en los fosfatos, se puede ampliar con análisis de la concentración de cada ion inorgánico y de la alcalinidad [2]. La Cuenca del Río Grande ha tenido diferentes aportes de sedimentación, iniciando en el Eoceno Medio con sedimentos detríticos, durante el Mioceno Medio-Superior, sedimentos limosos; en el Mioceno Superior y Plioceno, sedimentos detríticos; y actualmente continúa el aporte por medio de coluviales y aluviales [7]. El contenido de fósforo se debe a este pasado geológico, y resalta la presencia de restos fósiles, donde el principal componente es el fosfato cálcico. Probablemente la fosfatación ocurre en la zona de estudio por la presencia de estos minerales [12]. Los equilibrios químicos de los fosfatos también dependen del pH, porque este permite liberar fósforo de las rocas y sedimentos, y afecta la especiación [18], [19]; y como el punto de saturación del fósforo depende del pH, los cambios en las condiciones biológicas y fisicoquímicas pueden modificar la concentración del ion fosfato y producir su disolución o precipitación [20], pero los resultados estadísticos muestran lo contrario, y no muestran diferencias significativas entre ambas épocas. La posible explicación es que se reúnen las condiciones ideales de pH y temperatura, en los distintos puntos muestreados, y no afectan en la especiación a polifosfatos, como en la hidrólisis de tripolifosfatos que es un proceso muy lento [8]. Se puede evidenciar problemas de eutrofización, por las concentraciones de fosfatos mayores a 0.3 mg/L (Tabla I) pues, para que se inicien los procesos de eutrofización, el límite de fosfatos es de 0.05 mg/L [21]. Incluso, proliferan plantas acuáticas, asociadas a este

problema, en la zona de la represa del MPC y el aumento de fosfatos ha sido progresivo [5]. El valor de fosfatos en el 2018 tiene una concentración de 0.325 mg/L similar a las concentraciones del año 2017, lo cual supone que se mantiene el estado de eutrofización del agua, posiblemente a causa de las concentraciones que se tiene desde el 2017.

Las variables de temperatura y CE tuvieron una correlación muy alta con la concentración de fosfatos en época de sequía, sin embargo, no se ajustaron a los modelos de regresión lineal. El pH tuvo una correlación muy baja y tampoco se ajustó a la regresión lineal. La temperatura y la CE tienen una posible influencia sobre la variación de concentración de fosfatos, que se ve afectada por las temporadas climáticas y posiblemente por la litología de la cuenca; este conjunto de interacciones afectaría la disponibilidad del fósforo en el agua, y en consecuencia influye en la eutrofización.

REFERENCIAS

- [1] O. Bricker and B. Jones, "Main factors affecting the composition of natural waters", in *Trace Elements in Natural Waters*, CRC Press, Boca Raton, p. 1e5, 1995
- [2] P. Helen et. al. "Phosphorus and nitrogen limitation and impairment of headwater streams relative to rivers in Great Britain: A national perspective on eutrophication", in *Science of The Total Environment*, pp. 849-862. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.128>
- [3] J. Villaseñor, *Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas*, Universidad de Castilla – La Mancha, 2001
- [4] A. Schmid, *Diferenciación espacial en la metodología de análisis del ciclo de vida, desarrollo de factores regionales para eutrofización acuática y terrestre*, Universidad de Santiago de Compostela, 2008
- [5] K. Calvopiña, "Diseño de tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua, de la presa propósito múltiple Chone (PPMCH), a partir de muestras de suelos del cantón Chone", *Ciencias de la Tierra y la Construcción*, ESPE, 2017. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13389>
- [6] D. Carrera. P. Guevara y G. Gualichicomín, "Calidad de las aguas de la Presa Propósito Múltiple Chone", en *Memorias de Eventos Científicos organizados por el INIAP*, pp. 40-41, 2015. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3316>
- [7] D. Carrera. T. Crisanto y M. Maya, "Relación entre la composición química inorgánica del agua, la precipitación y la evaporación", en *ENFOQUE UTE*, pp. 25-34, 2015. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n1.52>
- [8] D. Jenkins y V. Snoeyink, *Química del Agua*, Editorial Limusa, pp 54-345, 2002
- [9] D. Carrera y S. Pérez, "Salinidad, fosfatos, nitratos y problemas de infiltración en las aguas de irrigación del cantón Milagro, Ecuador", en *Revista Ciencia UNEMI*, pp.85-95, 2013. Disponible en <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3034>
- [10] IEE, *Memoria Técnica Cantón Chone Proyecto: "Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional. Escala 1: 25 000" Clima e Hidrología*, 2013. Disponible en <http://www.ideportal.iee.gob.ec/>
- [11] IEE, *Memoria Técnica Cantón Chone Proyecto: "Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, Escala 1: 25 000" Geomorfología*, 2013. Disponible en <http://www.ideportal.iee.gob.ec/>
- [12] Carta Geológica de Chone MIII-F2 3591-I, 1979
- [13] A. Fersman, *Geoquímica Recreativa*, Ediciones Martínez Roca, 145 pp.,1971.
- [14] U. Quevedo, *Estadística para ingeniería y ciencias*, Ed. Patria, 2014.
- [15] F.J. Bouso. *El paquete estadístico R*. Madrid. 2013
- [16] S. Shrestha & F. Kazama, "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan", *Environmental Modelling & Software*, pp.464-475, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- [17] D. Carrea. V Sánchez. O. Portilla y D. Bolaños, "Similarity index between irrigation water and soil saturation extract in the experimental field of Yachay University, Ecuador" en *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2017. Disponible en <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/82/1/012007/meta>
- [18] H. Holtan. L. Kamp-Nielsen & A. Stuanes, "Phosphorus in soil, water and sediment: an overview", *Hydrobiologia*, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00024896>
- [19] Yunhai Wu, Yajun Wen, Jianxin Zhou and Yunying Wu, Phosphorus Release from Lake Sediments: Effects of pH, Temperature and Dissolved Oxygen, en *KSCE Journal of Civil Engineering*, pp. 323-239, 2014
- [20] K. Rankama y Th. G. Sahama, *GEOQUÍMICA*, Editorial Aguilar, pp 543-551, 1954
- [21] A. Sharpley and P. Withers, "The environmentally-sound management of agricultural phosphorus, Netherlands", *Fertilizer Research*, pp. 133-146. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00750912>