

Relationship between the morphometric and physicochemical parameters of the Urkuhuayku microbasin where the Urku Yaku 2.0 fog collector sytem tower is located.

David Vinicio Carrera-Villacrés^{1,2}, Alexander D Buenaño², Gabriela E Estrada², Geanela M Robles², Ronald S Torres², Joffre Quinteros², Arturo Gómez²

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Carrera de Ingeniería Civil. Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador, dvcarrera@espe.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología Minas Petróleos y Ambiental FIGEMPA. Carrera de Ambiental. Av. Universitaria, Quito, Ecuador, dvcarrera@uce.edu.ec
Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA)

Abstract- It is necessary to know the chemical physical behavior that the water possesses along the main riverbed of the basin to identify possible alterations in the quality of the basin, which, can be associated by several factors being one of these the morphology of the basin. The morphometric characteristics of the Urkuhuayku microbasin represent an influence on the physicochemical parameters analyzed at the different sampling points, collected at the Ilaló volcano where a fog collector system is built. The objective of this work was to determine the relationship between the physicochemical and morphometric variables of the basin through Pearson's correlation coefficients to establish the level of relationship between the aforementioned variables and the information generated by the tower. Six sampling points were defined, four collected along the riverbed, one taken directly from the fog catcher tower and one from a biological water purification system. The physicochemical parameters were measured in the Environmental Laboratory of the Central University of Ecuador. Morphometric parameters were determined using the ArcGIS 10.3 software from the Computer Laboratories of the Central University of Ecuador FIGEMPA. With the data obtained, a statistical analysis of correlation was performed in R software that allowed the evaluation of the relationship between the analyzed parameters. As a result, it was determined that the variables with an average Pearson's correlation level were: Biological Oxygen Demand (BOD), Demand Oxygen Chemistry (COD), conductivity, calcium hardness and Evaporated Solid Waste (CSR), a directly proportional relationship between BOD with respect to the slope and the area of the microbasin was also evidenced, as well as an inversely proportional relationship with respect to the length of the principal river of the basin.

Keywords- Microbasin, Slope, BOD, Physical chemical parameters.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.161>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Relación entre los parámetros fisicoquímicos y morfométricos de la microcuenca Urkuhuayku y las variables medidas por los sensores instalados en la torre atrapanieblas Urku Yaku 2.0.

David Vinicio Carrera-Villacrés^{1,2}, Alexander D Buenaño², Gabriela E Estrada², Geanela M Robles², Ronald S Torres², Joffre Quinteros², Arturo Gómez²

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Carrera de Ingeniería Civil. Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador, dvcarrera@espe.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología Minas Petróleos y Ambiental FIGEMPA. Carrera de Ambiental. Av. Universitaria, Quito, Ecuador, dvcarrera@uce.edu.ec
Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA)

RESUMEN. Es necesario conocer el comportamiento físico químico que posee el agua a lo largo del cauce principal de la cuenca para identificar posibles alteraciones en la calidad de la misma, la cual, puede estar asociada por varios factores siendo uno de estos la morfología de la cuenca. Las características morfométricas de la microcuenca Urkuhuayku representan una influencia en los parámetros fisicoquímicos analizados en los distintos puntos de muestreo, recolectados en el volcán Ilaló donde se encuentra construida una torre atrapanieblas. El objetivo del presente trabajo fue determinar la relación que existe entre las variables fisicoquímicas y morfométricas de la cuenca mediante los coeficientes de correlación de Pearson para establecer el nivel de relación entre las variables antes mencionadas y la información que ha generado la torre. Se definieron 6 puntos de muestreo, cuatro recolectados a lo largo del cauce, uno tomado directamente de la torre atrapanieblas y uno proveniente de un sistema de depuración biológica de agua. Los parámetros fisicoquímicos se midieron en el Laboratorio de Ambiente de la Universidad Central del Ecuador. Se determinaron los parámetros morfométricos mediante el software ArcGIS 10.3 de los Laboratorios de computación de la Universidad Central del Ecuador FIGEMPA. Con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico de correlación en software R que permitió evaluar la relación entre los parámetros analizados. Además, se pudo conocer la relación entre los datos medidos por los sensores instalados en la torre atrapanieblas Urku Yaku 2.0, respecto al DBO, utilizando el mismo modelo estadístico R.

Como resultado se determinó que las variables con un nivel medio de correlación de Pearson fueron: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), conductividad eléctrica, dureza cálcica y Residuo Sólido Evaporado (RSE), también se evidenció una relación directamente proporcional entre DBO respecto a la pendiente y al área de la microcuenca, así como una relación inversamente proporcional respecto a la longitud del cauce. De igual manera se determinó que la humedad, tiempo de retención y el caudal influyen en los cambios de los parámetros físico químicos del agua.

Palabras clave: microcuenca, Urku Yaku 2.0, pendiente, parámetros físico químicos, DBO.

I. INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del Volcán Ilaló es un espacio importante al ser un ecosistema de altura. La topografía de la zona es un factor determinante de su clima debido a su altitud y otros factores que hacen de la cuenca una zona de alta pluviosidad y variados microclimas [1]. El volcán Ilaló está constituido por 24 quebradas, son de poco recorrido y algunas de cauces profundos, aportando sus aguas, según sea el caso, a los ríos San Pedro, Ushimana (afluente del San Pedro) y Alcantarilla, afluente del río Chiche [2].

La caracterización de las propiedades morfométricas y la red de drenaje de una cuenca es el primer paso en la búsqueda de las relaciones entre esta y las condiciones climáticas y geológicas [3].

Mediante las correlaciones de Pearson, se pretendió optimizar el monitoreo en la zona de estudio, determinando puntos favorables para la recolección de muestras que permitan identificar lugares accesibles y representativos, reduciendo el gasto innecesario de recursos económicos y materiales [3].

La caracterización de una cuenca está dirigida fundamentalmente a cuantificar todos los parámetros que describen su estructura física y territorial. La caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio y continúa con la obtención de “parámetros morfométricos” mediante herramientas de Sistemas de Información geográfica (SIG) [4].

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento superficial o subsuperficial; esta transformación depende de las

condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca. Dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje: las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta como el orden de corriente, la pendiente, la sección transversal, etc. [5].

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran [6].

Ecuador presenta diversidad en los regímenes hidrológicos y en condiciones físico-climáticas que complementan una distribución homogénea en su mayoría de territorio. La calidad de agua varía dependiendo de las características químicas, físicas y biológicas según los efluentes y afluentes [7].

En la actualidad el volcán Ilaló tiene asentamientos urbanos, los cuales han producido un deterioro y la pérdida de sus cualidades ambientales originales [8].

El considerable ascenso de las alteraciones de los cursos de agua y la sensibilidad a este problema por parte de los organismos competentes ha hecho que los países pongan en marcha programas de control y vigilancia de la calidad y cantidad del agua [9].

El proyecto Urku Yaku 2.0 es un sistema de captación de agua por medio de torres de condensación (atrapaniebla), conjuntamente con un ecosistema informático de monitoreo basado en tecnología del internet de las cosas (IoT). Monitorea parámetros ambientales, capta el agua de la niebla y, genera modelos matemáticos que garanticen el manejo sustentable del recurso agua y suelo [10].

La recolección de agua de niebla data de varios siglos atrás, como en las Islas Canarias donde la recolección se lleva a cabo desde hace aproximadamente 2000 años. En un principio seguramente se comenzó por la recolección de agua en los bosques de niebla. Sin embargo, y dependiendo de las características ambientales, a lo largo de la historia se han desarrollado diversos sistemas [11].

El objetivo del presente artículo es establecer el nivel de relación entre los parámetros físico químicos obtenidos en laboratorio respecto a los parámetros morfométricos de la microcuenca Urkuhuayku obtenida a través de ArcGIS 10.3; mediante el software RStudio se realizó un análisis multivariable que permitió conocer el coeficiente de correlación de Pearson entre cada uno de los parámetros físicoquímicos y la pendiente, así como, realizar un análisis de la relación matemática entre la DBO con la pendiente, el área y la longitud del cauce de la microcuenca, y los parámetros medidos por los sensores colocados en la torre Urku Yaku 2.0 por otra parte, se analizarán los datos obtenidos en laboratorio, las relaciones encontradas son útiles para ejecutar un monitoreo técnico y económico eficiente que permita estudiar la calidad del agua.

II. ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación. - La parroquia rural Guangopolo perteneciente al cantón Quito de la provincia de Pichincha (Fig. 1), actualmente consta de una población de 3100 personas según el último censo en el año 2010.

La parroquia de Guangopolo tiene una superficie de 21.95km^2 [13], en este lugar se halla la comunidad ancestral de la Toglla ubicada a las faldas del Cerro Ilaló cuyo pasado volcánico ha originado formaciones edafológicas [3], es importante mencionar que Guangopolo se encuentra próxima al río San Pedro.

El área de estudio corresponde a la Unidad Hidrográfica 1524714 correspondiente a la microcuenca Huitajucho.

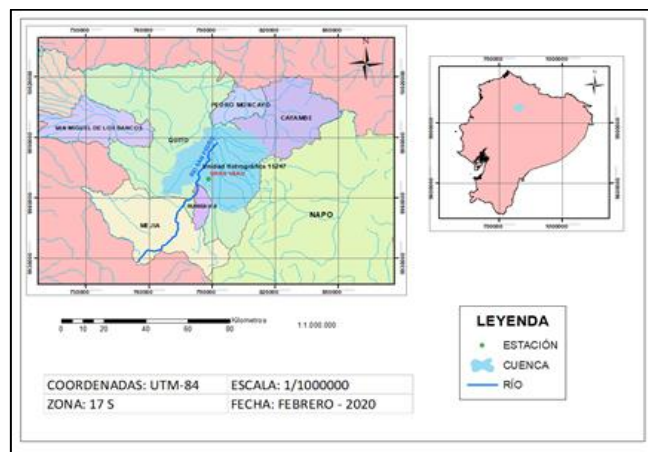


Fig. 1. Ubicación de la parroquia Guangopolo

Morfología. - La forma de una microcuenca se considera una característica cuyo concepto es complejo, con muchos atributos específicos lo que hace difícil caracterizar de manera real este parámetro mediante un simple resultado numérico [13].

Los parámetros morfométricos describen algunas características que están relacionadas con las dimensiones y la forma de la cuenca. Los principales parámetros morfométricos que se calculan frecuentemente son: localización, altura máxima y mínima, área de la cuenca, perímetro de la cuenca, longitud total del cauce principal, ancho promedio de la cuenca, factor de forma y tiempo de concentración de la cuenca [14].

Los parámetros morfométricos que se obtuvieron son importantes para conocer las características físicas de la microcuenca delimitada. Asimismo, la morfometría de una cuenca permite evaluar el funcionamiento de un sistema hidrológico en base a un conjunto de estimaciones lineales, de relieve y superficie, es una excelente herramienta en la planificación y toma de decisiones [14].

En la Tabla 1 se presentan los parámetros morfométricos de la cuenca.

TABLA 1
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA

Parámetros morfométricos	Valor
Área (km ²)	4,997
Perímetro (km)	8,872
Ancho (km)	2,092
Largo (km)	3,051
X	787621,99
Y	9969354,66
Cota mínima (msnm)	2564
Cota máxima (msnm)	3208
Pendiente de la microcuenca (%)	41,599
RED HÍDRICA	
Longitud del curso principal (km)	3,63
Orden de la red hídrica	3

III. METODOLOGÍA

Métodos de muestreo. - El método empleado para la toma de muestras, es el muestreo no probabilístico por conveniencia. Esta técnica permite seleccionar los puntos de muestreo, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los lugares en donde fue posible recolectar las muestras que se analizaron en el laboratorio. [15].

Se tomaron muestras en 6 puntos diferentes como se puede observar en la Figura 2, cuatro recolectadas directamente desde el cauce de río, una proveniente de la torre atrapanieblas cuadrada y la muestra final procedente de un sistema de depuración vegetal.

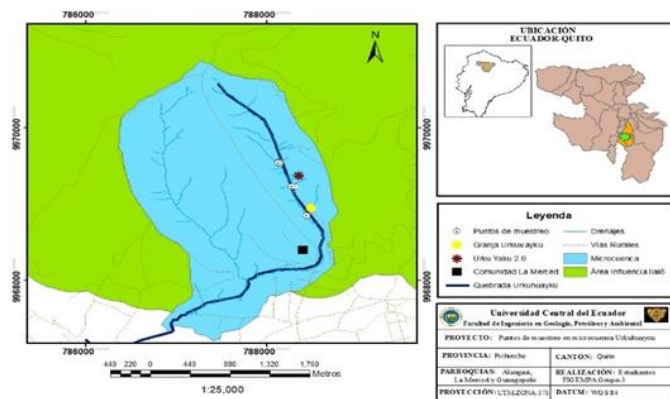


Fig. 2. Ubicación de los puntos de muestreo

Métodos para el análisis de agua

En la Tabla 2 se indican los métodos utilizados para realizar el análisis de agua de las muestras tomadas.

TABLA 2
MÉTODOS UTILIZADOS PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE AGUA

Determinación	Método	Referencia
pH	Multiparámetros HQ40D	Standard Methods 4500 [16]
Conductividad Eléctrica	Conductímetro marca HANNA modelo HI2210-01	Standard Methods 2510 B [17]
Temperatura	Multiparámetros HQ40D	Standard Methods 4500 [16]
Dureza total	Volumétrica titulación con EDTA	APHA, 1995 3500, D [18]
DQO	Método colorimétrico HACH DR/4000V	NOM-021-RECNAT-2000 [19]
DBO	Solución glucosa, solución salina medio incubador y medio de refrigeración	APHA, 1995 2320 B [18]
Residuo Seco evaporado (RSE)	Gravimetría utilizando estufa Hot Plate modelo Type 2200 Thermoline	NOM-AA-34-1981 Procedimiento B [19]
Residuo Seco Calcinado (RSC)	Gravimetría utilizando mufla Lindberg	NOM-AA-34-1981[19]
Coliformes totales	Número del más probable	APHA, 1995[18]

Aplicación de códigos en software R

R es un entorno y un lenguaje para el cálculo y generación de gráficos. Sencillo y con una amplia variedad de técnicas estadísticas como lo son las correlaciones.[20].

La correlación es una medida de la relación (covariación) lineal entre dos variables cuantitativas continuas (x, y). La manera más sencilla de saber si dos variables están correlacionadas es determinar si co-varían (varían conjuntamente). La covariación no implica necesariamente causalidad, la correlación puede ser fortuita.[21]. De esta manera, el enfoque de sistemas y el modelo probabilísticos aplicado a la gestión del agua que es uno de los campos más activos de investigación y desarrollo tecnológico [22].

Análisis de la variación de los parámetros fisicoquímicos en relación con parámetros morfométricos de la microcuenca.

En el presente estudio se realizó un análisis multivariable empleando lenguaje R, el mismo que permitió establecer la relación entre la pendiente de la microcuenca con los valores fisicoquímicos de las muestras tomadas en campo, medidos en laboratorio.

En un efluente, uno de los aspectos más importantes es la determinación de carga contaminante total que involucra a DBO_5 y al caudal, relación que se presenta en la siguiente ecuación: [23]

$$kgDBO/día = DBO_5(mg/L) \cdot Q(m^3/día) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

Dicha relación se evaluará en RStudio con el propósito de obtener las gráficas respectivas que permitan analizar el comportamiento entre los kg de DBO_5 /día y la pendiente, la longitud del área y la longitud de, cauce.

El caudal se obtuvo a través de la siguiente relación planteada en el texto “Mecánica de fluidos e hidráulica” [24].

$$Q = C \times I \times A \quad (2)$$

Dónde:

Q: caudal máximo para un tiempo de retorno ($m^3/día$)

I: intensidad de precipitación (mm/hora)

C: coeficiente de escorrentía

A: área de la cuenca (km^2)

El método racional supone que los caudales máximos se producen en un tiempo máximo de concentración, dicha entidad proporciona ecuaciones de intensidades en función al tiempo de retorno, ver ecuación (3) y la ubicación de la estación meteorológica [25].

Se tomaron las ecuaciones de la estación meteorológica La Tola debido a que es la más cercana a la microcuenca Urkuhuayku. Para el caso de estudio se consideró el tiempo de retorno de un año para determinar el caudal máximo en dicho periodo de tiempo, presentado en la ecuación (4).

Tiempo de concentración:

$$t_c = 3.989 \times L^{0.77} \times S^{0.385} \quad (3)$$

Dónde:

tc: tiempo de concentración (min)

L: longitud del cauce principal de la cuenca (km)

S: pendiente del cauce

Intensidad:

$$I = 433.713 \times T^{0.1955} \times t^{-0.6909} \quad (4)$$

Dónde:

I: intensidad (mm/h)

T: periodo de retorno de la lluvia (años) 1 año

t: duración de la lluvia (min)

Análisis de la correlación en RStudio entre la pendiente de la microcuenca y los parámetros fisicoquímicos obtenidos en laboratorio.

Para determinar los coeficientes que indican el nivel de correlación entre la pendiente de la microcuenca Urkuhuayku mostrada en la Tabla 5, (obtenida mediante la herramienta “slope” de ArcGIS 10.3) y los parámetros físicos químicos de las muestras, se aplicó RStudio ingresando los valores obtenidos en una matriz mediante una correlación de Pearson, obteniendo así, el nivel de relación entre la pendiente y cada una de las variables.

Análisis en software RStudio de la relación entre los valores de DBO_5 de la microcuenca Urkuhuayku con las variables medidas por los sensores instalados en la torre atrapanieblas Urku Yaku 2.0.

A fin de analizar la calidad del agua de la microcuenca Urkuhuayku, se realiza un análisis a través del tiempo, mostrando los valores diarios de los kg de DBO y de esta manera poder determinar si el agua es apta para el consumo o requiere un tratamiento previo. Los valores de las variables utilizadas en este estudio, medidas por los sensores instalados en la torre, se muestran en la tabla 7.

Por otra parte, analizar la DBO en función de la humedad mostrada en el gráfico (8), se requiere un análisis previo que muestre la relación entre la humedad y el caudal.

Se realizó en R mediante la función `lm()`, que permite determinar la ecuación de relación entre dos variables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Tablas 3 y 4, se observan los valores de los parámetros de calidad del agua, obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio.

TABLA 3
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS 6 MUESTRAS DE AGUA

	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura °C	Dureza Total mg CaCO_3/L
M1	7,49	144,3	14,1	76,069
M2	7,20	50,70	15,1	48,044
M3	7,02	155,2	16,4	60,055
M4	6,98	157,1	16,0	56,051
M5	7,15	163,0	16,2	48,044
M6	6,94	157,3	15,05	56,051

TABLA 4
CONTINUACIÓN RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS 6 MUESTRAS DE AGUA

Coliformes totales (UFC)	DQO	DBO ₅	RSE	RSC	CO	CI
	(mg/L)		(ppm)			
$20 \times 10^{0,5}$	86	2.63	3080	1920	1160	1920
20	12	0.3	560	280	280	280
$2 \times 10^{0,5}$	57	2	2880	80	2800	80
$8 \times 10^{0,5}$	26	1.8	2480	1400	1080	1400
$5 \times 10^{0,5}$	31	1.2	2960	1800	1160	1800

$3 \times 10^{0,5}$	33	1.17	2760	1240	1520	1240
---------------------	----	------	------	------	------	------

TABLA 5
PENDIENTES DE LA MICROCUENCA URKUHUAYKU OBTENIDAS EN ARCGIS

Puntos de muestreo	Pendiente (%)
Punto 1	10.317
Punto 2	56.101
Punto 3	27.728
Punto 4	27.728
Punto 5	41.914
Punto 6	10.317

Las pendientes varían de acuerdo a cada punto de muestreo, sin embargo; los puntos 1 y 6, 3 y 4 presentan los mismos valores lo cual se debe a sus proximidades.

Discusión de las variables físico y químicas obtenidas en laboratorio

Ref. [26] Una de las investigaciones previas que se realizó en la zona con puntos de muestreo y medición de la calidad de agua en la quebrada Togllahuayco perteneciente a la microcuenca de la zona de estudio. Se aprecia que los datos en el tiempo han sufrido cambios por ejemplo se ha reducido la conductividad eléctrica en el presente estudio en base a los resultados de la investigación referenciada en alrededor del 64%. En la investigación no se observa una diferencia considerable en comparativa del estudio mencionado con el estudio actual. Además, el pH no ha sufrido cambios drásticos manteniendo una media de 7.8 en el estudio mencionado y 7.49 como máximo en el presente estudio. Lastimosamente no se cuenta con datos de DBO o DQO en la zona de estudio por lo que los datos registrados en esta investigación son inéditos y servirán de referencia para futuras investigaciones.

Los valores de potencial de Hidrógeno obtenidos de las muestras analizadas en el laboratorio varían entre 6,94 hasta 7,49; siendo 7.49 el valor mayor de todos los puntos muestreados.

Ref. [27] En este trabajo se menciona que los aportes de nutrientes pueden incidir en cambios en el potencial hidrógeno,

atribuyéndose a cauces con mayores valores de pH a aquellos efluentes donde existe presencia de fuertes lluvias, los cambios en los valores de pH se producen por los aportes hídricos que desembocan en el cauce principal, es decir, variaciones del caudal en la microcuenca. También existen cambios de pH según el tipo de nutrientes del cauce y su relación directa con la materia orgánica suspendida en descomposición. El rango de variación del potencial Hidrógeno en las muestras de 6.94 a 7.49, indica que se encuentra en una buena calidad para el uso doméstico y consumo humano según la normativa del Ecuador. En el punto M2, la muestra recolectada directamente de la torre atrapanieblas presentó características diferentes por efecto de la poca presencia de sales disueltas [28].

En la medición de temperatura de las muestras, realizada en el laboratorio se obtuvieron valores situados entre 14.1°C hasta 16.4 °C. Se determinó que existe una relación inversa entre el valor de la temperatura y pH. El potencial Hidrógeno aumenta cuando la temperatura de la muestra es menor como se pudo observar en la Tabla 3 [29].

La cantidad de coliformes fecales determinados en las muestras son un indicador de presencia de fuentes contaminantes de actividades humanas. Como se observó en la Tabla 4 solamente la muestra M2 recolectada directamente de la torre atrapanieblas cumple con lo estipulado en la normativa ambiental vigente del Ecuador, así, el agua puede ser utilizada para consumo humano. La muestra M4 presenta los valores más altos de presencia de coliformes fecales, siendo la menos recomendable para ser consumida [27].

DQO. - Según la Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas el límite máximo permisible para el cauce de agua no debe superar los 160 mg/l, en la Tabla 2 se observa que las seis muestras poseen un valor inferior a los 86 mg/l[29].

DBO. - La normativa indica que el límite máximo permisible es de 2.0 mg/l, según los resultados obtenidos en la Tabla 2 se observa que la muestra 1 excede un poco este parámetro, ya que posee un valor de 2.63 mg/l [30].

Ref [31] Una de las investigaciones más relevantes es la realizada en la Universidad Oriente, Venezuela ya que realizaron correlaciones de coliformes fecales con algunas variables fisicoquímicas encontrando relación significativa con la salinidad, temperatura y la cantidad de oxígeno disuelto. La relación más importante es con el oxígeno disuelto con un r de -0.695 y un $p < 0.05$ lo que quiere decir que hay una relación inversamente proporcional y mientras más coliformes menos cantidades de oxígeno; consecuentemente si se reduce la cantidad de oxígeno el valor de la DBO será mucho mayor.

Determinación de la relación multivariable a través del software R.

Los parámetros morfológicos que tienen mayor influencia en los valores de DBO del efluente son la pendiente, el área y la longitud del cauce y se puede determinar la relación con cada una de dichas variables.

En el Figura 3 se observan los valores de kg de DBO/día, con relación a la pendiente, a medida que se incrementa la pendiente aumenta el valor de DBO, esto se debe a que, con el incremento de la pendiente, aumenta el caudal de la microcuenca y la DBO está relacionado directamente con este parámetro.

Figura. 3. Relación entre kg DBO/día y la pendiente

Los kg de DBO/día incrementan de manera proporcional al área, su tendencia es similar a una relación lineal.

Ref. [30]. En este trabajo, se menciona que el caudal específico (caudal/unidad de área) para cuencas grandes es menor que para cuencas pequeñas. Existirá mayor caudal, cuando la sección que atraviesa el cauce sea mayor presentándose mayor velocidad de escorrentía, por consiguiente, produce mayor arrastre de nutrientes y materia orgánica suspendida, capaz de consumir el oxígeno disuelto en el agua. Es por ello que se produce un aumento de DBO.

En la Figura 4 se presenta la relación entre los kg de DBO/día respecto al área de la cuenca.

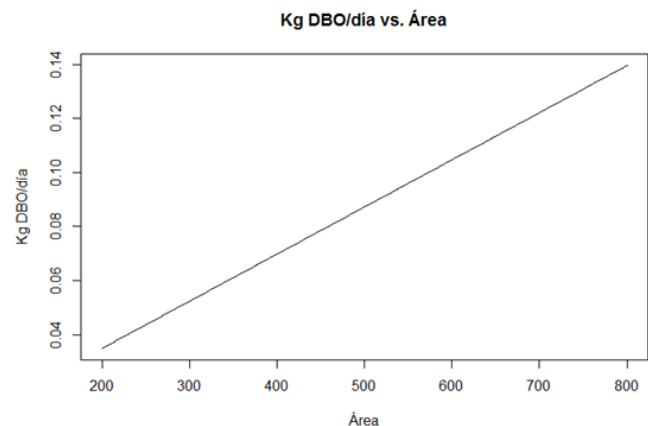


Figura. 4. Relación entre kg DBO/día y el área

Los kg de DBO/día incrementan de manera inversamente proporcional en relación con la longitud de la cuenca, su tendencia es decreciente lo cual implica que entre mayor sea la longitud de la cuenca menor será el DBO.

Ref. [32]. Esta relación es corroborada en el trabajo, realizado en México en lugares como El Pardo y Atlangatepec; donde se presentan cuencas de mayor longitud, existe baja velocidad de escurrimiento, conservándose la cantidad de oxígeno disuelto del cauce, mostrándose bajos valores de DBO.

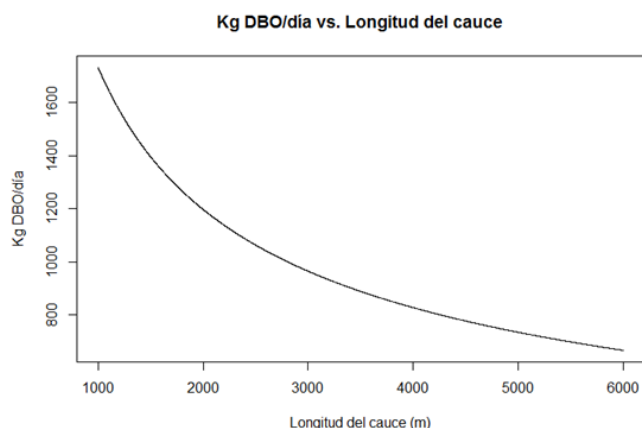


Figura. 5. Relación entre kg DBO/día y la longitud del cauce

Correlación entre pendiente y parámetros fisicoquímicos

El índice de correlación r puede variar entre -1 y $+1$, ambos extremos indicando correlaciones perfectas, negativa y positiva respectivamente. Un valor de $r = 0$ indica que no existe relación lineal entre las dos variables. Una correlación positiva indica que ambas variables varían en el mismo sentido. Una correlación negativa significa que ambas variables varían en sentidos opuestos [22].

El índice de correlación determina en sí, la medida del tamaño del efecto, que suele interpretarse de la siguiente manera: despreciable cuando $r < |0.1|$, baja cuando $|0.1| < r \leq |0.3|$, mediana si $|0.3| < r \leq |0.5|$ y una correlación fuerte o alta cuando $r > |0.5|$ [22].

La Tabla 6 muestra el nivel de la pendiente de la microcuenca obtenida con el software ArcGIS con los parámetros físicos químicos de muestras de agua analizadas en laboratorio que se presentan en las Tablas 3 y 4.

En la velocidad de escurrimiento de un cauce influyen ciertos factores como la proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, la porosidad del subsuelo, la vegetación, la pendiente del suelo [32].

Por ello, según el valor de la pendiente de la cuenca será la velocidad del cauce. Este tiene la capacidad de arrastrar carga orgánica e inorgánica que modificará en diferentes proporciones los valores de los parámetros físicos y químicos del agua [33].

TABLA 6
NIVEL DE CORRELACIÓN ENTRE LA PENDIENTE Y LOS
PARAMETROS FISICO QUIMICOS

	Pendiente	Tipo de correlación
pH	-0,04	Despreciable

Conductividad Eléctrica	-0,66	Alta
Temperatura	0,39	Media
Dureza	-0,76	Alta
Coliformes	-0,35	Media
DQO	-0,68	Alta
DBO ₅	-0,73	Alta
RSE	-0,74	Alta
RSC	-0,44	Media
CO	-0,44	Media
CI	-0,44	Media

En los puntos donde los coeficientes de correlación son menores a 0.5, existe una relación baja o media, mientras que en los puntos mayores a 0.5 puede existir una relación fuerte o alta, sin embargo, no se puede afirmar pues para que un coeficiente de correlación sea aceptable sus valores deben superar 0.8, esto se debe a que los valores de pendiente de ArcGIS tienen un amplio rango y son poco precisos.

Relación entre los valores de DBO de la microcuenca respecto a las variables medidas por los sensores instalados en la torre Urku Yaku 2.0.

La Tabla 7 se presenta el resumen de los valores de las variables medidas por los sensores de la torre Urku Yaku 2.0, empleadas en este artículo.

TABLA 7
RESUMEN DE LOS VALORES DE LAS VARIABLES MEDIDAS POR
LOS SENSORES DE LA TORRE URKU YAKU 2.0.

	Máximo	Mínimo	Promedio
Humedad (%)	90,826	22,796	66,019
Agua recolectada (L)	55,049	0	13,155
Tiempo			
Fecha inicial		Fecha final	
09/08/2019		22/01/2020	

En la figura 6, se muestra cómo es afectada la DBO dependiendo de la cantidad de agua que proporciona la torre a lo largo del tiempo. En el periodo noviembre-enero, se presentó mayor concentración de DBO, por lo que es necesario realizar un tratamiento previo a su descarga o consumo porque excede los límites de la normativa de efluentes. En cambio, en el periodo de septiembre - noviembre, se presentaron valores bajos de DBO por lo que podría ser utilizada o descargada directamente, al cumplir la normativa.

Ref. [34]. En el trabajo desarrollado en Zulía, Venezuela, respecto al estudio de parámetros biocinéticos que rigen la ecuación de la DBO, se comprobó que, los valores de la DBO aumentan a medida que pasan los días, esto debido a que hay un consumo continuo de oxígeno disuelto, por la actividad bacteriana para su crecimiento y reproducción.

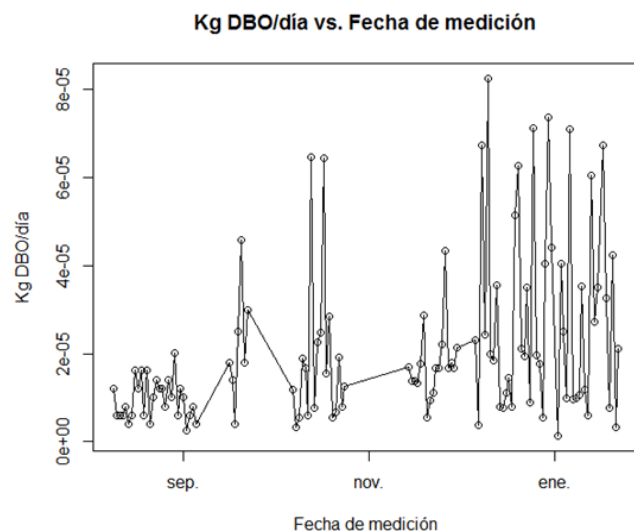


Figura. 6. Relación entre kg DBO/día y la fecha de medición

En la figura 7 se presenta la relación entre el caudal el mismo que se obtuvo en función del agua captada en la torre por día, y la humedad, en esta imagen se puede apreciar que existe una relación proporcional entre el porcentaje de humedad ambiental y la cantidad de agua de la torre atrapanieblas, mientras mayor sea la humedad ambiental mayor será el caudal de agua de la torre. Las discontinuidades en ciertos valores pueden deberse a condiciones ambientales como son velocidad del viento, radiación solar, entre otros; estos no afectan de manera significativa al análisis ya que forman un pequeño grupo respecto al conjunto total de datos. Es importante mencionar que la precisión del estudio y de los cálculos realizados se van a ver afectados por los instrumentos de medición, para este caso el nivel de exactitud del sensor de humedad es del 95% generando un error de un 5% y para el medidor del caudal existe una imprecisión de 25 mm en altura lo que representa un error del 5% en las mediciones. El error en los cálculos matemáticos

basados en la precisión de los instrumentos de medición esta en un 5% de los resultados finales.

Ref. [35]. La relación entre humedad y el caudal, produce mayor infiltración dando paso al escurrimiento que es el agua producto de la precipitación que fluye por las corrientes provenientes de diversas fuentes y que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser finalmente drenada hasta el final de la cuenca aumentando así su caudal.

La infiltración del agua desenvuelve un rol fundamental en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud lluvias de iguales intensidades, pueden producir caudales diferentes.

Ref. [36] Una de las investigaciones más importantes en la zona que habla sobre predicciones de las variables ambientales considerando el cambio climático en los siguientes 30 años. Se habla de la disminución del caudal debido a la reducción progresiva de la precipitación en la zona. Ese estudio consideraría un serio impacto para las variables ahora estudiadas con una reducción del porcentaje de agua de al menos un 12.9% lo que impacta en la reducción de la humedad de manera significativa y consecuentemente la recolección del agua a través de tecnologías poco convencionales como los atrapanieblas.

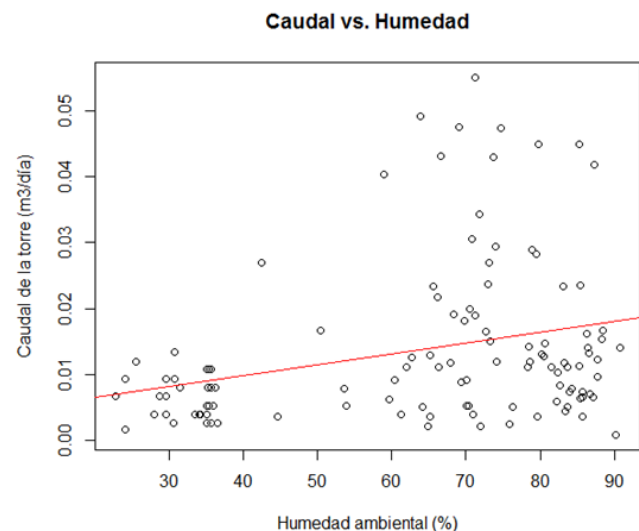


Figura. 7. Relación entre el caudal y la humedad

La figura 8 presenta la relación entre kg DBO/día y la humedad, al relacionar los kg DBO/día con la humedad ambiental las discontinuidades se disminuyen, al no ser tan dispersos los datos se puede plantear una ecuación empírica que puede describir de manera aproximada los Kg de DBO por día dependiendo de la humedad ambiental.

Ref [37]. La relación entre el DBO y el porcentaje de humedad, según estudios de Demanda de Oxígeno por Sedimentos, realizados en Montenevado y Casa Mía (Colombia), existe mayor porcentaje de materia orgánica, cuando se presenta un

alto contenido de humedad. Al existir mayor demanda de oxígeno por parte de los sedimentos orgánicos presentes en el agua, aumentarán los valores de DBO. Se pudo analizar la relación entre la influencia que tiene el % humedad con el DBO de la microcuenca.

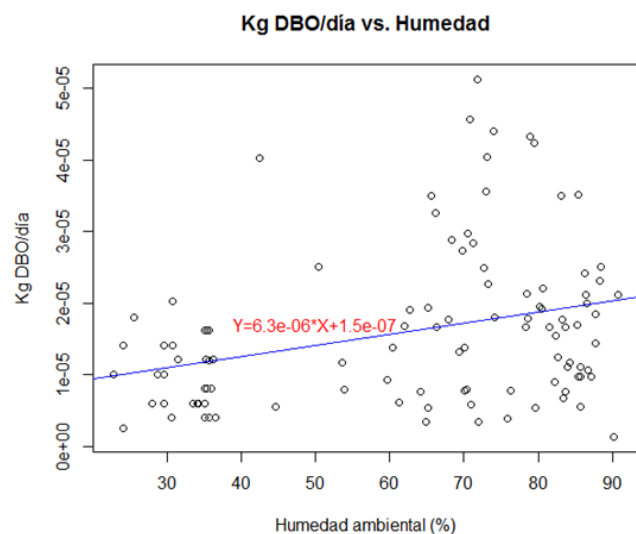


Figura. 8. Relación entre kg DBO/día y la humedad

V. CONCLUSIONES

El análisis multivariable realizado permitió obtener los coeficientes de correlación de Pearson mediante el software RStudio, determinando un coeficiente de correlación alto para la conductividad eléctrica, la dureza, DQO, DBO₅ con respecto a la pendiente de la cuenca. Mientras tanto, el pH presentó una correlación despreciable, el valor más alto de correlación fue de -0.76 que corresponde a la correlación entre la pendiente y la dureza. El análisis matemático realizado para los kg de DBO/día respecto de los parámetros de pendiente, área y longitud del cauce determinaron una relación de dependencia, mientras que para la relación de la DBO con los variables de los sensores de la torre se determinó una mayor correlación entre el DBO y la humedad lo cual permitió encontrar una ecuación de tendencia, los análisis de laboratorio determinaron que el agua de la microcuenca Urkuhuayku posee las condiciones adecuadas para el consumo humano, aunque se debe tomar en cuenta la presencia de coliformes totales lo cual indica que se requiere tratamiento convencional o desinfección antes de su uso.

VI. BIBLIOGRAFÍA

[1] D. E. R. Naturales, *Universidad tecnológica equinoccial*. 2014.

[2] P. D. E. Agua and Y. A. Para, "ECUADOR Enero 2019 Tabla de Contenidos," 2019.

[3] A. P. Oscar Alejandro Viramontes, Luis Fernando Escobaza, Carmelo pinedo, Alfredo pinedo, Víctor Manuel reyes, Jesús Adolfo Román, "Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua," *Tecnociencia*, vol. Vol 1, no. 3, pp. 1–11, 2007.

[4] D. D. Garay and J. Agüero, "Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón," p. 32, 2018.

[5] . Lux, "Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas," *Maest. en Energía y Ambient.*, p. 8, 2014.

[6] B. Aires, "Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina," *Augm Domus*, vol. 4, no. 0, pp. 143–158, 2013.

[7] MAE, "Reglamento Ambiental de Actividades Mineras," *Regist. Of. Supl.* 213, p. 54, 2014.

[8] F. G. Becker, "Análisis de los principales centros de detección de salud y aquellos en hogares de ancianos, indicadores relacionados con la salud y estructuras de co-dispersión," 2015.

[9] J. Alba-Tercedor and A. Sánchez-Montoya, "Um método rápido y simple para evaluar la cualidad biológica de las aguas corrientes basado en el hellawell (1978).," *Limnética*, vol. 4, no. 1978, pp. 51–56, 1986.

[10] D. Carrera-Villacrés *et al.*, "Fog Harvesting and IoT based Environment Monitoring System at the Ilalo volcano in Ecuador," vol. 10, no. 1, pp. 407–412, 2020.

[11] J. A. Pascual, M. F. Naranjo, R. Payano, and O. Medrano, "Tecnología Para La Recolección De Agua De Niebla," *Researchgate*, no. SEPTEMBER, p. 21, 2011, doi: 10.13140/RG.2.1.4806.7048.

[12] L. Rosas, "MANUAL DE DELIMITACIÓN Y," 2009.

[13] P. O. R. Qué, I. En, O. D. E. Las, and C. Hidrográficas, "Ordenación de Cuencas Hidrográficas," *Inf. tecnológica*, vol. 17, no. 3, 2006, doi: 10.4067/s0718-07642006000300001.

[14] J. Ordoñez, "Cartilla Técnica: Aguas Subterráneas - Acuíferos," *Soc. Geogr. Lima*, pp. 2–44, 2011.

[15] T. Otzen and C. Manterola, "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio," *Int. J. Morphol.*, vol. 35, no. 1, pp. 227–232, 2017, doi: 10.4067/S0717-95022017000100037.

[16] S. H. Jenkins, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," *Water Res.*, vol. 16, no. 10, pp. 1495–1496, 1982, doi: 10.1016/0043-1354(82)90249-4.

[17] A. I. I. N°, M. del A. Del, and L. T. Núñez, "Edición Especial Y Ambientalmente," 2016.

[18] S. Aguinaga, "Manual De Procedimientos Analíticos Para Aguas Y Efluentes," p. 174, 1996.

[19] DOF, "NMX-AA-034-SCIFI-2015 Análisis De Agua - Medición De Sólidos Y Sales Disueltas En Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas – Método De Prueba," *D. Of. la Fed.*, p. 16, 2015.

[20] J. L. Á. Rodríguez Silva, "¿Qué puede hacer el software R para resolver tus problemas?," *Rev. Digit. Univ.*, vol. 20, no. 3, 2019, doi: 10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a5.

[21] F. Carmona, "Curso b' asico de R," *Machinery*, 2007.

[22] P. Vinuesa, "Tema 8 - Correlación : teoría y práctica," pp. 1–26, 2016.

[23] A. J. Antonio, "ST Δ ≈ 550 ± 50°C Filtrar ensayo Imhoff Stf Filtrado Δ ≈ 105°C Residuo Δ ≈ 105°C Sedimento Ss Δ ≈ 550 ± 50°C Sdf," vol. 2, no. 23.

[24] R. V. Giles, "Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. Teoría y 75

problemas resueltos,” *Rev. Int. Segur. Soc.*, vol. 62, no. 4, p. 267, 2009, doi: 10.1111/j.1752-1734.2009.01342.x.

[25] INAMHI, “Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación,” *Inst. Nac. Meteorol. e Hidrol.*, no. 2, p. 282, 2015.

[26] Quinteros Carabalí, J. A., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiñana, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D., “Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco.” *Siembra*, 6(2), 046-057. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>, 2019

[27] M. Selvanayagam, “Use of Benthic Macro Invertebrates as a Biological Indicator in Assessing Water Quality of River Puyo, Puyo, Pastaza, Ecuador,” *Am. J. Life Sci.*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2016, doi: 10.11648/j.ajls.20160401.11.

[28] TULSMA, “Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA,” *Regist. Of. Edición Espec. 2 31-mar.-2003*, no. 3399, pp. 1–578, 2003.

[29] D. Carrera Villacrés, E. Guerrón Varela, L. Cajas Morales, T. González Farinango, É. Guamán Pineda, and P. A. Velarde Salazar, “Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone,” *Congr. Cienc. y Tecnol. ESPE*, vol. 13, no. 1, 2018, doi: 10.24133/cctespe.v13i1.807.

[30] TULSMA, “AM097-A Libro VI Anexo I. Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua,” 2015.

[31] L. Fuentes, R. Patiño, P. Lopez and J Lopez “Densidad de bacterias coliformes y su relación con algunas variables Físico-Químicas en aguas de la laguna Los Mártires, Isla de Margarita, Venezuela” *Saber Vol. 21 N° 2*: 126-132. 2009

[32] D. D. B. Vegetal, U. De Valencia, A. Vicent, and A. Estelles, “Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del Río Zahuapan,” no. February 2012, 2016.

[33] H. C. Gonçalves, M. A. Mercante, and E. T. Santos, “Ciclo hidrológico,” *Brazilian J. Biol.*, vol. 71, no. 1 SUPPL., pp. 241–253, 2011.

[34] D. Isea, L. Vargas, J. Durán, J. Delgado, and R. Mendoza, “Biokinetics parameters governing of BOD equation in a crab-processing industry wastewater,” *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, vol. 38, no. 2, pp. 112–121, 2015.

[35] E. G. García, “Hidrología superficial escurrimiento e infiltración”, México, 2017.

[36] D. Carrera-Villacrés *et al.*, “Dynamic model for the management of water resource and water aptitude for irrigation of the Togllahuayco gorge in the Guangopolo micro-basin” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 344 012029. 2020

[37] C. A. Benjumea Hoyos and G. Álvarez Montes, “Demanda de oxígeno por sedimentos en diferentes tramos del río Negro Rionegro, Antioquia, Colombia,” *Prod. + Limpia*, vol. 12, no. 2, pp. 131–146, 2017, doi: 10.22507/pml.v12n2a11.