

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Determinación de la concentración de elementos
mayores en dieciocho ríos de la provincia de Pichincha,
Ecuador**

Proyecto de Investigación

Cristian Alexander Quilumbaqui Cushcagua

Ingeniería Ambiental

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título
de Ingeniería Ambiental

Quito, 15 de diciembre de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Determinación de la concentración de elementos mayores en dieciocho
ríos de la Provincia de Pichincha, Ecuador**

Cristian Alexander Quilumbaqui Cushcagua

Calificación : _____

Nombre del profesor, Título académico : Valeria Ochoa-Herrera, Ph.D.

Firma del profesor : _____

Co – asesora de tesis, Título académico : Laurence Maurice, Ph.D.

Firma Co – asesora : _____

Quito, 15 de diciembre de 2017

Derechos del Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Cristian Alexander Quilumbaqui Cushcagua

Código: 00105269

Cedula de identidad: 1003412986

Lugar y fecha: Quito, 15 de diciembre de 2017

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, hermanas y mi familia por apoyarme a alcanzar mis metas profesionales y estudiantiles en esta prestigiosa universidad. Así mismo, agradezco a Nina Delaunay por todo el apoyo brindado durante mi carrera, sobre todo en los momentos difíciles y culminantes.

Mis agradecimientos a mis tutoras Valeria Ochoa y Laurence Maurice quienes me apoyaron en el desarrollo de la tesis, a José Mora quien me colaboró en el desarrollo del análisis estadístico, a José Daza quien nos acompañó en todas las salidas de campo, a Esteban Tamayo y a los profesores de la carrera de Ingeniería Ambiental.

Resumen

La contaminación de los ríos por las actividades antropogénicas es un problema de gran interés a nivel mundial. Las descargas directas de las aguas residuales a los ríos representan focos de contaminación que deterioran los ecosistemas, afectan la vida acuática y limitan las utilidades del agua río abajo. El objetivo de este estudio fue describir el nivel de calidad ambiental de agua de dieciocho ríos de la provincia de Pichincha, en la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas, los cuales fueron San Pedro, Pita, Monjas, Río Blanco, Mindo, Cinto, Chiche, Pisque, Machángara, Pilatón, Caoni, Pachijal, Mashpi, Alambí, Guachalá, Granobles, Guayllabamba y Pedregales. Las concentraciones de elementos mayores Ca, Mg y Na y de parámetros físico-químicos fueron determinadas en este estudio. Muchos ríos evaluados no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental nacional e internacional en especial para los valores de DQO_T, DBO₅, pH, fosfato, conductividad, amonio, nitrato, Na, oxígeno disuelto, Ca y Mg. Los ríos más contaminados son los que reciben los efluentes industriales y las aguas servidas de las zonas pobladas. Con el objetivo de interpretar los datos obtenidos en este estudio, se utilizó el análisis de componentes principales, lo cual permitió establecer la correlación entre cada par de variables y reducir la dimensionalidad de los datos a tan solo dos dimensiones con las cuales se puede describir todo el conjunto de datos analizados sin perder información relevante. Se estableció los dos primeros CP que almacenan en conjunto un 71% de información. Así mismo, se establecieron las variables con más de 80% de información, las cuales ayudan a observar la similitud entre los ríos, los cuales fueron ST, conductividad, turbidez, SST, DQO_T y Na. Finalmente, se organizaron los ríos con dos clasificaciones en 4 y 3 subgrupos y se comprobó sus similitudes dentro de los subgrupos. Este trabajo permitió subrayar el problema de contaminación de los ríos de la provincia, en especial alrededor de Quito. Para recuperar la calidad ambiental de estos ríos afectados por las aguas residuales, es indispensable establecer sistemas de tratamiento de aguas servidas municipales y de efluentes industriales.

Palabras claves: calidad de agua, elementos mayores, ríos, ACP, Pichincha, Ecuador.

ABSTRACT

Water contamination in river due to anthropogenic activities is an important issue of great interest worldwide. Wastewater direct discharges into rivers represent a terrible source of pollution that deteriorate ecosystems, damage aquatic life and limit the uses of water downstream. This study aimed to describe the environmental quality standard of water from eighteen rivers in the province of Pichincha, in the Esmeraldas river basin, which were rivers San Pedro, Pita, Monjas, Río Blanco, Mindo, Cinto, Chiche, Pisque, Machángara, Pilatón, Caoni, Pachijal, Mashpi, Alambí, Guachalá, Granobles, Guayllabamba y Pedregales. The concentrations of major elements Ca, Mg and Na and physical-chemical parameters were determined. Many rivers do not comply with the law and values are above or below the limit values listed in national and international environmental regulations, especially the values of COD_T , BOD_5 , pH, phosphate, conductivity, ammonium, nitrate, Na, dissolved oxygen, Ca and Mg. The most polluted rivers are those that receive industrial effluents and sewage from populated areas. Then, for the purposes of analyzing the obtained data, the analysis of main components allowed to establish the correlation between each pair of variables and reduce the dimension of the 18 variables to only two dimensions with which the entire analyzed data can be described without losing relevant information. The first two PCs that collectively store 71% of information were established. Likewise, the variables with more than 80% of information were established, which were TS, conductivity, turbidity, TSS, COD_T and Na, and which help to observe the similarity between the rivers. Finally, rivers were organized with two classifications in 4 and 3 subgroups and their similarities were verified within the subgroups. This work allowed to highlight the problem of pollution of the rivers of the Pichincha province, especially around Quito and its suburbs. In order to recover the environmental quality of these rivers, it is essential to establish systems for the treatment of municipal wastewater and industrial effluents.

Keywords: water quality, major elements, river, PCA, Pichincha, Ecuador.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	10
2. Área de estudio	12
2.1 Hidrología, geología, topografía y climatología	12
2.2 Localización de los puntos de muestreo	14
3. Materiales y Métodos	15
3.1 Recolección, preparación de las muestras y medición <i>in situ</i>	15
3.2 Caracterización físico – química.....	15
3.3 Elementos mayores	16
3.4 Análisis de componentes principales	17
4. Resultados y Discusión.....	18
4.1 Parámetros <i>in situ</i>	18
4.2 Caracterización físico – química del agua	20
4.3 Elementos mayores en las muestras de agua	24
4.4 Análisis estadístico (ACP)	27
5. Conclusiones	35
6. Bibliografía	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones certificadas de los elementos en el CRM 1640a, NIST, USA.	16
Tabla 2. Parámetros de operación para el ICP – OES localizado en el LIA-USFQ.....	17
Tabla 3. Resultados de los parámetros físico - químicos de los 18 ríos analizados en la cuenca del río Esmeraldas	19
Tabla 4. Resultados de la caracterización físico-química de los dieciocho ríos de la cuenca del río Esmeraldas analizados.	21
Tabla 5. Precisión, reproducibilidad, límite de detección (LD) y límite de cuantificación (LC) para el análisis de elementos mayores por ICP – OES.....	24
Tabla 6. Resultados de los elementos mayores Mg, Na y Ca medidos en los 18 ríos evaluados en la provincia de Pichincha por el ICP - OES.....	25
Tabla 7. Matriz de correlación con los coeficientes de correlación de Pearson para las variables analizadas en los 18 ríos evaluados en la provincia de Pichincha.	29
Tabla 8. Coeficientes de los componentes principales, valores propios, % proporción por CP y % acumulado en base a 18 variables analizadas en este estudio.....	30
Tabla 9. Componentes principales obtenidos con el programa Minitab17 en base a 18 variables analizadas en este estudio.....	31
Tabla 10. Matriz de confusión de la clasificación en los grupos A, B, C, D.....	33
Tabla 11. Coeficientes de determinación R^2 de cada uno de los CP con las variables normalizadas.....	33

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas (Quilumbaqui, 2017)	13
Figura 2. Puntos de muestreo de los dieciocho ríos evaluados en la provincia de Pichincha (Quilumbaqui, 2017).....	14
Figura. 3 Variación de DQO_T , nitrato, amonio, fosfato, pH y OD para los 18 ríos evaluados en este estudio en la subcuenca del río Blanco (A) y del río Guayllabamba (B) en comparación con los límites máximos permisibles nacionales e internacionales. Límites máximos establecidos en la Tabla 2, Anexo 1 del acuerdo ministerial 097 que revisa y actualiza el libro IV del TULSMA sobre criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestres en aguas dulces, marinas y de estuarios; la directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas; las partes B y C del Anexo 1 de la directiva 98/83/CE del Consejo relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano y la guía canadiense de calidad de agua para la protección de la vida acuática.....	23
Figura 4. Concentración de Mg, Na, Ca en mg/L en los dieciocho ríos evaluados en la provincia de Pichincha en la subcuenca del río Blanco (A) y en la subcuenca del río Guayllabamba (B) y comparación con los niveles guías de la Tabla B del Anexo 1 de la directiva 80/778/EEC.	27
Figura 5. Gráfico de puntuación del CP1 vs CP2. Clasificación de los ríos por subgrupos denominados A (●), B (■), C (◆) y D (▲).....	32
Figura 6. Gráfico de puntuación del CP1 vs CP2 simplificada y ubicación de los 3 subgrupos conformados.....	34
Figura 7. Concentraciones en Na, DQO_T , SST y ST para los ríos de los 3 subgrupos clasificados en este estudio.....	35
Figura 8. Turbidez (izquierda) y conductividad (derecha) para los ríos de los 3 subgrupos clasificados en este estudio	35

1. Introducción

El Ecuador cuenta con importantes recursos de agua dulce y los ríos son una fuente principal de abastecimiento de este recurso para el país [1,2]. Sin embargo, la descarga de aguas residuales generadas durante las actividades antropogénicas constituyen un problema de contaminación ya que contienen sustancias peligrosas que pueden afectar el ecosistema y la salud pública [3]. De hecho, las aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales generadas por las actividades humanas son focos de contaminación de metales pesados, agentes infecciosos, desechos fecales, químicos, detergentes o plásticos y nutrientes, entre otros, para los cuerpos de agua y sedimentos. De esta manera, los ríos aledaños a las ciudades o zonas pobladas están expuestos mayormente a ser contaminados ya que en muchos casos son los receptores de las descargas de aguas residuales [1,2] y por ende tienen una mala calidad de agua [3–5].

El alto costo de operación y mantenimiento de los tratamientos de aguas servidas explica, en parte, la ausencia y puestas en marcha de sistemas de tratamientos adecuados de aguas residuales para países en vías de desarrollo. En efecto, en el Ecuador la mayoría de las aguas residuales son descargadas directamente al sistema de alcantarillado, los cuales a su vez se descargan sin ningún tipo de pre – tratamiento en los ríos aledaños a las ciudades [1,6]. Hasta la actualidad, la mayoría de las ciudades ecuatorianas no disponen de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y solo el 8% de las aguas residuales son tratadas antes de ser descargadas [2]. En Quito, las aguas residuales son descargadas en su mayoría en los ríos Machángara y Monjas [1]. Afortunadamente, la descontaminación de los ríos y quebradas de Quito es visto como un objetivo de suma importancia por parte del gobierno local, quienes están impulsando alianzas público privadas para tratar las aguas residuales. La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales de la capital se inauguró este año en Quitumbe en el sur de la ciudad y beneficia a 75 000 habitantes y tiene capacidad para tratar 100 litros por segundo. Otro proyecto, en cuanto al tratamiento de aguas residuales, es el Vindobona que está en San Antonio de Pichincha, al norte de la ciudad, el cual podrá tratar 7000 litros por segundo es decir 70 veces mayor a la capacidad de la PTAR de Quitumbe [7].

La calidad del agua de los ríos se puede determinar en base a parámetros físico-químicos que pueden ser indicadores de contaminaciones por descargas de aguas residuales, efluentes industriales o agrícolas tales como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto (OD), potencial redox (ORP), y las concentraciones en amonio (NH_4^+), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), sulfuros (S^{2-}), fluoruro (F^-), fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno total (DQO_T), demanda química de oxígeno soluble (DQO_S), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos totales (ST), entre otros. Adicionalmente, se pueden analizar elementos mayores tales como calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), aluminio (Al), hierro (Fe) y Molibdeno (Mo).

Los elementos mayores tienen una importante función biológica, biogeoquímica y ecológica ya que hacen posibles las formas de vida en el ecosistema acuático. Ca, Mg y Na contribuyen a la alcalinidad y funcionan como buffers [8]. El Ca es importante para la formación de las conchas de carbonatos de calcio de los invertebrados acuáticos, el control del balance osmótico, la formación de los dientes y huesos de los vertebrados y las contracciones musculares en varios organismos acuáticos [8]. El Mg es necesario para las plantas en el proceso de fotosíntesis. El Na y K son electrolitos indispensables en las

células. El Al influye en la disponibilidad de fósforo, la solubilidad y la acidez del agua, el Al inorgánico, por su parte, es tóxico para los organismos acuáticos en concentraciones altas [8]. El Mo es utilizado por enzimas de bacterias, plantas y animales y no está presente en concentraciones altas pero su rol es indispensable. En plantas, por ejemplo, permite la fijación biológica del nitrógeno en varias especies a través de la simbiosis con bacterias fijadoras [9]. En animales superiores, el Mo actúa como catalizador para movilizar las reservas de hierro del hígado, transferir átomos de oxígeno al agua, formar ácido úrico, desintoxicar compuestos con nitrógeno, evitar la formación de cristales ácidos en las articulaciones y mantener la función de las hormonas sexuales masculinas. Además, es un cofactor de la hemoglobina, mantiene la fijación de calcio en el tejido óseo y favorece el crecimiento [10]. El Fe, Fe^{2+} o Fe^{3+} , es indispensable para el funcionamiento de hemoglobinas, como cofactor de varias enzimas y en la respuesta inmune en infecciones patógenas [11]. Estos elementos están relacionados con las actividades humanas relacionadas a la industria petrolera tales como las sales de las aguas de formación de los procesos petroleros [4]. El Mo también puede provenir de la metalurgia o minería y puede ser tóxico para la salud humana según la OSHA [12]. Sin embargo, los elementos mayores pueden provenir de fuentes naturales, por ejemplo, el Na puede proceder de fuentes hidrotermales de los volcanes [13].

La contaminación de metales pesados es de gran preocupación ya que representan un serio problema para la biota acuática y el ambiente en general debido a su toxicidad, persistencia, bioacumulación, biodisponibilidad, biomagnificación, ciclos biogeoquímicos y riesgos [4,5,14]. Para la salud humana, los metales pesados pueden causar enfermedades tanto agudas como crónicas y cánceres. Pueden afectar el aparato digestivo, renales, cardíacos, respiratorio, problemas dérmicos y cerebrales y hasta causar problemas reproductivos como abortos y malformaciones [4,14]. Los metales con mayor toxicidad son: Hg, As, Cr, Pb, Cd, Ni y Zn [15]. La presencia de metales pesados en los cuerpos de agua y sedimentos se originan por las interrelaciones que existen entre el agua, sedimentos y la atmósfera en contacto como resultado de las fuerzas hídricas naturales, biológicas y químicas [4,16]. El cambio de pH, temperatura o potencial redox pueden desencadenar la liberación de metales pesados a la columna de agua y de esta manera ingresar a la cadena trófica [4]. En el ambiente acuático, los metales pesados pueden acumularse rápidamente en los sedimentos por adsorción y pasar a los cuerpos de agua por procesos como el intercambio iónico, sustitución de un metal, adsorción, disolución o por la turbulencia de la corriente de agua [14,17]. Por todas estas razones, futuras investigaciones deberían tomar en cuenta estos contaminantes, en especial en los ríos de Pichincha, donde las ciudades carecen de buenos sistemas de tratamientos de agua y donde existen numerosas empresas que descargan sus efluentes.

De acuerdo a la literatura, existen pocos estudios realizados sobre la calidad del agua de los ríos Machangara, Monjas, Guayllabamba y San Pedro en cuanto a la calidad del agua [18]. Según Campaña et al. (2017) los parámetros que sí cumplen con la normativa ecuatoriana son temperatura, OD y pH para los ríos Machangara y Monjas. En efecto, Según Voloshenko-Rossin et al., (2015) los dos ríos no cumplen con la norma ecuatoriana para DQO, DBO₅, OD y Turbidez. Por otro lado, solo el río Machangara cuenta con un análisis de metales pesados de cromo (Cr) y cadmio (Cd), los cuales superan los límites permisibles de la normativa ecuatoriana de aguas para uso agrícola y preservación de la vida acuática en ríos [20]. Estudios de la caracterización del río Guayllabamba indican la presencia de contaminación, ya que SST, DQO, DBO₅, nitrógeno y Coliformes superan los límites máximos permisibles establecidos en la legislación ecuatoriana en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) en la Tabla

2 del anexo 1 sobre calidad de agua [19]. Aguas arriba del río San Pedro, al sur de Quito, en el sector el Chaupi, si cumple con la norma ecuatoriana. Sin embargo, río abajo del río San Pedro las aguas se ven afectadas por las descargas de las aguas residuales ya que por el sector de Cumbaya las concentraciones no cumplen con la norma ecuatoriana para la preservación de la vida acuática para los parámetros de DQO_T , DBO_5 , NH_4^+ y OD [19,21]. Existe un estudio para los elementos de K, Mg, Mn, Pb y Fe para el río San Pedro, donde se puede observar que hay una alta concentración de K los cuales superan la norma ecuatoriana para la vida acuática y uso para riego [21]. Adicionalmente, existe un estudio de elementos mayores, en muestras de sedimentos, en la cuenca del río Esmeraldas donde se determinó que existe una alta concentración de Mg y Na [4]. Con respecto a los demás ríos, no existe información sobre su estado de contaminación tanto de parámetros físico-químicos básicos como de elementos mayores.

El objetivo general de este proyecto de investigación es determinar el nivel de calidad ambiental del agua de dieciocho ríos de la provincia de Pichincha los cuales son San Pedro, Pita, Monjas, Río Blanco, Mindo, Cinto, Chiche, Pisque, Machángara, Pilatón, Caoni, Pachijal, Mashpi, Alambí, Guachalá, Granobles, Guayllabamba y Pedregales. Los objetivos específicos son: (i) realizar una caracterización físico-química en base a parámetros básicos y concentraciones de elementos mayores en muestras de agua de los ríos seleccionados de Pichincha, (ii) determinar si las concentraciones de elementos mayores y parámetros físico-químicos básicos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental nacional e internacional, (iii) realizar un análisis de componentes principales de las variables y (iv) clasificar los ríos según sus características y niveles de contaminación.

2. Área de estudio

2.1 Hidrología, geología, topografía y climatología

En el Ecuador existen 79 cuencas hidrográficas, 72 de ellas desembocan en el Océano Pacífico y 7 en la Amazonia. El área de las cuencas hidrográficas que se vierten al Océano Pacífico es de 123 216 km², mientras que el área de las cuencas que se vierten en la Amazonia es de 131 726 km². La cuenca del río Esmeraldas se forma en la región norte del país y comprende las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Santo Domingo de los Tsachilas, Esmeraldas y el norte de la provincia de Manabí (*Figura 1*). Esta cuenca tiene un área de 21 553 km², lo cual representa 17.49% del área total de las cuencas que desembocan en el Océano Pacífico. Se divide en cinco subcuencas hidrográficas que constituyen el río Blanco, Guayllabamba, Canande, Viche, Teaone y drenes menores [22].

El área de estudio es la provincia de Pichincha, la cual se encuentra dentro de las cuencas hidrográficas de los ríos Esmeraldas y Napo. Las subcuencas del río Blanco y Guayllabamba inician en esta provincia dentro de la cuenca del río Esmeraldas [22]. La cuenca del río Blanco recibe los afluentes del río Cinto, Caoni y Mindo y Pilatón mientras que la subcuenca del río Guayllabamba recibe los afluentes del Alambí, Mashpi, Pachijal, Monjas, San Pedro, Pita, Machángara, Chiche, Pisque, Guachalá, Granobles y Pedregales [23].

La provincia de Pichincha alberga alrededor de 2 576 000 habitantes y tiene una extensión de 9 494 km² e incluye la capital del Ecuador [24]. Esta provincia presenta áreas muy diversas incluyendo una parte de los Andes orientales, occidentales y un área de la Costa que van desde altitudes de 115 hasta 5 790 m.s.n.m, por lo tanto presenta numerosos climas desde temperado seco, al noreste de Quito, hasta sub-tropical lluvioso en la parte occidental de la Provincia, pasando por zonas de páramo lluvioso, húmedo en las cordilleras o sub-temperado y temperado húmedo en la parte oriental [25]. Esto da lugar a la existencia de diversos ecosistemas que van desde estepas espinosas y bosques secos, al noreste de Quito, hasta páramo pluvial en las alturas y bosques húmedos, muy húmedos y bosques pluviales en zonas más bajas de piemontañas [26].

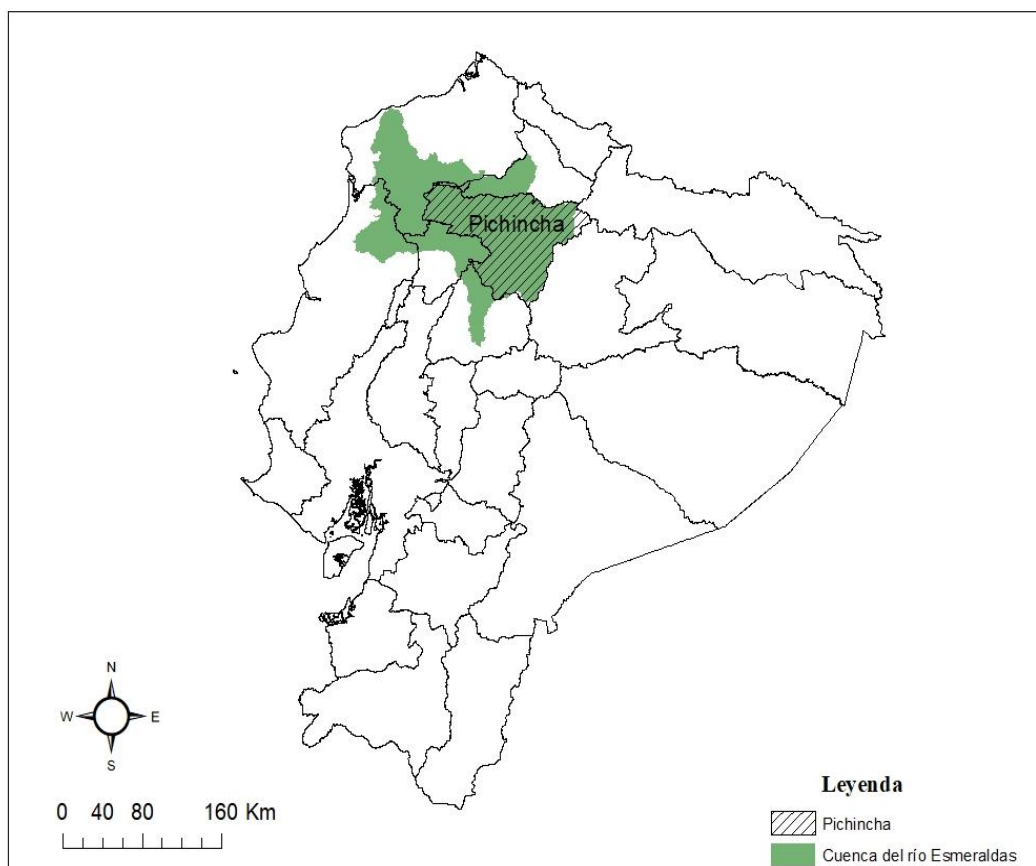


Figura 1. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas (Quilumbaqui, 2017)

La geomorfología de la zona conjuga factores tectónicos, volcánicos y erosivos. Existen numerosos volcanes en la región entre los cuales varios son considerados como activos por parte del Instituto Geofísico EPN tales como Pulumahua, Guagua Pichincha, Cayambe, El reventador, Antisana, Cotopaxi, entre otros. En la provincia de Pichincha afloran principalmente rocas de origen volcánicas del Plio-Pleistoceno a Pelistoceno superior que constituidas por lavas, ceniza, depósitos de avalanchas y vulcano-sedimentos. De manera más específica, en el área de menor altitud de los ríos del noroeste, los cuales son el río Blanco, Mindo, Caoni, Pachijal y Mashpi, afloran lahares, cenizas y lodos volcánicos. Mientras en la zona sur-oeste, en la subcuenca del río Pilatón, aparece además sedimentos volcánicos, lavas y rocas andesíticas. En la zona este de la provincia, que corresponde a las subcuencas de todos los otros ríos estudiados, afloran piedras pómez, cenizas, rocas andesíticas y piroclásticas [27].

2.2 Localización de los puntos de muestreo

La elección de los ríos se realizó con el fin de evaluar el impacto de las actividades antropogénicas en zonas no pobladas y pobladas sobre la calidad de agua de los ríos y del ecosistema. En efecto, algunos de los ríos considerados en este estudio atraviesan zonas pobladas que no disponen de plantas de tratamiento de aguas residuales y que reciben descargas continuas domésticas e industriales. Por otro lado, existen algunos ríos que atraviesan zonas dedicadas mayoritariamente a la agricultura y ganadería, y otros ríos en áreas prístinas. Así, con el fin de cubrir todo el área de la provincia de Pichincha y representar los diferentes casos de uso de agua y posible contaminación mencionados, los dieciocho ríos que fueron seleccionados en este estudio son San Pedro, Pita, Monjas, Blanco, Mindo, Cinto, Chiche, Pisque, Machangara, Pilatón, Caoni, Pachijal, Mashpi, Alambí, Guachalá, Granobles, Guayllabamba y Pedregales.

Los ríos San Pedro, Pita, Machangara, Chiche, Guayllabamba y Monjas, ubicados al Este de la provincia y encerrados en un rectángulo color rojo, son los ríos que reciben las aguas residuales domésticas e industriales. A excepción de los ríos Granobles, Guachalá, Pisque y Pedregales, puntos azules, están ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y poco pobladas. El río Pisque también recibe las aguas residuales de Cayambe. Mientras que los ríos ubicados al Oeste de la provincia, es decir los ríos Mashpi, Pachijal, Caoni, Alambí, Blanco, Mindo, Cinto y Pilatón, son ríos ubicados en áreas prístinas.

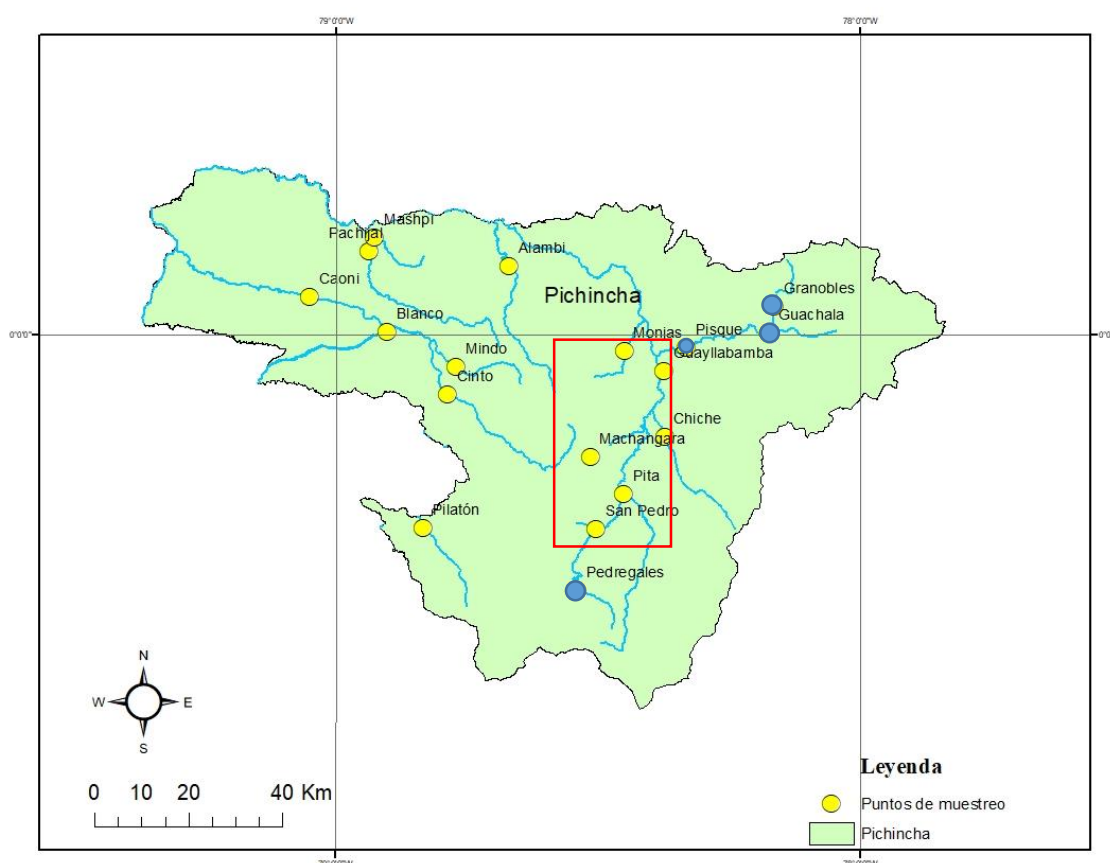


Figura 2. Puntos de muestreo de los dieciocho ríos evaluados en la provincia de Pichincha (Quilumbaqui, 2017)

En cada uno de los ríos seleccionados, la ubicación de los puntos de muestreo (*Figura 2*) fue elegida según la facilidad de acceso a los ríos para poder realizar la toma de las muestras. Se realizaron seis salidas de campo comprendidas entre el mes de enero y abril de 2017, período que corresponde a la época lluviosa de la zona para recolectar muestras de agua y sedimentos. Las muestras de agua fueron analizadas en el presente proyecto mientras que los sedimentos serán analizados en investigaciones posteriores.

3. Materiales y Métodos

3.1 Recolección, preparación de las muestras y medición *in situ*

Las salidas de campo para el muestreo de agua se realizaron entre el 27 de enero y el 7 de abril de 2017 en seis salidas de campo. El tipo de muestreo fue simple y las muestras de agua fueron recolectadas de las orillas de los ríos empleando guantes de nitrilo sin polvo. Para la recolección de muestras, se utilizaron botellas de teflón de 2 L, previamente lavadas con una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10 % y ubicadas en una plancha caliente a una temperatura de 120°C durante 24 horas y lavadas con agua destilada.

En cada punto de muestreo se midieron por triplicado los parámetros *in situ*, es decir pH, temperatura, conductividad, OD y ORP utilizando el multiparámetro Thermo Scientific Model A329 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). La turbidez se midió con un turbidímetro Thermo Scientific Model AQUAFast AQ4500 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Al mismo tiempo, se registraron las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo en el sistema Universal Transverse de Mercator (UTM – WGS 84).

Las muestras de agua fueron filtradas dentro de 1 – 4 horas después de haber sido recolectadas. Para la filtración se utilizó filtros con un tamaño de poro de 0.45µm. 30 mL de las muestras filtradas fueron colocadas en botellas nalgene anteriormente lavadas para la posterior medición de elementos mayores. Estas muestras fueron preservadas con ácido nítrico (HNO₃ 68% v/v) para obtener una solución final de contenido de 2% v/v HNO₃ para mineralizar la materia orgánica ya que es un oxidante fuerte que no interfiere en el análisis de los elementos mayores. El resto de las muestras de agua se almacenaron en un congelador a 4°C para el posterior análisis.

3.2 Caracterización físico – química

La determinación de los parámetros físico – químicos de las muestras de agua recolectadas se realizaron siguiendo los métodos estandarizados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental LIA – USFQ, los cuales están basados en los Métodos Estandarizados para Análisis de Aguas Residuales (APHA, 2014). Las muestras fueron filtradas empleando filtros de 0.45 µm y los análisis se realizaron en el sobrenadante. Amonio (NH₄⁺) (SM 4500 NH₃ D), cloruros (Cl⁻) (SM 4500 Cl⁻ D), fluoruro (F⁻) (SM 4500 F⁻ C) y nitrato (NO₃⁻) (SM 4500 D) fueron medidos empleando electrodos selectivos Thermo Fisher Scientific (Waltham, MA, USA). Sulfatos (SO₄²⁻) (SM 426 C), fosfato (PO₄³⁻) (SM 4500-P B), y sulfuros (S²⁻) (SM 4500S2-D) fueron determinados por métodos colorimétricos. La DBO₅ fue determinada utilizando el sistema OxiTop (WTW,

Weilheim, Germany). La DQO_T (SM 5220) y DQO_S (SM 5220) se midieron utilizando el método colorímetro, usando un Spectronic 20D+ spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Los SST y ST, fueron medidos por métodos gravimétricos. Todos los parámetros se determinaron por triplicado excepto la DBO_5 .

3.3 Elementos mayores

El análisis de elementos mayores comprende los elementos calcio, magnesio, sodio, potasio, aluminio, hierro y molibdeno (Ca, Mg, Na, K, Al, Fe y Mo). Estas mediciones se realizaron por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP – OES) utilizando el equipo ThermoScientific iCAP 7400 en el Laboratorio de ingeniería Ambiental LIA – USFQ. La limpieza del material de vidrio y plástico para la medición de los elementos mayores se realizó en una solución de ácido clorhídrico al 10% durante 24 horas.

Todas las muestras se prepararon en un matriz de HNO_3 2% v/v y fueron analizadas en dos fases. En la primera fase (26/06/2017) se realizó una sola medición de cada muestra para los elementos de K, Ca, Mg, Na, y en la segunda fase (07/07/2017) la medición se realizó por duplicado para todos los elementos indicados. En ambas corridas las muestras fueron diluidas en un factor de 1:10. El ICP-OES fue analizado en configuración radial para poder medir concentraciones altas de elementos en el rango de mg/L. La longitud de onda de cada elemento fue Ca (317.933nm), Na (589.592nm), Mg (279.079nm), K (766.490nm), Al (167.079nm), Fe (259.940nm) y Mo (202.030nm). El argón (99.99% de pureza, Linde, Ecuador) fue utilizado como un gas de plasma, gas nebulizador y gas auxiliar. El nitrógeno (99.99% de pureza, Linde, Ecuador) se utilizó para purgar el equipo.

Para la medición los elementos mayores se utilizaron blancos, material de referencia certificada (CRMs por sus siglas en inglés), y adicionalmente un estándar interno de Itrio de 10 mg/L. Los blancos corresponden a una solución de HNO_3 2% v/v aplicado para lavar el equipo y determinar los límites de detección y cuantificación. Las curvas de calibración se prepararon a partir de siete soluciones estándar. Para ello, se utilizó una solución multi – elemental (Sigmaaldrich multielement standart solution 6, USA) de 100 mg/L. Los CRMs (*Tabla 1*) se emplearon para determinar la precisión, reproductibilidad y porcentaje de recuperación del equipo. Todas las concentraciones de elementos mayores fueron seleccionadas basados en los porcentajes de recuperación.

Tabla 1. Concentraciones certificadas de los elementos en el CRM 1640a, NIST, USA.

Elemento	Unidad	Concentración certificada
Ca	(mg/L)	5.615 ± 0.021
Mg	(mg/L)	1.059 ± 0.004
Na	(mg/L)	3.137 ± 0.031
K	(mg/L)	0.579 ± 0.002
Al	(μ g/L)	53 ± 1.8
Fe	(μ g/L)	36.8 ± 1.8
Mo	(μ g/L)	45.60 ± 0.61

La calibración del equipo se realizó en el siguiente orden: blancos, soluciones estándar, CRMs, blancos y finalmente las muestras de los ríos. Los blancos y CRMs se usaron cada

diez muestras analizadas para el control del seguro de calidad. Todas las diluciones fueron hechas con una solución de HNO₃ 2% v/v. Los parámetros de operación del equipo se presentan en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Parámetros de operación para el ICP – OES localizado en el LIA-USFQ.

Parámetro	Unidades	Configuración
Spray nebulizador		gas ciclónico
Nebulizador		gas concéntrico
Tubo central		2.0 mm
Flujo de gas nebulizador	(L/min)	0.5
Flujo de gas refrigerante	(L/min)	12
Flujo de gas auxiliar	(L/min)	0.5
Energía RF	(W)	1150
Tiempo de exposición	(s) UV	15
Tiempo de exposición	(s) Vis	5

Las formulas empleadas para determinar el límite de detección (LD), límite de cuantificación (LC), precisión, reproductibilidad y porcentaje recuperación se presentan a continuación: donde σ es la desviación estándar de los blancos

$$\text{Límite de detección} = 3 * \sigma \text{ blancos} \quad (1)$$

$$\text{Límite de cuantificación} = 10 * \sigma \text{ blancos} \quad (2)$$

$$\text{Precisión (\%)} = \frac{\sigma_{\text{CRMs}}}{\text{promedio de la concentración de los CRMs}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Recuperación} = \frac{\text{Concentración obtenida de análisis}}{\text{Concentración certificada}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Reproductibilidad} = \frac{\text{Concentración media de CRM} - \text{concentración certificada CRM}}{\text{Concentración de los CRMs}} \quad (5)$$

3.4 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) se realizó empleando el software estadístico Minitab17 para comprender cuales son los parámetros más significativos y cuáles son las correlaciones entre cada una de las variables. Previo al análisis estadístico, se realizó una prueba de normalidad a todos los parámetros medidos. Los datos que no tenían una distribución normal, se normalizaron utilizando la función de transformación de Johnson (Anexo A). El valor de p utilizado para un mejor ajuste en la transformación fue de 0.01. La normalización, en muchos casos, tiende a incrementar la influencia de las variables quienes tienen una varianza pequeña y disminuir la influencia de las variables con varianzas grandes. La estandarización se realiza cuando se trabaja con variables con

diferentes unidades porque esto hace que las variables sean adimensionales [28]. Finalmente, el análisis del ACP se realizó sobre los parámetros normalizados y con coeficientes de variación mayor a 0.10. La matriz de correlación se utilizó para observar la relación entre cada uno de los parámetros analizados. Se determinaron los Componentes Principales (CP), los valores propios y porcentajes de proporción por CP y porcentajes acumulados. Finalmente, el algoritmo Random Forest del software libre Weka 3.8 se utilizó para realizar una clasificación de subgrupos de los ríos y determinar la exactitud de la clasificación de los ríos.

4. Resultados y Discusión

Los parámetros físico-químicos y elementos mayores fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el acuerdo ministerial 097 que revisa y actualiza la Tabla 2 del Anexo 1 del libro IV del TULSMA sobre criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. Los parámetros que no están considerados en la normativa ecuatoriana fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en otros países. Se consideró en especial las normativas o recomendaciones de la Unión Europea, Estados Unidos y Canadá.

4.1 Parámetros *in situ*

Las muestras de agua fueron tomadas en un solo punto en cada río cuyas coordenadas se especifican en el Anexo B. El promedio y desviación estándar de los parámetros *in situ* se presentan en la *Tabla 3*.

El pH se encuentra en un rango entre 7.15 y 9.86. Según la norma ecuatoriana el rango de pH para agua dulce es de 6.5 – 9 [29], por lo tanto, los ríos que exceden la normativa nacional son el Chiche, Pisque y Machángara que tienen valores de pH mayores a 9. El pH es importante para la vida acuática ya que la concentración de la mayoría de los componentes químicos presentes en el agua es dependiente del pH [30]. Estos valores se contradicen con los resultados encontrados por Campaña, Gualoto, and Chiluisa-Utreras (2017) quienes afirmaron que los ríos Machángara y Monjas tenían pH dentro de los límites establecidos en la legislación ecuatoriana.

La temperatura varía entre 13.43 y 22.30°C encontrándose dentro del rango para ríos de la región alto – andina [31]. La temperatura es un factor importante que influye mucho en la vida acuática y el estado de los ecosistemas y al igual que el pH, influye en las reacciones químicas y la tasa de reacción en la vida acuática. Un incremento en la temperatura puede causar un cambio en las especies de peces presentes en un cuerpo de agua y entonces cambiar los ecosistemas [30].

La conductividad de los ríos estudiados se encuentra entre 19.87 y 616.90 $\mu S/cm$. Los ríos Caoni, Pilatón, Pachijal, Mashpi, Alambí y río Blanco tienen valores inferiores a 150 $\mu S/cm$, mientras que los ríos San Pedro y Monjas tienen valores superiores a 500 $\mu S/cm$. Los demás ríos se encuentran dentro del rango de 150 a 500 $\mu S/cm$ establecido por la US EPA [32]. Un valor alto de conductividad indica una alta presencia de iones disueltos en solución [30].

El OD establecido para la conservación de la vida acuática por la norma ecuatoriana sugiere un valor no menor a 6 mg/L. Todos los ríos analizados tienen valores superiores a 6 mg/L con excepción del río Monjas que registró un valor de 5.36 mg/L. Este resultado comprueba estudios anteriores realizados en el río Monjas en los cuales se identificó valores bajos de oxígeno disuelto. Esto probablemente se debe a que el río Monjas recibe las descargas de aguas residuales de Quito, lo que aumenta la materia orgánica en el río y a su vez la presencia de microorganismos, aumentando así la demanda de oxígeno disuelto [18]. Sin embargo, el río Machángara que recibe la mayor parte de las aguas residuales de Quito registra un valor de O₂ mayor al del río Monjas con 6.77 mg/L. Este hecho puede darse ya que la temperatura del río Machangara es menor a la del río Monjas ya que el punto de muestreo se realizó en una zona con gran turbulencia.

Los valores de ORP varían entre 297.13 y 489.53 mV. El ORP es un parámetro importante ya que puede regular el comportamiento de muchos compuestos químicos presentes en el agua como la solubilidad o movilidad de ciertos elementos esenciales para los sistemas biológicos.

Finalmente, de acuerdo a los resultados de turbidez se puede observar que los ríos Monjas, Chiche, Pisque, Machangara y Alambí tienen valores entre 136 y 881.33 NTU. Estos valores altos de turbidez para estos ríos pueden justificarse porque fueron muestreados en la época lluviosa. Mientras que los demás ríos presentan valores bajos de turbidez, lo que significa que son aguas claras.

Tabla 3. Resultados de los parámetros físico - químicos de los 18 ríos analizados en la cuenca del río Esmeraldas

Ríos	pH	T (°C)	ORP (mV)	OD (mg/L)	Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbidez (NTU)
San Pedro	8.00 ± 0.01	13.43 ± 0.06	297.13 ± 3.45	8.23 ± 0.20	529.77 ± 0.06*	22.17 ± 3.30
Pita	8.41 ± 0.01	13.80 ± 0.10	346.70 ± 1.55	8.10 ± 0.05	221.80 ± 0.0	10.73 ± 0.76
Monjas	8.04 ± 0.05	19.60 ± 0.10	323.17 ± 0.55	5.36 ± 0.03*	616.90 ± 0.10*	136.00 ± 15.10
Blanco	7.32 ± 0.09	20.97 ± 0.06	310 ± 10.41	8.76 ± 0.22	53.53 ± 0.08*	1.23 ± 0.03
Mindo	8.37 ± 0.16	17.87 ± 0.15	323.70 ± 0.53	8.27 ± 0.26	139.67 ± 0.15*	1.76 ± 0.11
Cinto	7.20 ± 0.01	20.37 ± 0.29	306.0 ± 0.95	8.06 ± 0.18	232.93 ± 0.64	5.34 ± 0.15
Chiche	9.86 ± 0.04*	14.30 ± 0.10	378.23 ± 2.06	8.12 ± 0.09	172.67 ± 0.90	313.00 ± 2.65
Pisque	9.55 ± 0.17*	16.63 ± 0.12	408.2 ± 2.18	8.02 ± 0.08	273.43 ± 0.40	306.67 ± 4.62
Machangara	9.11 ± 0.03	15.20 ± 0.30	362.70 ± 3.61	6.77 ± 0.24	297.97 ± 1.38	881.33 ± 12.66
Pilatón	8.15 ± 0.01	17.23 ± 0.06	372.23 ± 1.31	9.31 ± 0.20	101.67 ± 0.12*	56.10 ± 3.12
Caoni	7.33 ± 0.15	22.30 ± 0.0	397.07 ± 9.02	9.35 ± 0.33	19.87 ± 0.04*	25.93 ± 1.99
Pachijal	7.15 ± 0.01	21.40 ± 0.00	412.23 ± 11.52	10.32 ± 0.31	44.80 ± 0.02*	5.89 ± 0.21
Mashpi	8.15 ± 0.01	0.00 ± 0.00	435.40 ± 3.65	9.87 ± 0.50	33.72 ± 0.12*	11.07 ± 1.01
Alambí	7.53 ± 0.14	18.50 ± 0.00	489.53 ± 1.12	8.92 ± 0.17	72.07 ± 0.12*	251.33 ± 11.50
Guachalá	8.11 ± 0.02	12.40 ± 0.00	381.40 ± 0.00	7.78 ± 0.62	147. ± 0.69	7.60 ± 0.27
Granobles	7.78 ± 0.03	13.80 ± 0.00	424.23 ± 0.93	6.91 ± 0.07	159.13 ± 0.15	16.70 ± 0.46
Guayllabamba	7.90 ± 0.03	18.20 ± 0.00	402.23 ± 0.15	7.42 ± 0.23	365.00 ± 5.81	56.50 ± 0.66
Pedregales	7.67 ± 0.26	13.53 ± 0.23	328.83 ± 0.64	6.72 ± 0.08	194.00 ± 0.61	11.60 ± 0.26

*Los valores superan los valores máximos permitidos de la normativa ecuatoriana o internacional cuando este parámetro no está contemplado en las leyes nacionales.

4.2 Caracterización físico – química del agua

Los promedios y desviaciones estándares de la caracterización físico-química de las muestras de los 18 ríos evaluados en este estudio se presentan en la *Tabla 4*.

Los valores de DQO_T varían entre 2.16 y 692.08 mg/L. En la normativa ecuatoriana, se considera como valor límite máximo a 40 mg/L para la conservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces [29]. En consecuencia, los ríos Machángara, Monjas, Chiche, Pisque y Alambí, los cuales tienen valores de DQO_T de 692.08, 318.33, 205.82, 179.83 y 64.85 mg/L respectivamente, superan el límite establecido. Valores de DQO_T altos son sinónimos de una contaminación orgánica que puede ser debida a descargas de efluentes, aguas servidas o actividades agrícolas [30,33].

Los valores de DBO₅, por otra parte, alcanzan hasta 80 mg/L. Los análisis de DBO₅ se realizaron solamente para las muestras de agua que presentaban valores de DQO_T mayores a 20 mg/L. En la normativa ecuatoriana, se considera como valor de DBO₅ límite máximo a 20 mg/L para la conservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces [29]. En consecuencia, los ríos Machángara y Monjas, los cuales tienen valores de DBO₅ de 80 y 60 mg/L respectivamente superan el límite establecido. Los valores de DBO₅ miden la cantidad de oxígeno consumido por el proceso natural de descomposición de la materia orgánica. Valores altos de DBO₅ son, entonces, sinónimos de una contaminación orgánica debida, por ejemplo, a las descargas de aguas servidas. Efectivamente, los dos ríos mencionados son receptores de las aguas servidas de la ciudad de Quito.

Los SST van de 3.33 a 520 mg/L. Los ríos ubicados lejos de zonas pobladas no presentan valores altos de SST a la excepción del río Alambí, con 366.67 mg/L. Sin embargo, las muestras del río Alambí se tomaron un día después de fuertes lluvias, lo que podría explicar este valor. Por otra parte, los ríos de las zonas pobladas presentan valores altos de SST, en particular los ríos Machángara, Chiche, Pisque y Monjas con 520, 300, 236.67 y 153.5 mg/L, respectivamente.

Las mediciones de amonio de los ríos evaluados en este estudio oscilan entre 0.13 y 27.48 mg/L. Este parámetro no está considerado en la norma ecuatoriana; mientras que en Europa, 0.50 mg/L es el límite máximo de la concentración en amonio para las aguas destinadas al consumo humano, y para un río considerado de buena calidad el valor debe ser menor a 2 mg/L [34,35]. En consecuencia, y por orden decreciente los ríos Monjas, Machángara, San Pedro, Blanco, Guayllabamba y Chiche presentan elevadas concentraciones de amonio. El amonio en elevadas cantidades es un indicador de contaminación ya que puede provenir de la degradación de la materia orgánica presente en las aguas servidas. En aguas con pH superior a 7, una fracción del amonio se transforma en amoníaco, el cual es tóxico para la vida acuática. Los 6 ríos mencionados, tienen valores de pH superiores a 7.32, lo que sugiere una posible afectación de los ecosistemas de estos ríos debidos a la presencia de amonio en sus aguas [30].

Tabla 4. Resultados de la caracterización físico-química de los dieciocho ríos de la cuenca del río Esmeraldas analizados.

Río	DQO_T (mg/L)	DQO_s (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	Cl^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)	$NO_3^- - N$ (mg/L)	DBO_5 (mg/L)	S^{2-} (mg/L)	F^- (mg/L)
San Pedro	20.00	8.87	52.00	470.00	7.16*	23.78	1.19*	65.85	6.95	3.00	<0.05	0.17
Pita	8.33	5.88	45.00	270.00	0.23	4.45	0.49*	71.62	1.94	N/A	<0.05	0.13
Monjas	318.33*	67.13*	153.50	632.50	27.48*	40.32	3.93*	103.72	3.43	60.00*	<0.05	0.15
Blanco	20.15	11.16	6.67	80.00	4.19*	1.11	0.05	3.50	0.64	1.00	<0.05	0.04
Mindo	2.16	0.66	8.33	90.00	0.19	9.31	0.11*	6.00	0.70	N/A	<0.05	0.04
Cinto	2.16	0.66	6.67	122.50	0.39	21.39	0.06	29.00	0.57	N/A	<0.05	0.05
Chiche	205.82*	94.75*	300.00	597.00	1.01*	28.17	0.18*	19.50	6.31	5.00	<0.05	0.15
Pisque	179.83*	37.92	236.67	806.00	0.27	14.04	0.11*	42.50	10.98*	5.00	<0.05	0.14
Machangara	692.08*	129.93*	520.00	1359.0	20.36*	37.27	0.17*	34.50	6.40	80.00*	<0.05	0.14
Pilatón	2.16	0.00	90.00	182.00	0.22	3.93	0.12*	11.00	0.95	N/A	<0.05	0.05
Caoni	7.01	0.00	20.00	45.00	0.21	2.31	0.10	3.50	11.66*	N/A	<0.05	0.05
Pachijal	2.19	0.00	3.33	61.00	0.22	1.24	0.11*	2.00	0.86	N/A	<0.05	0.03
Mashpi	8.62	0.00	8.33	36.00	0.22	1.06	0.06	4.00	1.19	N/A	<0.05	0.03
Alambí	64.85*	16.65	366.67	521.00	0.24	3.42	0.22*	3.00	1.25	5.00	<0.05	0.04
Guachalá	2.19	0.00	21.67	407.50	0.29	2.53	0.27*	14.00	2.60	N/A	<0.05	0.07
Granobles	13.44	7.01	28.33	182.50	0.29	4.69	0.59*	6.50	4.97	N/A	<0.05	0.04
Guayllabamba	32.72	3.80	90.00	397.00	2.54*	26.51	1.17*	11.50	5.13	N/A	<0.05	0.03
Pedregales	2.19	0.00	18.33	222.00	0.13	13.26	0.30*	6.00	1.56	N/A	<0.05	0.06

*Los valores superan los valores máximos permitidos de la normativa ecuatoriana o internacional cuando este parámetro no está contemplado en las leyes nacionales. **N/A = no aplica.

Los cloruros varía entre 1.06 y 40.32 mg/L. Este parámetro puede provenir de fuentes naturales como la geología de los suelos o de fuentes antropogénicas y puede ser un indicador de contaminación por aguas servidas, entre otras. En Europa, 250 mg/L es el límite máximo de la concentración en cloruros para las aguas destinadas al consumo humano [34]. Ninguno de los ríos estudiados presentan problemas de concentración por cloruros ya que el valor máximo encontrado fue 40.32 mg/L para el río Monjas.

Los valores de fosfato varían entre 0.05 y 3.93 mg/L. El fosfato, como el nitrato, son indicadores de contaminación y pueden provenir de fuente antropogénicas tales como las actividades agrícolas, descarga de efluentes o aguas servidas con materias fecales y detergentes en base a fosfato, etc. El fosfato es un elemento indispensable para el crecimiento de organismos vegetales y una concentración elevada puede producir la eutrofización de los ecosistemas [36]. La legislación canadiense para la protección de la vida acuática y de la US EPA establecen un límite máximo de 0.1 mg/L antes de tener problemas de eutrofización [37,38]. Los ríos presentan valores altos de fosfato; sin embargo, los que son ubicados en zonas naturales tienen valores menores a los que pasan por zonas pobladas. Los ríos Blanco, Cinto, Mashpi, Caoni, Mindo, Pisque, Pachijal y Pilatón registran valores inferiores a 0.12 mg/L. Los ríos Machángara, Chiche, Alambí, Guachalá, Pedregales, Pita y Granobles tienen valores entre 0.12 y 0.59 mg/L. Los tres ríos que presentan los valores más altos 1.17, 1.19 y 3.93 son los ríos Guayllabamba, San Pedro y Monjas, respectivamente los cuales son receptores de aguas servidas y efluentes industriales.

Los valores de sulfato varían entre 2.00 y 103.72 mg/L. En Europa, la normativa establece un límite máximo de concentración de 250 mg/L en aguas destinadas al consumo humano y 150 mg/L para una buena calidad en aguas de superficie [34,35]. La US EPA también estableció un límite de 250 mg/L [39]. En base a estos resultados podemos concluir que ninguno de los ríos presenta una contaminación por este factor ya que el valor máximo encontrado fue 103.72 mg/L para el río Monjas.

Los valores de nitratos oscilan entre 0.57 y 11.66 mg/L. Los nitratos pueden provenir de fuentes naturales y de fuentes antropogénicas, los cuales pueden originarse del uso de abono en las actividades agrícolas o la degradación de la materia orgánica presente en las aguas servidas. En la normativa ecuatoriana, al igual que en la canadiense, se considera como valor límite máximo a 13 mg/L para la conservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces [29,40]. Entonces, podemos concluir que ninguno de los ríos presenta una contaminación preocupante en base a este parámetro ya que el valor máximo encontrado fue de 11.66 mg/L, para el río Caoni. Sin embargo, en Europa, por ejemplo, se considera que una concentración de 10 mg/L es el límite máximo presente naturalmente en los medios acuáticos [35]. Los ríos Pisques y Caoni presentan concentraciones de nitrato que pueden también provocar problemas de eutrofización, daños a los ecosistemas, acidificación de los medios y emisiones de gases a efectos invernaderos [41]. Para el sulfuro, todos los ríos presentan valores inferiores a 0.05 mg/L por lo que no parecen sufrir contaminación de este parámetro.

Los valores de fluoruro varían de 0.03 a 0.17 mg/L. Tampoco existe un límite establecido para este parámetro en la normativa ecuatoriana. En Europa, la normativa establece a 1.5 mg/L el límite máximo de la concentración en fluoruro para las aguas destinadas al

consumo humano [34]. Podemos concluir que ninguno de los ríos presenta una contaminación preocupante de este factor ya que el valor máximo encontrado fue 0.17 mg/L para el río San Pedro.

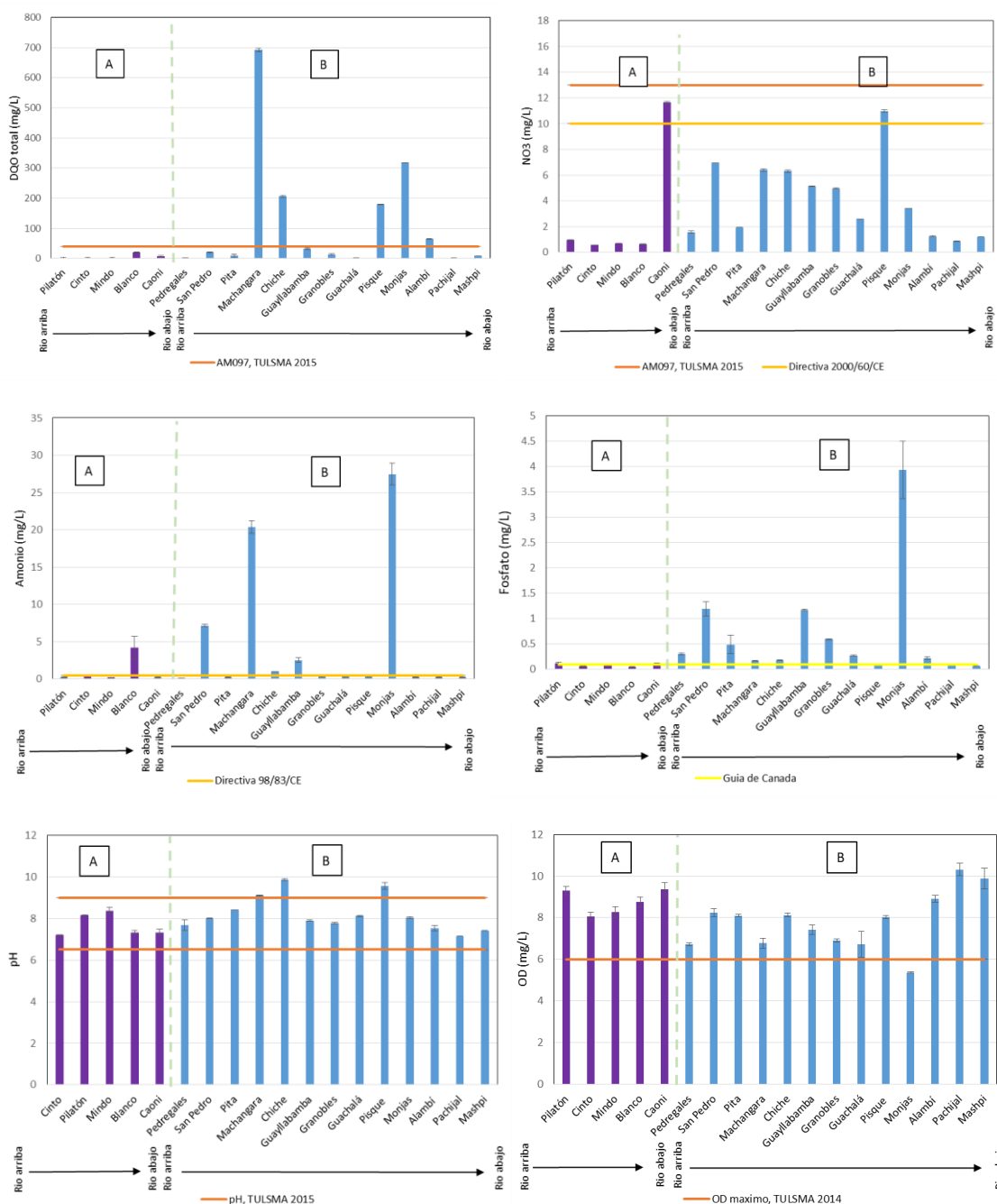


Figura. 3 Variación de DQO_T, nitrato, amonio, fosfato, pH y OD para los 18 ríos evaluados en este estudio en la subcuena del río Blanco (A) y del río Guayllabamba (B) en comparación con los límites máximos permisibles nacionales e internacionales. Límites máximos establecidos en la Tabla 2, Anexo 1 del acuerdo ministerial 097 que revisa y actualiza el libro IV del TULSMA sobre criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestres en aguas dulces, marinas y de estuarios; la directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas; las partes B y C del

Anexo 1 de la directiva 98/83/CE del Consejo relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano y la guía canadiense de calidad de agua para la protección de la vida acuática.

La Figura. 3 presenta los valores de DQO_T, nitratos, amonio, fosfato, pH y OD de todos los ríos evaluados en este estudio divididos por las dos subcuencas analizadas y en orden río arriba – río abajo. La subcuenca A) pertenece al río Blanco y la subcuenca B) al río Guayllabamba. En su mayoría, los ríos que sobrepasan los límites son los ríos de la subcuenca del río Guayllabamba, y en especial los que atraviesan zonas pobladas.

Algunas muestras de agua se tomaron después de un día lluvioso, como es el caso del río Alambí. Esto se debe tener en consideración durante la interpretación de los valores obtenidos ya que una lluvia fuerte conlleva concentraciones altas de DQO, SST, ST, turbidez y conductividad.

4.3 Elementos mayores en las muestras de agua

En la *Tabla 5* se presentan los valores calculados para el límite de detección (LD) y el límite de cuantificación (LC), precisión, reproductibilidad y porcentaje de recuperación para los siete elementos mayores analizados en este estudio (Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mo).

Tabla 5. Precisión, reproductibilidad, límite de detección (LD) y límite de cuantificación (LC) para el análisis de elementos mayores por ICP – OES.

Elementos	Ca		Mg		Na		K		Al	Fe	Mo
	C 1	C 2	C 1	C 2	C 1	C 2	C 1	C 2	C 2	C 2	C 2
Parámetros											
Precisión Prom (%)	0.07	0.00	2.97	5.30	0.78	5.73	87.34	5.66	8.55	0.54	3.29
σ	0.07	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.00	0.06
Reproductibilidad Prom. (%)	0.05	-0.08	-0.07	0.19	0.00	-0.04	-0.56	0.43	3.98	7.12	4.41
% Recuperación	105.42	91.81	93.43	118.53	100.38	96.04	43.90	142.84	497.83	812.22	541.19
Límite de detección (mg/L)	0.20	0.02	0.06	0.06	0.04	0.09	0.03	0.14	0.05	0.01	0.18
Límite de cuantificación (mg/L)	0.66	0.06	0.20	0.21	0.14	0.31	0.10	0.46	0.17	0.04	0.60

* En la corrida 1(C1) se utilizaron 4 blancos y 3 CRMs.

** En la corrida 2 (C2) se utilizaron 8 blancos y 7 CRMs.

Los elementos mayores que presentan porcentajes de recuperación entre 90 y 110% se consideraron aceptables para el estudio. Los elementos K, Fe, Al y Mo presentan valores de porcentajes de recuperación inferiores a 50 o superiores a 140 y hasta más de 800. Los elementos con malos porcentajes de recuperación se reanalizaron cambiando el proceso analítico para que los análisis sean confiables. Por lo tanto, solamente se consideraron los elementos Ca, Mg y Na para el análisis. Las concentraciones en mg/L de los elementos mayores con porcentajes de recuperación aceptables se presentan en la

Tabla 6. Cabe indicar que los cuatro elementos que no se analizaron en este estudio tienen roles importantes en los ecosistemas y deben ser estudiados en un futuro.

Tabla 6. Resultados de los elementos mayores Mg, Na y Ca medidos en los 18 ríos evaluados en la provincia de Pichincha por el ICP - OES.

Código	Río	Mg [mg/L]	Na [mg/L]	Ca [mg/L]
R1	San Pedro	34.21 ± 2.87	73.15±1.26	29.32±2.79
R2	Pita	10.73 ± 0.43	17.73±0.55	16.07±1.52
R3	Monjas	9.28 ± 0.63	58.19±1.90	24.09±2.97
R4	Blanco	2.72 ± 0.27	8.46±0.99	7.92±0.34
R5	Mindo	4.91 ± 0.09	12.01±0.40	15.96±0.94
R6	Cinto	9.00 ± 0.53	16.76±0.78	17.74±1.75
R7	Chiche	7.08 ± 0.84	20.15±0.74	12.71±1.94
R8	Pisque	12.39±0.78	28.62±1.92	46.16±3.71
R9	Machangara	6.05±0.07	31.76±1.03	21.20±1.65
R10	Pilatón	4.42±0.49	8.78±0.76	11.67±1.73
R11	Caoni	2.37±0.08	4.59±0.21	3.70±0.08
R12	Pachijal	3.28±0.22	4.82±0.06	5.82±0.01
R13	Mashpi	3.22±0.01	4.99±0.16	5.82±0.08
R14	Alambí	4.40±0.19	8.90±1.32	10.98±0.00
R15	Guachalá	6.66±0.86	14.57±0.94	15.23±2.03
R16	Granobles	6.63±0.54	14.61±0.42	13.77±0.81
R17	Guayllabamba	13.33±0.43	30.71±1.43	17.86±2.13
R18	Pedregales	10.62±0.35	17.81±1.02	170.26±2.51

La concentración de Mg varía entre 2.37 – 34.21 mg /L. La concentración de Na varía entre 4.59 – 73.15 mg/L y la concentración de Ca varía entre 3.70 – 170. 26mg/L. Los tres elementos mayores analizados son de gran importancia por el rol que desempeñan en los ecosistemas y en particular por sus funciones biológicas, bioquímicas y ecológicas. El Mg participa en los procesos de fotosíntesis dentro de las moléculas de clorofila, así como en otros procesos de control de metabolismo, síntesis celular y balance osmótico [8]. El Ca, por su parte, es indispensable en los organismos acuáticos por ser un elemento esencial en los balances osmóticos, control de la contracción muscular, conformación de los huesos de los vertebrados y de las conchas, también es un componente de las paredes celulares vegetales. El Na es un elemento esencial utilizado por las bombas de transporte activo de las membranas celulares y en los nervios. Finalmente, los tres cationes analizados contribuyen a la alcalinidad de las aguas, y en consecuencia neutralizar los ácidos en las aguas superficiales [8].

Los cationes pueden venir de fuentes naturales como la erosión de los suelos, por ejemplo, la erosión de caliza o dolomita, el intercambio de iones con arcillas o coloides orgánicos así como la erosión de suelos con minerales como albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), ortoclasa (KAlSi_3O_8), tremolita ($\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) o biotita ($\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) [8]. Sin embargo, también pueden provenir de fuentes antropogénicas, de depósitos desde la atmósfera mediante polvos o precipitaciones de

contaminaciones, polvos o emisiones industriales. Los cationes también pueden provenir de la mineralización de los desechos, especialmente Ca y Mg [8].

La presencia de Ca y Mg en el agua definen la dureza de la misma. Una concentración alta de estos cationes puede presentar problemas durante su utilización, especialmente donde se debe desarrollar procesos de ablandamiento antes de poder utilizarla ya que pueden provocar depósitos e incrustaciones en las instalaciones [42].

En la normativa europea, se establecen que los niveles de guía para aguas destinadas al consumo humano son 30 mg/L para Mg, 100 para Ca y 20 para Na [43]. Si comparamos los valores obtenidos con los valores guías, varios ríos presentan valores superiores. El río San Pedro presenta una concentración de 34.21mg/L de Mg. Los ríos San Pedro, Monjas, Machangara, Guayllabamba, Pisque y Chiche presentan concentraciones superiores a los de la guía, con 73.15, 58.19, 31.76, 30.71, 28.62 y 20.15 mg/L respectivamente, para Na. En el caso del Ca, solamente el río Pedregales sobrepasa el límite de la guía con una concentración de 170.26 mg/L. En términos generales se puede observar que los ríos San Pedro, Guayllabamba, Machangara, Pisque y Monjas, que atraviesan zonas pobladas, tienen concentraciones más elevadas de Na y concentraciones altas de Mg en los ríos San Pedro, Pita, Guayllabamba y Pisque en comparación con los ríos que están en áreas poco pobladas o áreas naturales. El caso del río Pedregales es interesante ya que presenta una concentración en Ca muy superior a las de los otros ríos. Este río, ubicado en la parroquia de Machachi, atraviesa zonas poco pobladas dedicadas a la agricultura y ganadería. Por lo tanto, una posible explicación de la presencia de Ca en el río Pedregales, es la existencia en la zona de la industria lechera para la fabricación de queso [44].

En la Figura 4 se presentan las concentraciones en elementos mayores de todos los ríos evaluados en este estudio. En general se puede observar que los ríos de la subcuenca del río Guayllabamba presentan las concentraciones más elevadas, excepto los de río de abajo: los ríos Alambí, Pachijal y Mashpi que se encuentran en zonas naturales.

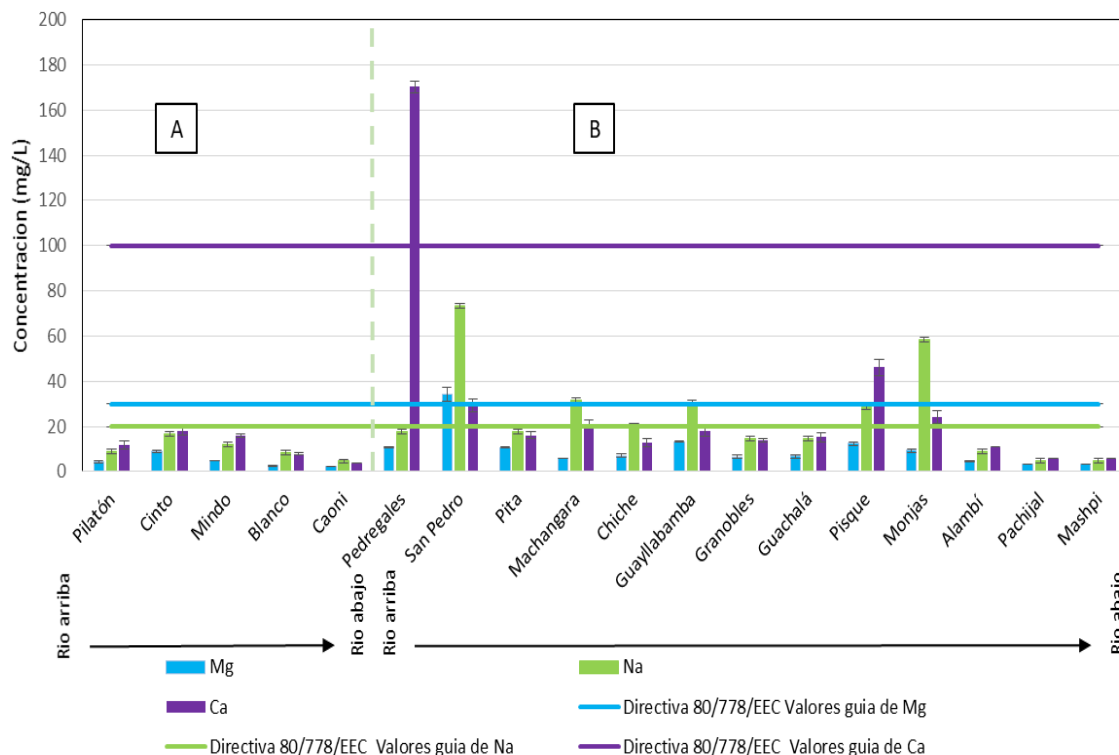


Figura 4. Concentración de Mg, Na, Ca en mg/L en los dieciocho ríos evaluados en la provincia de Pichincha en la subcuenca del río Blanco (A) y en la subcuenca del río Guayllabamba (B) y comparación con los niveles guías de la Tabla B del Anexo 1 de la directiva 80/778/EEC.

4.4 Análisis estadístico (ACP)

El análisis de componente principales (ACP) se realizó tomando en cuenta todos los resultados obtenidos en el análisis de parámetros *in situ*, caracterización físico-química y los elementos mayores con porcentajes de recuperación entre 90 y 110% los cuales fueron Ca, Mg y Na. De acuerdo a la prueba de normalidad, el sulfuro y DBO_5 no siguen una distribución normal, por tal razón, no se incluyeron en el ACP. Adicionalmente, se utilizó una prueba del coeficiente de variación, por lo que las variables cuyo coeficiente de variación fue menor a 0.1 fueron excluidas del ACP. Finalmente, el análisis ACP se realizó con solo 18 parámetros que están detallados en el Anexo A.

El ACP es una herramienta cuyo propósito es simplificar un problema multivariado. Es decir, reducir el hiper – espacio original de los parámetros analizados a otro más sencillo, el cual pueda representarse sin perder información significativa (33). El ACP ayuda a comprender de manera más sencilla como están relacionadas todo el conjunto de datos obtenidos y determinar así la similitud entre los ríos [33,45].

La matriz de correlación entre las diferentes variables medidas se determinó con *Minitab17*. En la *Tabla 7* se muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre cada par de variables. De acuerdo a esta matriz de correlación, se puede observar que existe una alta correlación positiva de 0.51 a 0.94 entre la conductividad y solidos totales,

amonio, cloruros, fosfatos, sulfato, fluoruro, magnesio, sodio y calcio. Estos resultados confirman los estudios de Vega et al. (1998), quienes afirman que el sulfato, calcio, magnesio, potasio, sodio, solidos disueltos y conductividad son responsables de la mineralización del agua y presentan una alta correlación positiva. Por otra parte, Vega et al. (1998) también encontraron correlaciones bajas entre la conductividad y el amonio y fosfato con coeficientes de correlación de 0.37 y 0.40 respectivamente.

Según los coeficientes de Pearson encontrados, también existe correlación positiva superior a 0.51 entre turbidez y DQO, SST, ST, cloruros, nitrato. Los SST, por su parte presentan una correlación positiva superior a 0.51 con ST, cloruros, sulfato, nitrato, fluoruro y sodio. Finalmente, el Mg tiene correlación alta con Ca, Na, conductividad, sulfato, cloruros, fosfato y fluoruro. En el estudio de Vega et al. (1998) encontraron los mismos resultados para las correlaciones del Mg excepto para el fosfato.

Por el contrario, el ORP no tiene correlaciones altas con ninguna otra variable. Correlaciones negativas significan un aumento en una variable mientras que otra disminuye. Una correlación negativa existe entre el oxígeno disuelto y conductividad, ST, cloruros, fosfato, sulfato, magnesio, calcio y sodio con valores entre -0.51 a -0.74. Vega et al. (1998) muestran que efectivamente existe una alta correlación negativa entre el oxígeno disuelto y la DBO₅, DQO, Mn, amonio, fosfato y sulfatos. Al contrario, en dicho estudio los autores encontraron correlaciones negativas, pero bajas, entre el oxígeno disuelto y la conductividad, el Mg, Na y Ca con valores de -0.33, -0.44, -0.28 y -0.01, respectivamente.

Tabla 7. Matriz de correlación con los coeficientes de correlación de Pearson para las variables analizadas en los 18 ríos evaluados en la provincia de Pichincha.

	T °C	ORP	OD	Cond.	Turbidez	DQO _T	DQO _s	SST	ST	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Mg	Na	Ca	
T °C	1.00																		
ORP	0.24	1.00																	
OD	<u>0.53</u>	0.40	1.00																
Cond.	-0.35	-0.45	-0.70	1.00															
Turbidez	-0.30	0.41	-0.31	0.36	1.00														
DQO _T	-0.11	0.22	-0.36	0.45	<u>0.74</u>	1.00													
DQO _s	-0.29	-0.02	-0.45	0.49	<u>0.57</u>	<u>0.90</u>	1.00												
SST	-0.43	0.22	-0.44	0.40	<u>0.91</u>	<u>0.78</u>	<u>0.74</u>	1.00											
ST	-0.41	0.03	-0.51	<u>0.51</u>	<u>0.78</u>	<u>0.78</u>	<u>0.81</u>	<u>0.84</u>	1.00										
NH ₄ ⁺	-0.10	-0.23	-0.43	<u>0.64</u>	0.37	<u>0.71</u>	<u>0.74</u>	0.45	<u>0.59</u>	1.00									
Cl ⁻	-0.39	-0.33	-0.73	<u>0.82</u>	<u>0.55</u>	<u>0.52</u>	<u>0.63</u>	<u>0.63</u>	<u>0.67</u>	0.50	1.00								
PO ₄ ³⁻	-0.53	-0.05	-0.64	<u>0.74</u>	0.45	0.32	0.29	0.42	0.35	0.32	<u>0.61</u>	1.00							
SO ₄ ²⁻	-0.45	-0.49	-0.65	<u>0.83</u>	0.39	0.44	<u>0.53</u>	<u>0.52</u>	<u>0.53</u>	<u>0.54</u>	<u>0.75</u>	<u>0.54</u>	1.00						
NO ₃ ⁻	-0.30	0.27	-0.23	0.29	<u>0.68</u>	<u>0.55</u>	0.32	<u>0.54</u>	0.48	0.18	0.32	0.46	0.28	1.00					
F ⁻	-0.59	-0.45	-0.47	<u>0.71</u>	0.46	0.46	<u>0.58</u>	<u>0.55</u>	<u>0.60</u>	0.48	<u>0.69</u>	<u>0.53</u>	<u>0.78</u>	0.46	1.00				
Mg	-0.66	-0.37	-0.54	<u>0.80</u>	0.28	0.21	0.33	0.34	0.39	0.36	<u>0.66</u>	<u>0.65</u>	<u>0.72</u>	0.24	<u>0.69</u>	1.00			
Na	-0.57	-0.45	-0.74	<u>0.94</u>	0.42	<u>0.51</u>	<u>0.63</u>	<u>0.54</u>	<u>0.63</u>	<u>0.64</u>	<u>0.85</u>	0.68	<u>0.84</u>	0.31	<u>0.79</u>	<u>0.88</u>	1.00		
Ca	-0.61	-0.43	-0.71	<u>0.67</u>	0.24	0.16	0.28	0.34	0.46	0.12	<u>0.68</u>	0.48	<u>0.62</u>	0.19	<u>0.57</u>	<u>0.81</u>	<u>0.78</u>	1.00	

*Números marcados con valores de correlación de Pearson > 0.50

En la *Tabla 8* se presentan los componentes principales (CP) en orden decreciente de varianza calculados con Minitab17. Los CP son una combinación lineal de las variables y cada una es independiente entre sí. Cada uno de los CP guarda información de las variables y muestran el peso de cada una de ellas. En general, se considera satisfactorio si un análisis de CP acumula más del 60% de la varianza total [45]. La *Tabla 8* presenta solamente seis CP que retienen más del 90% de información, es así que el CP1 retiene el 54% de información y este va disminuyendo de tal manera que el CP6 retiene apenas el 3%. Por lo tanto, el hiper – espacio del sistema, se puede reducir de las dieciocho variables a solo dos dimensiones con las cuales es posible describir el comportamiento de todo el conjunto de datos sin perder información relevante empleando únicamente los dos primeros CP ya que proporcionan el 71% de información.

Tabla 8. Coeficientes de los componentes principales, valores propios, % proporción por CP y % acumulado en base a 18 variables analizadas en este estudio.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
T °C	-0.19	-0.14	0.39	0.42	-0.09	-0.57
ORP	-0.09	-0.44	-0.30	0.21	-0.24	0.17
OD	-0.24	-0.15	0.02	-0.03	0.50	-0.04
Cond.	0.28	0.17	0.12	0.37	0.00	-0.09
Turbidez	0.21	-0.37	-0.22	0.02	-0.03	-0.19
DQO _T	0.22	-0.36	0.21	0.05	0.00	0.04
DQO _s	0.24	-0.23	0.30	-0.21	-0.06	0.22
SST	0.24	-0.31	-0.11	-0.23	-0.09	-0.07
ST	0.26	-0.24	0.05	-0.30	-0.11	-0.07
NH ₄ ⁺	0.21	-0.10	0.49	0.20	0.08	0.38
Cl ⁻	0.28	0.05	0.05	0.04	-0.24	-0.35
PO ₄ ³⁻	0.23	0.07	-0.29	0.53	-0.11	0.30
SO ₄ ²⁻	0.27	0.14	0.11	0.02	0.18	-0.21
NO ₃ ⁻	0.16	-0.26	-0.35	0.24	0.43	-0.21
F ⁻	0.27	0.08	0.00	-0.15	0.54	-0.07
Mg	0.25	0.25	-0.16	0.06	0.10	0.15
Na	0.30	0.15	0.07	0.06	-0.01	0.06
Ca	0.23	0.26	-0.21	-0.22	-0.26	-0.26
Valor propio	9.71	3.07	1.53	0.85	0.71	0.54
% Proporción	0.54	0.17	0.09	0.05	0.04	0.03
% Acumulado	0.54	0.71	0.80	0.84	0.88	0.91

Con los coeficientes de los CP se determinaron las coordenadas para realizar el gráfico de puntuación. Las coordenadas de la *Tabla 9* son los CP1 y CP2. A partir de las coordenadas de la *Tabla 9* se realizó la *Figura 5*, la cual permite visualizar 4 subgrupos de ríos organizados por cuadrante denominados A, B, C y D.

Tabla 9. Componentes principales obtenidos con el programa Minitab17 en base a 18 variables analizadas en este estudio.

Código	Río	CP1	CP2
R1	San Pedro	4.29	2.05
R2	Pita	0.98	1.19
R3	Monjas	5.33	0.52
R4	Blanco	-3.28	0.13
R5	Mindo	-2.18	2.02
R6	Cinto	-1.13	2.53
R7	Chiche	2.32	-1.81
R8	Pisque	2.86	-1.41
R9	Machangara	4.66	-2.48
R10	Pilatón	-1.88	-0.01
R11	Caoni	-3.34	-1.78
R12	Pachijal	-5.06	-0.13
R13	Mashpi	-4.6	-1.3
R14	Alambí	-0.8	-3.13
R15	Guachalá	-0.12	1.51
R16	Granobles	0.04	-0.3
R17	Guayllabamba	1.81	-0.27
R18	Pedregales	0.11	2.68

En base a esta clasificación por subgrupos, se puede observar que los ríos se agrupan de acuerdo al grado de contaminación de los mismos. El subgrupo A está conformado por los ríos San Pedro, Monjas, Pita y Pedregales. Estos ríos mantienen una relación geográfica por una parte, ya que Pedregales es un afluente del río San Pedro, el cual, al igual que el río Pita, es un afluente del río Guayllabamba. El río Pedregales se encuentra en zonas rurales, mientras que los ríos San Pedro, Pita y Monjas están en zonas urbanas. El río Monjas recibe las aguas residuales del norte de Quito, mientras que el río Pita recibe las de Sangolquí [46]. El río Pedregales presenta valores altos de Ca y el río San Pedro de Mg. Sin embargo, dentro de estos 4 ríos, el río Monjas presenta niveles altos de conductividad, DQO, DBO₅, SST, amonio, fosfato, Na y valores los más bajos de OD.

En el subgrupo B están los ríos Blanco, Mindo, Cinto y Guachalá. Los tres primeros ríos se encuentran cercanos geográficamente, en áreas de bosque lluvioso y zonas muy poco pobladas. Los ríos Mindo y Cinto son afluentes del río Blanco. El Guachalá, por su parte, se encuentra al este de Pichincha, en una zona poco poblada, y nace de los páramos del Cayambe. Por ende, estos ríos tienen una buena calidad de agua, excepto el Blanco que presenta valores ligeramente superiores para el amonio, y el Mindo y Guachalá para el fosfato.

Los ríos Pilatón, Caoni, Pachijal, Mashpi y Alambí se encuentran en el subgrupo C. Los ríos Pachijal, Caoni, Mashpi y Alambí se encuentran en zonas de bosque lluvioso, al noroeste de la Provincia. El Pilatón, por su parte está ubicado en el suroeste, pero también en zonas muy poco pobladas. Estos ríos también presentan buena calidad de aguas, excepto la DQO_T para el Alambí, nitrato para el Caoni y fosfato para el Pilatón, Pachijal y Alambí.

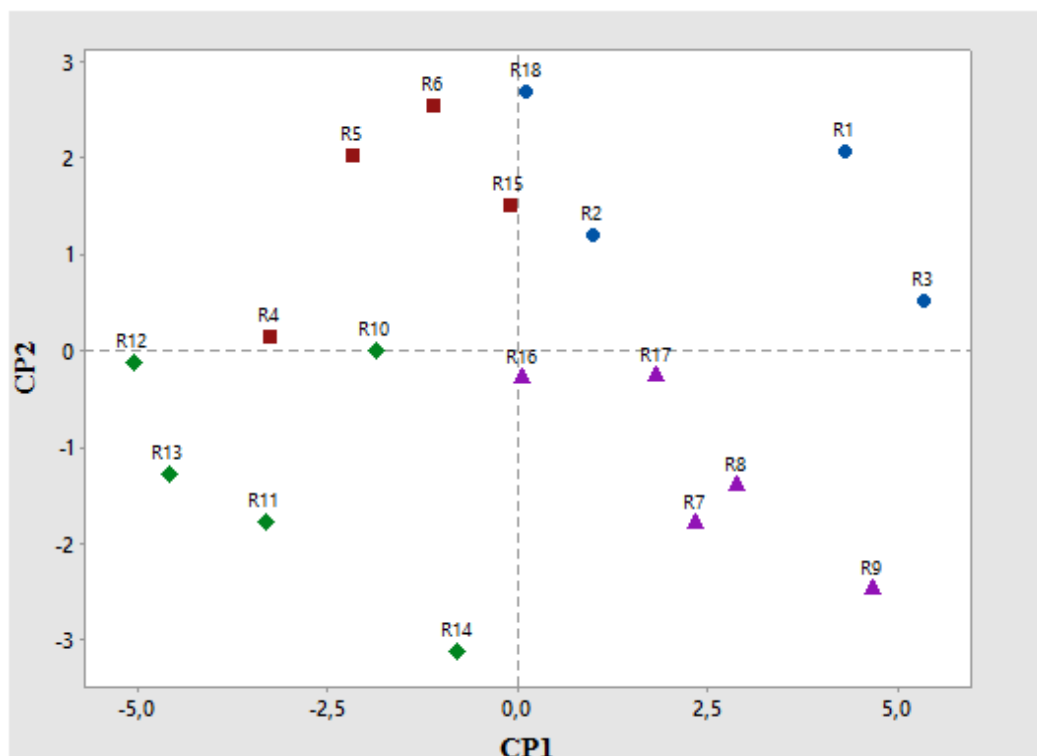


Figura 5. Gráfico de puntuación del CP1 vs CP2. Clasificación de los ríos por subgrupos denominados A (●), B (■), C (◆) y D (▲).

Finalmente, en el subgrupo D se encuentran los ríos Chiche, Pisque, Machangara, Granobles y Guayllabamba. Todos estos ríos están en la zona este de Pichincha, en los valles del este de la ciudad de Quito. El río Granobles desemboca en el río Pisque, el cual es un afluente, con los ríos Chiche y Machangara del río Guayllabamba. Estos ríos están en zonas pobladas y reciben los efluentes industriales y las aguas servidas de las ciudades de Quito, sus valles y Cayambe. Estos ríos son los que presentan más contaminaciones y en especial altos valores de DQO, DBO₅, SST, amonio, fosfato, pH y Na.

El algoritmo Random Forest se utilizó para determinar un subconjunto pequeño de variables con la cual se pueda describir la clasificación obtenida con todo el conjunto de datos en el ACP y determinar la exactitud de la clasificación de los subgrupos que se efectuó. Se utilizó el método de búsqueda “Wrapper” para determinar el mejor subconjunto de variables. Se encontró que este subgrupo está compuesto por las variables OD, conductividad, ORP, Mg, Na y Ca. El mérito del mejor subconjunto encontrado fue de 88.9%. La validación cruzada de estos resultados permitió determinar que de la clasificación anteriormente mencionada de los subgrupos de ríos, quince ríos fueron clasificados correctamente y tres incorrectos. Por lo tanto, la exactitud fue de 83.33% y el 16.67 % para los subgrupos clasificados correctamente e incorrectamente respectivamente. Los resultados se encuentran en la *Tabla 10*. La clasificación del grupo A hubo tres aciertos y un error. En el grupo B hubo dos aciertos y dos errores. En la clasificación del grupo C se determinó 5 aciertos y un error. Finalmente en el grupo D hubo 5 aciertos y un error.

Tabla 10. Matriz de confusión de la clasificación en los grupos A, B, C, D.

a	b	c	d	Clasificación
3	0	1	0	a = A
1	2	0	1	b = B
0	0	5	0	c = C
0	0	0	5	d = D

Adicionalmente, los coeficientes de determinación R^2 se calcularon para determinar cuál es la información retenida y perdida por cada variable. En la *Tabla 11* se indican los coeficientes para el PC1 y PC2 y la información retenida por los dos PC. Se puede observar que todas las variables retienen más del 40% de información. Sin embargo, el Na, Conductividad, DQO_T , Turbidez, SST y ST retienen más del 80% de la información de todos los parámetros. Esto quiere decir que la calidad de agua de los ríos analizados puede ser descrita con solo estos seis parámetros analizados ya que contienen más del 80% de la información de todo el conjunto de datos analizados. El parámetro que más información retiene es el Na con un 96 %.

Tabla 11. Coeficientes de determinación R^2 de cada uno de los CP con las variables normalizadas.

Variables	CP1 R^2	CP2 R^2	Total
Na	0.89	0.07	<u>0.96</u>
DQO_T	0.47	0.40	<u>0.87</u>
SST	0.56	0.29	<u>0.84</u>
Turbidez	0.43	0.41	<u>0.84</u>
Conductividad	0.75	0.09	<u>0.84</u>
ST	0.64	0.17	<u>0.81</u>
Mg	0.59	0.19	0.78
Cl^-	0.77	0.01	0.78
SO_4^{2-}	0.71	0.06	0.77
DQO_s	0.55	0.16	0.72
Ca	0.50	0.21	0.71
F^-	0.69	0.02	0.71
ORP	0.07	0.60	0.68
OD	0.57	0.07	0.64
PO_4^{3-}	0.50	0.02	0.51
NH_4^+	0.42	0.03	0.46
NO_3^-	0.25	0.20	0.44
T °C	0.35	0.06	0.42

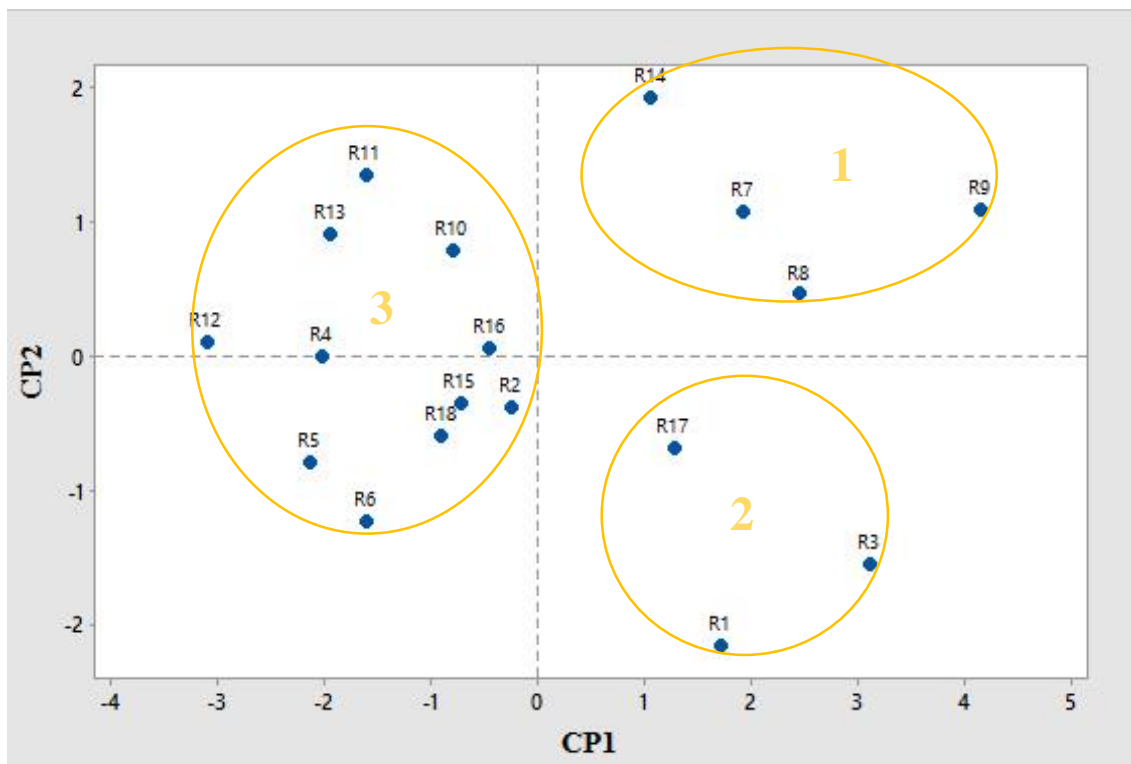


Figura 6. Gráfico de puntuación del CP1 vs CP2 simplificada y ubicación de los 3 subgrupos conformados

A partir de estos seis parámetros, se realizó nuevamente la gráfica de puntuación, la cual se encuentra en la *Figura 6*. En esta nueva representación, se puede visualizar de mejor manera la clasificación de los tres grupos de ríos. El primer subgrupo, en esta ocasión, está conformado por los ríos Pisque, Chiche, Machángara, y Alambí. Estos ríos atraviesan zonas pobladas, a excepción del río Alambí, el cual presenta niveles altos de algunos parámetros que pueden explicarse por las condiciones climáticas de los días anteriores del muestreo. En el segundo subgrupo están los ríos San Pedro, Monjas, Guayllabamba, los cuales también atraviesan gran parte de las zonas pobladas. En el grupo tres, se encuentran todos los demás ríos, estos presentan niveles más bajos de contaminantes y están ubicados en zonas menos pobladas en comparación con los dos primeros subgrupos. Los ríos Pita y Granobles son los ríos del último subgrupo los más similares a los ríos de los dos primeros subgrupos. Esto se puede explicar a que estos ríos no están en zonas urbanas densas pero si pasan por zonas pobladas y agrícolas.

El algoritmo Random Forest se utilizó de nuevo para determinar la exactitud de los subgrupos que fueron correctamente clasificados. Los resultados encontrados fueron los mismos que en el primer caso. Quince ríos fueron clasificados correctamente y tres incorrectos y entonces el porcentaje de casos correctamente e incorrectamente clasificados fue de 83.33% y 16.67 %, respectivamente.

Las *Figura 7* y *Figura 8* representan los seis primeros parámetros de la *Tabla 11* para todos los ríos estudiados y permite visualizar los tres grupos de ríos clasificados. Se puede ver que los dos primeros grupos tienen valores de ST y DQO_T altos. Adicionalmente, el segundo grupo registra valores de conductividad altos mientras el primer grupo tiene los

valores de Na, SST y turbidez altos. Los ríos del tercer grupo presentan la mejor calidad de agua.

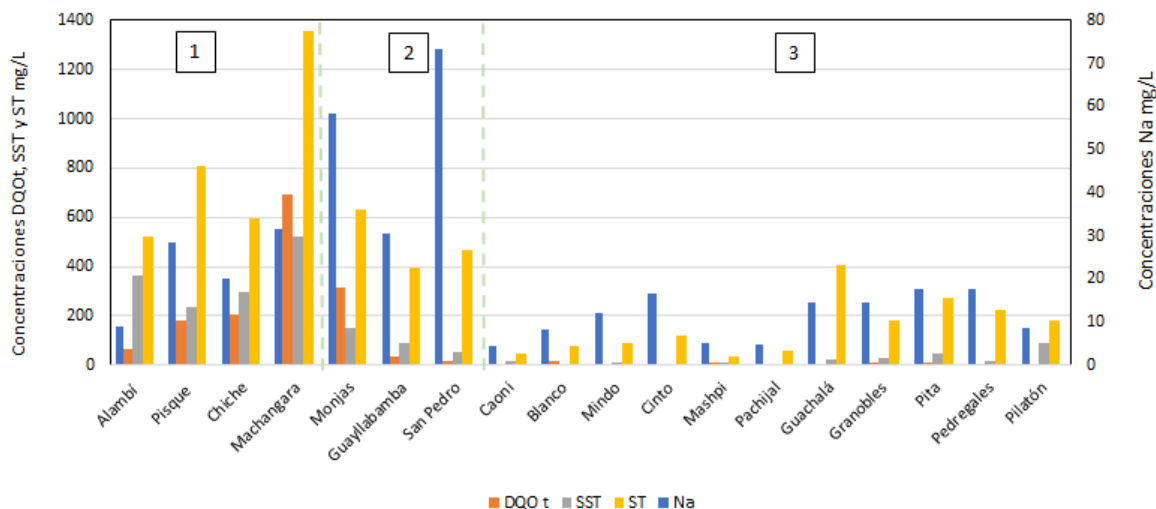


Figura 7. Concentraciones en Na, DQO_T, SST y ST para los ríos de los 3 subgrupos clasificados en este estudio.

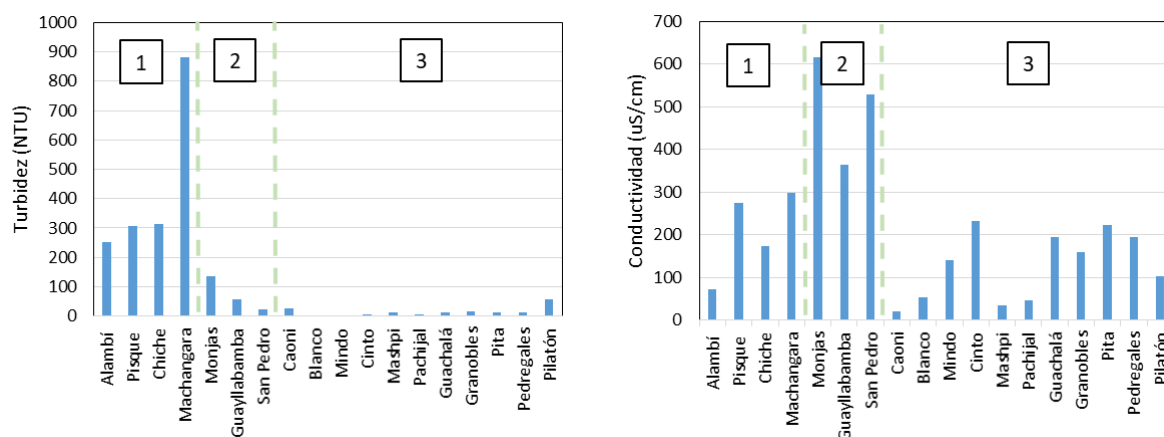


Figura 8. Turbidez (izquierda) y conductividad (derecha) para los ríos de los 3 subgrupos clasificados en este estudio

5. Conclusiones

El presente proyecto de investigación permitió estudiar el nivel de calidad ambiental de agua de dieciocho ríos de la provincia de Pichincha en la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas, los cuales fueron San Pedro, Pita, Monjas, Río Blanco, Mindo, Cinto, Chiche, Pisque, Machángara, Pilatón, Caoni, Pachijal, Mashpi, Alambí, Guachalá, Granobles, Guayllabamba y Pedregales. Las concentraciones de elementos mayores y parámetros físico-químicos fueron determinadas y se verificó si se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental nacional e internacional de Europa, Canadá y Estados Unidos. Ninguno de los ríos evaluados presenta problemas de contaminación de cloruros, sulfuro, fluoruro y sulfato. Solamente el río Monjas presenta insuficiencia de oxígeno disuelto y los ríos Pedregales y San Pedro

presentan valores altos de Ca y Mg, respectivamente. Por otro lado, se registraron elevadas concentraciones de DQO_T, DBO₅, pH, fosfato, conductividad, amonio, nitrato y sodio para los ríos Machangara, Monjas, Guayllabamba, Chiche, Pisque y San Pedro. En base a estos resultados se puede concluir que los ríos más contaminados son los que reciben descargas de los efluentes industriales y de las aguas servidas de las zonas pobladas. Algunos ríos presentaron valores altos de turbidez y DQO_T por las lluvias fuertes que sufrieron en la época lluviosa, cuando se realizaron el muestreo. Se recomienda realizar un estudio basado en el muestreo múltiple en varias épocas del año, tanto en época seca como lluviosa, para completar la información sobre los ríos de la provincia de Pichincha.

Adicionalmente, se realizó el análisis de componentes principales de las 18 variables medidas. La matriz de correlación de Pearson permitió establecer que variables estaban relacionadas entre sí. El análisis de componentes principales estableció que los dos primeros CP almacenan en conjunto un 71% de información del sistema, por lo que con estos dos CP se organizaron los 18 ríos en 4 subgrupos. Se confirmó que los subgrupos presentan similitudes en términos de parámetros físico-químicos y de elementos mayores pero también en ocasiones similitudes geográficas. Se estableció que Na, conductividad, DQO_T, turbidez, SST y ST retienen más del 80% de la información de todos los parámetros con valores de R² de 0.96, 0.87, 0.84, 0.84, 0.84 y 0.81, respectivamente. En base a estos seis parámetros se clasificaron los subgrupos 1, 2 y 3 con los cuales se pudo evidenciar que la distribución de puntos es similar a la clasificación de subgrupos A, B, C y D realizada con todas las variables medidas y comprobar que el conjunto de datos puede ser descrito con solo estos seis parámetros. Este análisis estadístico ayuda a describir todo el conjunto de datos con menos variables, lo cual puede permitir optimizar el tiempo y disminuir el costo de análisis posteriores ya que se conocen las correlaciones entre las variables y el coeficiente R² que indica la información retenida en cada variable.

Este trabajo permitió subrayar el problema de contaminación de los ríos de la provincia, en especial alrededor de Quito. Para recuperar la calidad ambiental de estos ríos, es indispensable establecer sistemas de tratamiento de aguas servidas municipales y de efluentes industriales. En este estudio se consideraron los análisis de elementos mayores y físico-químicos de muestras de agua. Para completar la investigación, un estudio adicional de los sedimentos de los 18 puntos de muestreo sería de gran interés. Finalmente, se recomienda realizar análisis de elementos trazas para completar el estudio.

6. Bibliografía

- [1] Benítez Vallejo, M. B. (2015). Wastewater treatment for nutrient recovery with Ecuadorian native microalgae. UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. Recuperado desde: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4177>
- [2] Cabrera, H. (MAGAP), Garcés, M. (MSP), & Paredes, P. (AMAPAG-E. (n.d.). Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO , WHO , UNEP , UNU-INWEH , UNW-DPC , IWMI e ICID) Producción de Aguas Servidas , Tratamiento y Uso en México. Recuperado desde: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/148/ECUADOR_producción_de_aguas_servidas_tratamiento_y_uso.pdf
- [3] Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah -Al- Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>
- [4] Pérez, C., Maurice, L., Ochoa, V., López, F., Egas, D., Lagane, C., & Besson, P. (2015). Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador. *Avances En Ciencias E Ingenierías*, 7(2), C95–C115.
- [5] Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W., & Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, 27(12), 686–690.
- [6] Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito. (2017). Programa para la descontaminación de los ríos de Quito. Retrieved from https://www.aguaquito.gob.ec/?page_id=1302
- [7] EATHISA. (2017, February 9). Planta de Tratamiento Quitumbe, Quito - Ecuador. Recuperado desde: <http://eathisa.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-parroquia-quitumbe-distrito-metropolitano-de-quito/>
- [8] Cronan, C. S. (2009). Major cations (Ca, Mg, Na, K, Al). *Encyclopedia of Inland Waters*, 45–51. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0123706263.00093-4>
- [9] Fontannetoo, H., Keller, O., Negro, C., Bellotti, L., & Giailevra, D. (2006). Inoculación Y Fertilización Con Cobalto Y Molibdeno. *INTA*, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela, INFORMACIO(Publicación Miscelánea N° 106).
- [10] Zeballos, L. (2014). Magnesio, Cobalto Y Molibdeno, 2164–2167. [https://doi.org/10.1016/S1696-2818\(07\)74162-8](https://doi.org/10.1016/S1696-2818(07)74162-8)
- [11] Chantes Guerra, A., Negrete Abascal, E., Vaca Pacheco, S., Sánchez Alonso, P., & Vázquez Cruz, C. (2012). El hierro, elemento metálico importante en la vida y en los procesos infecciosos. *Elemento* 85, 41–45. Recuperado desde: <http://www.elementos.buap.mx/num85/pdf/41.pdf>

- [12] Occupational Safety and Health Administration. (2012). Molybdenum (as Mo), insoluble compounds (total dust). Recuperado desde: https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_255100.html
- [13] Moquet, J. S., Maurice, L., Crave, A., Viers, J., Arevalo, N., Lagane, C., ... Guyot, J. L. (2014). Cl and Na Fluxes in an Andean Foreland Basin of the Peruvian Amazon: An Anthropogenic Impact Evidence. *Aquatic Geochemistry*, 20(6), 613–637. <https://doi.org/10.1007/s10498-014-9239-6>
- [14] Wu, Q., Zhou, H., Tam, N. F. Y., Tian, Y., Tan, Y., Zhou, S., ... Leung, J. Y. S. (2016). Contamination, toxicity and speciation of heavy metals in an industrialized urban river: Implications for the dispersal of heavy metals. *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.043>
- [15] Alcivar Tenorio, M., & Mosquera Armijo, J. (2011). “Concentración de metales pesados (Cr Total , Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el estero salado Guayaquil”. *Tesis*. Universidad de Guayaquil.
- [16] Márquez, A., Senior, W., & Martínez, G. (2000). Concentraciones y comportamiento de metales pesados en una zona estuarina de Venezuela. *Interciencia*, 25(6), 284–291. Recuperado desde: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33904803>
- [17] Abd El Wahab, M., Melegy, A., & Helal, S. (2011). Distribution and enrichment of heavy metals in recent sediments of Safaga Bay, Egypt. *Marine Georesources and Geotechnology*, 29(4), 364–375. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2011.586014>
- [18] Campaña, A., Gualoto, E., & Chiluisa-Utreras, V. (2017). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito. *Bionatura*, 2(2), 305–310. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.02.6>
- [19] Voloshenko-Rossin, A., Gasser, G., Cohen, K., Gun, J., Cumbal-Flores, L., Parra-Morales, W., ... Lev, O. (2015). Emerging pollutants in the Esmeraldas watershed in Ecuador: discharge and attenuation of emerging organic pollutants along the San Pedro–Guayllabamba–Esmeraldas rivers. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 17(1), 41–53. <https://doi.org/10.1039/C4EM00394B>
- [20] Hidalgo Ramírez, C. E., & Osorio Muñoz, E. A. (2013). Evaluación y determinación de la capacidad secuestrante de los metales pesados cromo (Cr) y cadmio (Cd) por taxas de mohos aisladas de los alrededores de los ríos Cutuchi y Machángara. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO. Recuperado desde: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6006/1/UPS-QT03736.pdf>
- [21] Naciph, K. A. (2016). Water Quality Analysis of the San Pedro River and Proposal of a Water Treatment Design for its Use as a Water Source for a Communitarian Irrigation Project. Universidad San Francisco de Quito.
- [22] Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2002). División Hidrográfica del Ecuador. *Memoria Técnica*, (8), 1–13. Recuperado desde: http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG

_EMAB_IX_dt 3_Ax2.pdf

- [23] Gobierno de Pichincha. (2015). Ríos de la provincia de Pichincha. Recuperado desde: <http://www.pichincha.gob.ec/pichincha/datos-de-la-provincia/item/8-rios-de-la-provincia.html>
- [24] Instituto Nacional Estadísticas y Censos. (2010). Población y Demografía.
- [25] Ministerio de agricultura y ganaderia. (1978). Ecuador mapa bioclimático. Recuperado desde: <http://www.gifex.com/fullsize/2011-10-31-14742/Mapa-bioclimtico-del-Ecuador-1978.html>
- [26] Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1978). Ecuador mapa ecológico. Recuperado desde: <http://www.gifex.com/fullsize/2011-11-04-14859/Mapa-ecolgico-del-Ecuador-1978.html>
- [27] Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos. (1982). Mapa Nacional Geológico de la República del Ecuador. Recuperado desde: National Geological Mapa of the Republic of Ecuador
- [28] Liu, C. W., Lin, K. H., & Kuo, Y. M. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313(1–3), 77–89. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00683-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00683-6)
- [29] Ministerio de Ambiente. (2015). AM 097. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Quito.
- [30] Metcalf, E. (2014). Wastewater Engineering Treatment and Reuse (5th ed). New York.
- [31] Encalada, A.; Guayasamín, J. M.; Sampedro, C.; Guevara, J.; Schrekinger, J.; Suárez, E.; Lessman, J.; Swing, K.; Mena, C. (2015). Los ríos Andino-Amazónicos del Ecuador. *Documento Interno Proyecto PEER USFQ*, 1–47.
- [32] EPA. (n.d.). Laws & Regulations. Recuperado desde: <https://cfpub.epa.gov/>
- [33] Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., & Debán, L. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, 32(12), 3581–3592. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00138-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9)
- [34] Consejo de la Unión Europea. (1998). Directiva 98/83/CE del Consejo. *Official Journal of the European Communities*, L 330, 32–54. Recuperado desde: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:31998L0083>
- [35] Unión Europea. UE. (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario Oficial de Las Comunidades Europeas*, N° L 327(7), 1–72. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00126-4](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00126-4)
- [36] France Nature Environnement. (2012). Les nitrates dans les milieux aquatiques et leurs conséquences. In «L'eau au coeur des enjeux» *Guide des actions associatives* (pp. 1–4). Recuperado desde: <https://ged.fne.asso.fr/silverpeas/services/sharing/attachments/kmelia192/16cd3e>

- 46-66d4-4189-a49a-9b446d64eefd/74e5a106-2ac9-4acc-ab3c-b551ba373150/C_fiche_6_nitratesmilieuaquatiques.pdf
- [37] Consejo del Ministerio de Ambiente de Canada. (2004). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Phosphorus. *Quality*, 1–5. Recuperado desde: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/205/?redir=1510601269>
- [38] Water Research Center. (2014). Phosphates in the Environment. Recuperado desde: <http://water-research.net/index.php/phosphates>
- [39] EPA. (17AD). Secondary Drinking Water Standards: Guidance for Nuisance Chemicals. Recuperado desde: <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations/secondary-drinking-water-standards-guidance-nuisance-chemicals#self>
- [40] Consejo del Ministerio de Ambiente de Canada. (2012). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life Nitrate Ion. *Nano*, (3), 1–7.
- [41] Unión Europea. (2010). La directive « Nitrates » de l ' UE. *Office Des Publications - Commission Européenne*.
- [42] De Oliveira Souza, M., Ribeiro, M. A., Carneiro, M. T. W. D., Athayde, G. P. B., De Castro, E. V. R., Da Silva, F. L. F., ... De Queiroz Ferreira, R. (2015). Evaluation and determination of chloride in crude oil based on the counterions Na, Ca, Mg, Sr and Fe, quantified via ICP-OES in the crude oil aqueous extract. *Fuel*, 154, 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.03.079>
- [43] Consejo de la Unión Europea. (1980). Council Directive of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*. Recuperado desde: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1980L0778:19950101:EN:PDF>
- [44] Cisneros, E., & Machuca, R. (2014). Estructuración De Un Modelo De Encadenamiento Productivo Para La Producción Y Comercialización De Los Productos Derivados De La Leche En La Provincia De Pichincha, Cantón Mejía. Recuperado desde: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7074/1/UPS-ST001236.pdf>
- [45]. Terrádez-Gurrea, M. (2006). Análisis De Componentes Principales. *Revista Chilena de Obstetricia Y Ginecolog*, 71(1), 1–11. <https://doi.org/10.4067/S0717-75262006000100004>
- [46] Distrito Metropolitano de Quito. (2011). Perspectivas del ambiente y cambio climático en el medio urbano. Quito.

**ANEXO A: PARÁMETROS NORMALIZADOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES
DE LOS 10 RÍOS DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA EVALUADOS EN ESTE ESTUDIO**

Ríos	T °C	ORP	OD	Cond	Turbidez	DQO_T	DQO_s	SST	ST	NH_4^+	Cl^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	$NO_3^- - N$	F^-	Mg	Na	Ca
San Pedro	13.43	297.13	8.23	529.77	0.02	0.31	0.36	0.15	470.00	1.07	0.64	1.31	1.17	0.76	2.04	2.31	1.81	1.01
Pita	13.80	346.70	8.10	221.80	-0.35	-0.05	0.24	0.09	270.00	-0.34	-0.36	0.68	1.26	-0.15	0.67	0.78	0.23	0.21
Monjas	19.60	323.17	5.36	616.90	0.68	1.38	1.09	0.69	632.50	1.38	1.95	2.13	1.92	0.22	0.98	0.58	1.56	0.81
Blanco	20.97	310.00	8.76	53.53	-1.42	0.32	0.43	-0.92	80.00	0.94	-1.65	-2.13	-0.85	-1.37	-0.83	-1.38	-0.64	-1.03
Mindo	17.87	323.70	8.27	139.67	-1.38	-0.84	-0.35	-0.77	90.00	-1.33	0.03	-0.69	-0.42	-1.13	-0.63	-0.36	-0.23	0.20
Cinto	20.37	306.00	8.06	232.93	-0.98	-0.84	-0.35	-0.92	122.50	0.21	0.55	-1.74	0.54	-2.03	-0.38	0.53	0.16	0.40
Chiche	14.30	378.23	8.12	172.67	0.96	1.22	1.33	1.12	597.00	0.57	0.82	-0.16	0.30	0.68	0.89	0.19	0.37	-0.34
Pisque	16.63	408.20	8.02	273.43	0.95	1.16	0.83	0.95	806.00	-0.05	0.26	-0.63	0.80	1.50	0.72	0.97	0.77	1.38
Machangara	15.20	362.70	6.77	297.97	1.29	1.67	2.16	1.92	1359.00	1.31	1.38	-0.21	0.66	0.69	0.68	-0.04	0.89	0.66
Pilatón	17.23	372.23	9.31	101.67	0.38	-0.84	-1.08	0.41	182.00	-0.73	-0.43	-0.53	-0.04	-0.71	-0.35	-0.53	-0.60	-0.53
Caoni	22.30	397.07	9.35	19.87	0.09	-0.13	-1.08	-0.30	45.00	-1.00	-0.75	-0.81	-0.85	1.77	-0.42	-1.66	-1.42	-1.33
Pachijal	21.40	412.20	10.32	44.80	-0.88	-0.83	-1.08	-1.92	61.00	-0.61	-1.38	-0.69	-1.97	-0.82	-1.12	-1.03	-1.35	-1.20
Mashpi	22.00	435.40	9.87	33.72	-0.33	-0.04	-1.08	-0.77	36.00	-0.62	-1.83	-1.56	-0.73	-0.50	-2.04	-1.06	-1.31	-1.20
Alambí	18.50	489.53	8.92	72.07	0.89	0.78	0.55	1.31	521.00	-0.23	-0.51	0.03	-1.02	-0.46	-0.55	-0.53	-0.58	-0.65
Guachalá	13.53	328.83	6.72	194.00	-0.30	-0.83	-1.08	-0.26	407.50	0.01	-0.69	0.22	0.11	0.04	-0.10	0.10	0.00	0.10
Granobles	13.80	424.23	6.91	159.13	-0.10	0.15	0.29	-0.13	182.50	0.01	-0.33	0.81	-0.37	0.48	-0.68	0.09	0.00	-0.14
Guayllabamba	18.20	402.33	7.42	365.00	0.38	0.51	0.12	0.41	397.00	0.82	0.75	1.30	-0.01	0.50	-0.96	1.07	0.85	0.41
Pedregales	13.53	328.83	6.72	194.00	-0.30	-0.83	-1.08	-0.34	222.00	-1.59	0.22	0.30	-0.42	-0.30	-0.23	0.76	0.23	2.21
Promedio	17.37	369.25	8.07	206.83	-0.02	0.13	0.01	0.04	360.06	-0.01	-0.07	-0.13	0.00	-0.05	-0.13	0.04	0.04	0.05
SD	3.22	53.09	1.26	165.08	0.81	0.86	0.98	0.95	339.60	0.89	1.01	1.12	0.96	0.98	0.96	0.99	0.93	0.96
Coef. Var	0.19	0.14	0.16	0.80	-37.70	6.77	91.22	23.29	0.94	-91.37	-13.50	-8.52	221.72	-21.61	-7.50	22.12	22.43	18.18
Valor p	0.11	0.42	0.64	0.07	0.66	0.09	0.09	0.94	0.03	0.86	0.93	0.91	0.95	0.98	0.24	0.87	0.76	0.87

ANEXO B: COORDENADAS GEOGRAFICAS DE LOS 18 PUNTOS DE MUESTREO EVALUADOS EN ESTE ESTUDIO

Fecha de muestreo	Río	Parroquia	Latitud	Longitud
27/1/2017	San Pedro	Sangolqui	777865.20	9958889.60
27/1/2017	Pita	Valle de los Chillos	783730.00	9966306.00
27/1/2017	Monjas	La Pampa	783925.92	9996665.42
10/2/2017	Blanco	San Miguel de los Bancos	733362.17	754.19
10/2/2017	Mindo	Mindo	748076.21	9993443.03
10/2/2017	Cinto	Vía a Cinto	746315.00	9987519.00
3/3/2017	Chiche	Tumbaco	792350.00	9978576.00
3/3/2017	Pisque	Tabacundo	796841.12	9997325.94
3/3/2017	Machangara	Quito	776603.31	9974123.75
17/3/2017	Pilatón	Manual Cornejo Astorga	741148.65	9959166.6
24/3/2017	Caoni	San Miguel de los Bancos	717028.18	8325.31
24/3/2017	Pachijal	San Miguel de los Bancos	729555.96	17878.07
24/3/2017	Mashpi	San Miguel de los Bancos	730786.35	20846.00
24/3/2017	Alambí	Nanegalito	759218.2	14718.88
7/4/2017	Guachalá	Tabacundo	814541.97	584.07
7/4/2017	Granobles	Cayambe	815717.83	6209.62
7/4/2017	Pedregales	Machachi	773780.2	9945728.52
7/4/2017	Guayllabamba	Guayllabamba	792283.05	9992568.21