

# Evaluation of the quality and water flow of a hydrographic basin located in a national park

Elianny Balza<sup>a</sup>, María Zapata<sup>a</sup>, Milagros Jiménez-Noda<sup>\*,b</sup>, Lisbeth Manganiello<sup>b</sup>, Cristóbal Vega<sup>c</sup>, Rosalyn Cova<sup>b</sup>, Jesús Moreno<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>b</sup>Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>c</sup>Instituto de Matemática y Cálculo Aplicado, IMYCA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>d</sup>Instituto Nacional de Parques - INPARQUES, Valencia, Venezuela.

**Abstract.-** The periodic control of the quality of the natural aquifer bodies is of vital importance, since they are preserved as reservoirs of water destined for human consumption. The hydrographic basin of the Caribbean Sea is made up of a group of sub-basins, including: Miquija-Goaigoaza, located on the northern slope of the San Esteban National Park (PNSE). The National Institute of Parks (INPARQUES) has observed alterations in the ecosystem, deterioration and variation of flow of these water resources. That is why physicochemical and microbiological parameters were determined at the sampling points, comparing these values obtained with the permissible limits of Decree 883. The results obtained show non-compliance with the norm in the following parameters, dissolved oxygen, total and fecal coliforms. The estimation of the monthly flows of both rivers under study was carried out by designing a mathematical model, applying the Box–Jenkins methodology supported in historical and current flows. Finally, the present work responds to the evaluation of the quality and the flow of these rivers, through the analysis and graphic representation, evidencing its deterioration as it progresses in its path, the flow having a non-stationary behavior.

**Keywords:** rivers; quality parameters; study of flows; mathematical model.

## Evaluación de la calidad y el caudal de aguas de una subcuenca hidrográfica ubicada en un parque nacional

**Resumen.-** El control periódico de la calidad de los cuerpos acuíferos naturales es de vital importancia, ya que se preservan como reservorios de aguas destinadas al consumo humano. La Cuenca hidrográfica del Mar Caribe está conformada por un grupo de subcuencas, entre ellas: Miquija–Goaigoaza, ubicada en la vertiente norte del Parque Nacional San Esteban (PNSE). El Instituto Nacional de Parques (INPARQUES) ha observado alteraciones en el ecosistema, deterioro y variación de caudal de estos recursos hídricos. Es por eso que se determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los puntos de muestreos, comparando estos valores obtenidos con los límites permisibles del Decreto 883. Los resultados obtenidos muestran incumplimiento de la norma en los siguientes parámetros, oxígeno disuelto, coliformes totales y fecales. La estimación de los caudales mensuales de ambos ríos en estudio, se realizó mediante el diseño de un modelo matemático, aplicando la metodología Box–Jenkins apoyado en caudales históricos y actuales. Finalmente, el presente trabajo da respuesta a la evaluación de la calidad y el caudal de estos ríos, mediante el análisis y la representación gráfica, evidenciando su deterioro a medida que se avanza en su recorrido, teniendo el caudal un comportamiento no estacionario.

**Palabras claves:** ríos; parámetros de calidad; estudio de caudales; modelo matemático.

Recibido: 10 diciembre 2018

Aceptado: 23 marzo 2019

### 1. Introducción

El agua es un recurso esencial para el sostenimiento de la vida en todos sus niveles de organización. Sin embargo, las fuentes superficiales están siendo contaminadas cada vez más debido al incremento de actividades humanas. Venezuela está entre los primeros quince países del mundo,

\*Autor para correspondencia:

Correo-e: ing.milagrosjimeneznoda@gmail.com  
(Milagros Jiménez-Noda)

en mayor disponibilidad de agua dulce, pero con graves problemas en la calidad del suministro de agua destinada al consumo humano, siendo las poblaciones menos favorecidas las más afectadas. Además el país cuenta con muy pocos avances en materia de tratamiento de aguas servidas.

El país cuenta con abundantes recursos de aguas superficiales y subterráneas, y su territorio es drenado por más de un millar de ríos, 124 de los cuales poseen cuencas mayores de 1.000 km<sup>2</sup>, aproximadamente 85 % del total de las aguas que anualmente se generan como escorrentía de superficie corresponde a la margen derecha del río Orinoco y 15 % al generado en el resto del país, los ríos del territorio venezolano se dirigen fundamentalmente hacia dos grandes vertientes marítimas: la del Océano Atlántico y la del Mar Caribe.

Entre los ríos que forman parte de la cuenca hidrográfica del Mar Caribe, se encuentran los que conforman la subcuenca Miquija y Goagoaza, ubicada en la vertiente norte del Parque Nacional San Esteban, Municipio Puerto Cabello del Estado Carabobo. Dentro del proceso de Ordenación del Territorio, el Parque Nacional San Esteban posee un papel fundamental como importante reservorio de recursos naturales y escénicos, destacándose como fuente de recursos hídricos, que preservados en el espacio y en el tiempo, representan un significativo aporte para el desarrollo de actividades económicas localizadas fuera del Parque Nacional San Esteban, fundamentalmente satisface la demanda de agua para el consumo regional. La administración y manejo del Parque Nacional San Esteban está a cargo del Instituto Nacional de Parques (INPARQUES).

El daño a una subcuenca hídrica suele relacionarse por la evidente pérdida de la biodiversidad en el ecosistema acuático determinado, afectando a la calidad de vida de los individuos allí residentes, e inclusive precipitando la muerte masiva de los mismos, en casos de intoxicaciones agudas, eso sin contar con algunos de los principales contaminantes de los ríos, tales como: agentes infecciosos que causan trastornos gastrointestinales; aguas residuales y otros residuos que tienden a demandar oxígeno; productos químicos y

nutrientes vegetales.

En el trabajo de investigación de Villa [1], se evaluó la calidad del agua por medio de análisis físico-químicos y microbiológicos, permitiendo así la determinación de las posibles causas de contaminación, para finalmente realizar propuestas de tratamiento y control de la contaminación del río Yacuambi, en función de los contaminantes que afecten al cauce y de los vertidos que recibe.

Por otro lado, Masías enfocó el estudio de la calidad del agua en el valle del río Apurimac realizando análisis físico-químicos bajo las normas vigentes establecidas y evaluar de esta manera la calidad del recurso de estas microcuencas [2]. Los resultados obtenidos arrojaron que el vertido de los ácidos inorgánicos es la causa probable de la contaminación con metales pesados, con grados alarmantes encontrados en las microcuencas. Además, el 90 % de las microcuencas presentaba turbidez, situación que debería investigarse mediante análisis microbiológicos para posteriores investigaciones.

Los ríos cuentan con una capacidad de auto depuración de sus aguas la cual se define como el conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río. Los compuestos que pueden ser degradados por los ríos son llamados biodegradables. Pero hay compuestos que son persistentes y que no pueden ser transformados por el curso de agua, estos son denominados no biodegradables o permanentes. El desarrollo de esta investigación tendrá un aporte en el área de la Química Ambiental, pues la evaluación de la calidad y el caudal de las aguas de la subcuenca hidrográfica Miquija y Goagoaza le permitirán a INPARQUES conocer no solo los parámetros físicos-químicos y microbiológico bajo la “norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos” establecida en el Decreto N° 883, sino también conocer de forma científica, ha sido la variación de el caudal a lo largo del tiempo. El objeto de este trabajo se basó en la evaluación de la calidad y el caudal de las aguas de la subcuenca hidrográfica Miquija-Goagoaza, como requerimiento de INPARQUES, con el objetivo de

abrir un historial (base de datos) que les permita monitorear el comportamiento de la subcuenca a fin de tomar las medidas necesarias para salvaguardar el recurso agua.

## 2. Metodología

### 2.1. Equipos, materiales y reactivos

**Equipos.** GPS marca Garmin, modelo: etrex 10; Medidor de pH marca HANNA Instruments; Turbidímetro marca HANNA Instruments; Medidor de oxígeno disuelto marca HANNA Instruments; Medidor de Conductividad marca HANNA Instruments; Kit de Dureza total marca SQUICA; Sólidos totales disueltos marca Digital Aid; Anemómetro marca JDC Electronic SA.

**Materiales.** Varilla de altura, cinta métrica, captador de muestra, guantes de latex, frascos de vidrio esterilizados, cava con hielo, cámara fotográfica digital, reloj, pilas alcalinas, bolígrafos y etiquetas

**Reactivos.** Cloruro de potasio (KCl) marca Merck, Buffer de pH = 4,00 marca Merck, Buffer de pH = 7,00 marca Merck, Buffer de pH = 10,00 marca Merck, Solución de estándar primario de 10 FTU marca HANNA Instruments, Solución electrolítica marca HANNA Instruments, Solución de calibración marca HANNA Instruments.

### 2.2. Ubicación y selección de puntos de muestreo

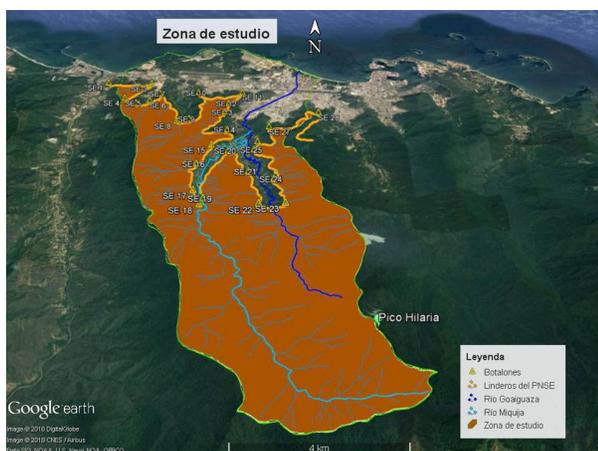


Figura 1: Subcuenca Miquija-Goaigoaza delimitada por los linderos del PNSE.

La zona de estudio seleccionada de acuerdo a los requerimientos solicitados por las autoridades del Parque Nacional (INPARQUES) se muestra en la Figura 1, la cartografía de la subcuenca hidrográfica delimitada por los linderos del Parque Nacional San Esteban (PNSE).

Tabla 1: Puntos seleccionados para el muestreo en el río Miquija.

#	Zona	Coordenada Este (UTM)	Coordenada Norte (UTM)	Altura sobre el nivel del mar (m)	Error de medición (m)	N.S.
1	Alta	602577	1148967	148	4	7
2		602272	1148914	150	3	6
3	Media	602575	1149141	139	3	7
4		602463	1149215	130	2	7
5	Baja	602253	1149698	136	3	7
6		602181	1150381	81	2	7

#: Puntos de muestreo.  
N.S.: Número de satélite.

Tabla 2: Puntos seleccionados para el muestreo en el río Goagoaza.

#	Zona	Coordenada Este (UTM)	Coordenada Norte (UTM)	Altura sobre el nivel del mar (m)	Error de medición (m)	N.S.
1	Baja	604750	1150016	34	3	6
2	Media	604622	1150150	38	2	8
3	Alta	604403	1150414	46m	3	8

Las coordenadas de los puntos de muestreo establecidos se muestran en las Tablas 1 y 2 para los ríos Miquija y Goagoaza respectivamente. Esta selección se realizó en campo y los criterios para dividir las zonas en alta, media y baja, se basaron de acuerdo a la delimitación geográfica establecida que tenían estos ríos dentro del PNSE y una vez realizado el recorrido guiado por los guardaparques durante la selección de los puntos, ellos indicaron cuales eran las zonas alta, media y baja de cada



Figura 2: Puntos seleccionados para el muestreo identificando las zonas: alta, media y baja de los ríos.

ríos. En la Figura 2 se visualizan geográficamente la ubicación de cada zona para ambos ríos.

Finalmente una vez definido los puntos de muestreos se efectuó la planificación para llevar a cabo el muestreo en los puntos ya identificados y georeferenciados. La Figura 3 muestra detalladamente la planificación del cronograma de monitoreo que contempla las actividades realizadas para dar cumplimiento con la toma de muestras.

### 2.3. Encuesta aplicada a la población de la zona

La encuesta realizada estuvo estructurada en tres secciones: la primera en las características de la población, la segunda en la condición actual de los ríos y sus alrededores y la tercera referida al conocimiento y conciencia ambiental en la población. La validación del instrumento estuvo certificada por dos especialistas en el área, quienes dieron revisión y posterior aprobación para el uso de la misma. La utilidad de la encuesta aplicada a los guardaparques y a los habitantes de la zona, fue conocer las posibles fuentes de contaminación de la subcuenca Miquija-Goaiqoaza y poder constatar estos resultados con el recorrido visual, para establecer la selección de los puntos de muestreo. El instrumento de recolección de datos fue validado por la Escuela de Ingeniería Química y por el Laboratorio de Procesos Estocásticos del Instituto de Matemáticas y Cálculo Aplicado de la Facultad de Ingeniería.

## 2.4. Parámetros físico químicos y microbiológicos

### 2.4.1. Muestreo

El protocolo de muestreo empleado fue el expuesto en la norma COVENIN 2709:2002 [3], donde se define el tipo de muestra a captar, modalidad de captación, tipo de muestreo, captación, preservación y manejo de muestras.

### 2.4.2. Selección de parámetros

**Parámetros fisicoquímicos.** Los parámetros evaluados se seleccionaron de acuerdo con lo establecido en el Decreto N° 883 [4], donde se describe específicamente las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos por efluentes líquidos, se identificó el tipo de agua y los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que deben ser monitoreados. Los parámetros fisicoquímicos determinados *in situ* fueron: oxígeno disuelto, pH, conductividad, turbidez y sólidos totales disueltos.

**Parámetros microbiológicos.** Para la captación de muestras de parámetros microbiológicos se consideró lo establecido en la Norma Covenin 2709:2002 [3] en cuanto a su captación, preservación y manejo de las muestras. Las muestras deben ser refrigeradas a 4 °C una vez captadas para ser trasladadas de forma segura al laboratorio, y en envases de vidrio con tapa de rosca. Para el análisis microbiológico de Coliformes Totales y Fecales presentes en la muestra de agua se realizó la técnica por filtración de membrana. Los Métodos utilizados para realizar estos análisis fueron: 9221-B (coliformes totales) [5] y NMP 9221-E (coliformes fecales) [5]

### 2.4.3. Dureza total

En el caso de la dureza total se determinó dicho parámetro mediante el método titulométrico con EDTA [6].

### 2.4.4. Estimación de caudales

En primer lugar se identificó el modelo Box-Jenkins, el cual permitirá estimar los caudales mensuales de los ríos en estudio. Seguidamente se utilizó el software estadístico Gretl (GNU

Actividades	2018															
	Junio															
	Semana 1				Semana 2				Semana 3				Semana 4			
	Día				Día				Día				Día			
	6	7	8	9	13	14	15	16	20	21	22	23	27	28	29	30
<b>Logística previa al muestreo</b>																
Elaboración e impresión de tablas para la recolección de datos.																
Preparación del envase plástico captador de la muestra.																
Preparar la cámara fotográfica digital, GPS, agua destilada, reloj y pilas alcalinas, bolígrafos y etiquetas.																
Preparación de la cava con hielo para la debida refrigeración de las muestras.																
Planificación con el laboratorio CIMA-UC para la entrega de los envases esterilizados.																
Planificación con el laboratorio CIMA-UC para la fecha y hora de la entrega de muestras.																
Planificación con el I.A.S.I.E.D.A.G.R.E.C para el acompañamiento técnico.																
Planificación del traslado desde Valencia hasta la subcuenca de estudio.																
<b>Muestreo</b>																
Ubicar con el GPS los puntos de monitoreo ya georeferenciados.																
Preparar los equipos de campo para la medición de los parámetros fisicoquímicos.																
Medición de los parámetros fisicoquímicos.																
Captación de las muestras microbiológicas																
<b>Post Muestreo</b>																
Guardar limpios y secos los equipos de campo.																
Trasladar los equipos de campo al lugar de resguardo.																
Guardar las muestras bajo las mismas condiciones de refrigeración para su posterior consignación.																
Consignación de las muestras en el laboratorio CIMA-UC para su análisis.																

Figura 3: Cronograma de monitoreo para la toma de muestras.

Regression Time series Library) para estimar los parámetros del modelo identificado, con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro de los caudales mensuales. Los modelos Box–Jenkins están explicados en varios libros de econometría (ver por ejemplo [7]).

### 3. Resultados y discusiones

#### 3.1. Resultados de la encuesta aplicada en la zona de estudio

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 4, se puede resaltar que en cuanto a la información sobre las características de la población el 90 % de la encuesta fue respondida por la comunidad, quienes representan la mayor proporción de los habitantes del sector. Seguido a esto, respecto a la condición actual de los ríos y sus alrededores, los encuestados consideran que el 65 % de los cambios en el río, se vienen dando desde hace tres años, por otro lado, el factor de mayor contaminación son los desechos sólidos en un 74 %. Finalmente, respecto a la

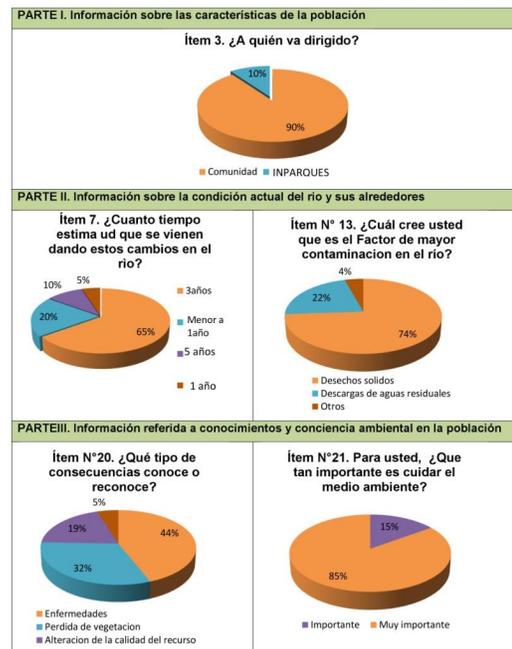


Figura 4: Resultados de las encuestas aplicadas en la zona de estudio.

información referida al conocimiento y conciencia ambiental en la población, un 44 % reconoce que

la contaminación del agua acarrea consecuencias como enfermedades, además el 85 % considera muy importante cuidar el ambiente.

### 3.2. Determinación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua a lo largo de los ríos

Durante 4 semanas se determinaron los parámetros fisicoquímicos. Se captaron 9 muestras para ambos ríos por cada semana, para un total de 36 muestras. Los valores obtenidos se muestran en las Tablas 3 y 4. Mientras que, para el caso de los parámetros microbiológicos, se tomó en consideración 4 puntos críticos entre ambos ríos por cada semana (dos puntos para cada río, dos en la zona baja de Miquija, uno en la zona media y el otro en la zona baja de Goaigoaza), para un total de 8 muestras captadas en las 2 semanas establecidas para el estudio; estos valores obtenidos se encuentran reflejados en la Tabla 5.

### 3.3. Evaluación de la calidad del recurso en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para ambos ríos

La calidad del agua tal como se encuentra en la naturaleza, depende de las características de la cuenca hidrográfica y lamentablemente este recurso está siendo afectado, directa y severamente por los diferentes usos que se le da a la cuenca. Por ello es importante identificar posibles alteraciones en sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

**Río Miquija.** La Figura 5 muestra los resultados obtenidos para el río Miquija en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados, según el subtipo de agua 1B.

Como se puede observar en la Figura 5, en el caso del río Miquija, para el tipo de agua 1, subtipo de agua 1B, el parámetro Oxígeno Disuelto (OD) se encuentra en toda su zona de estudio (alta, media y baja) por debajo del límite establecido en el Decreto N° 883 [4]. Un valor bajo de Oxígeno Disuelto (OD) en estas zonas se presume puede deberse a varios factores: a) por un incremento de temperaturas en el agua, desde la zona alta a la baja, esto se debe a que la incidencia del sol es más directa en la

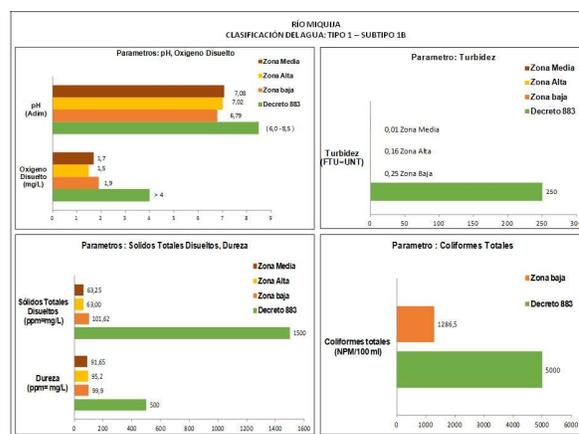


Figura 5: Representación de la condición del río Miquija en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 1B.

zona baja por la disminución de espacios boscosos debido a los asentamientos, zonas pobladas y la deforestación presente, b) la evidencia de caudales reducidos a lo largo del río y corrientes tranquilas lo que da paso a una baja tasa de aireación en la fuente, y c) un elevado transporte de material orgánico fino que puede ser fácilmente lavado y consumido por los microorganismos.

Los valores reportados de pH, turbidez, dureza, sólidos totales no tienen mayor incidencia sobre el equilibrio ambiental, se encuentran dentro de los límites permisibles; sin embargo se debe tener especial atención con los coliformes totales presentes, que a pesar de cumplir con los límites del decreto son un indicador de la contaminación del agua y tienen un origen fecal de humanos y animales; mucho más, considerando que este tipo de agua 1B contempla agua para uso doméstico y que puede ser acondicionada, teniendo el río Miquija una característica vital y es la presencia de un Dique Toma, cuya función es concentrar agua cruda para ser conducida a través de un tubo matriz a la Planta Potabilizadora de Puerto Cabello.

La Figura 6 muestra la condición del río Miquija en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 2A.

En el caso de la Figura 6, para el tipo de agua 2, subtipo de agua 2A, los parámetros Coliformes

Tabla 3: Valores promedios obtenidos por semana en la toma de muestra de los parámetros medidos “in situ” en el río Miquija.

#	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad (mS)	Turbidez (FTU)	Sólidos totales disueltos (ppm)	pH (Adim)	Dureza total (ppm)	Temperatura (°C)
1	1,9	0,14	0,40	79	7,48	94,44	25,7
2	2,1	0,13	0,28	74	6,88	88,88	24,8
3	1,6	0,13	0,00	77	6,68	99,99	24,9
4	1,6	0,13	0,01	75	6,88	99,99	24,8

#: Número de semanas.

Tabla 4: Valores promedios obtenidos por semana en la toma de muestra de los parámetros medidos “in situ” en el río Goaigoaza.

#	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad (mS)	Turbidez (FTU)	Sólidos totales disueltos (ppm)	pH (Adim)	Dureza total (ppm)	Temperatura (°C)
1	1,8	0,11	0,90	63	7,42	77,77	27,0
2	1,4	0,10	0,04	62	7,05	66,66	26,6
3	1,4	0,11	0,00	64	6,59	99,99	25,9
4	1,4	0,12	3,95	64	6,68	88,88	25,8

Tabla 5: Datos obtenidos en el análisis microbiológico de las muestras captadas en los puntos críticos en los ríos Miquija-Goaigoaza.

Río	Zona	N° de muestra	Coliformes	
			totales (NP-M/mL)	fecales (NPM/mL)
Semana: 2				
Miquija	Baja	1 (Punto N° 5)	2400	2400
		2 (Punto N° 6)	2400	2400
Goaigoaza	Media	1 (Punto N° 2)	2400	2400
	Baja	2 (Punto N° 3)	2400	2400
Semana: 3				
Miquija	Baja	1 (Punto N° 5)	160	2,2
		2 (Punto N° 6)	187	3,3
Goaigoaza	Media	1 (Punto N° 2)	2400	2400
	Baja	2 (Punto N° 3)	2400	2400

Totales y Fecales se encuentra en su zona baja muy por encima del límite permisible establecido en el Decreto N° 883 [4]. Es en esta zona de la

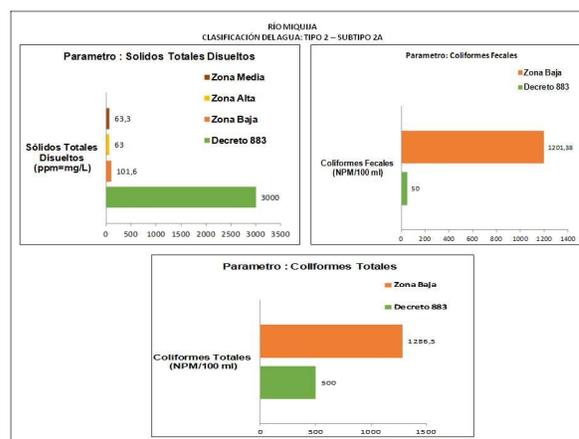


Figura 6: Representación de la condición del río Miquija en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 2A.

subcuenca donde se concentra la mayor parte de la población, donde hay mayor actividad humana y es de considerar que el 19% de la población manifestó en las encuestas descargan las aguas residuales directamente al río, las cuales a su vez son transportadas por escorrentía superficial y se concentran en este cuerpo de agua; se debe tener especial atención con este grupo de coliformes,

considerando que este tipo de agua 2A contempla agua destinada para uso agropecuario, que pueden ser empleadas para el riego de vegetales destinados al consumo humano, lo cual puede ser perjudicial para la salud de la población.

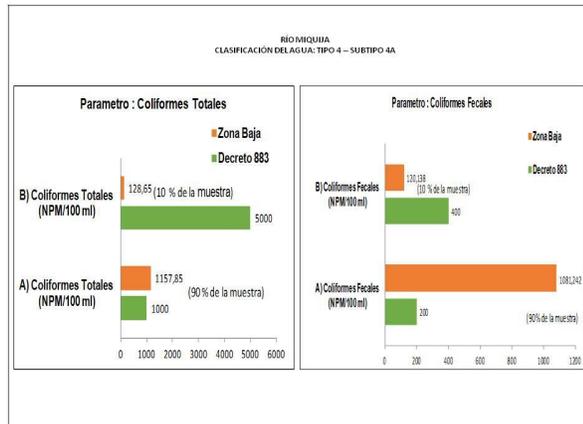


Figura 7: Representación de la condición del río Miquija en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 4A.

Finalmente, la Figura 7 muestra la condición del río Miquija en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 4A.

Para el tipo de agua 4, subtipo 4A, se evidencia que los parámetros coliformes totales y fecales se encuentran en su zona baja por encima del límite permisible establecido en el Decreto N° 883 [4]; el 90% de la condición en ambos grupos coliformes incumple la norma lo que hace inferir igualmente un nivel de contaminación fecal, a consecuencia de lo expresado en el subtipo anterior, los asentamientos y el tipo de destino final que dan a sus aguas residuales; aunado en este caso al uso del recurso como balneario y sitio de recreación siendo empleada para el contacto humano total, permitiendo la deposición directa de organismos patógenos en estas aguas.

**Río Goaiagoaza.** En el caso del río Goaiagoaza se puede observar en la Figura 8, la condición del río Goaiagoaza en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 2A. Los parámetros coliformes

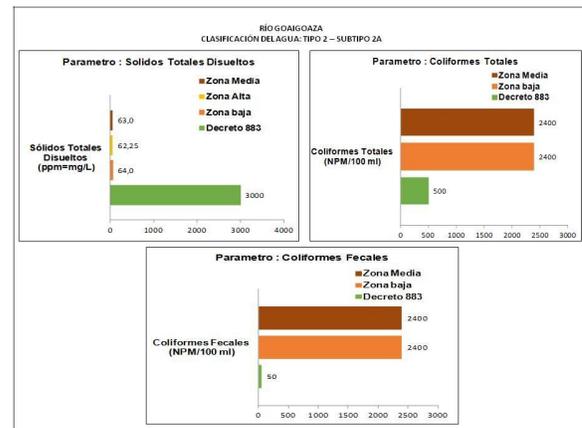


Figura 8: Representación de la condición del río Goaiagoaza en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 2A.

totales y fecales se encuentra en su zona media y baja por encima del límite permisible establecido en el Decreto N° 883 [4]. Estos valores igualmente son atribuidos a contaminación fecal y es que en estas zonas de la subcuenca es donde se concentra la mayor parte de la población, quienes descargan directamente las aguas residuales sobre el recurso. Por otro lado, los valores reportados de sólidos totales no tienen mayor incidencia sobre el equilibrio ambiental del recurso, se encuentran dentro de los límites permisibles.

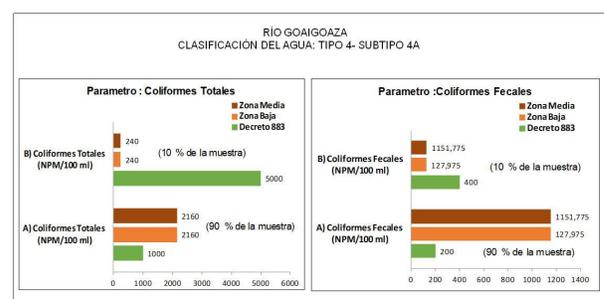


Figura 9: Representación de la condición del río Goaiagoaza en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 4A.

Posteriormente se puede observar en la Figura 9, la condición del río Goaiagoaza en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos, según el subtipo de agua 4A.

En la Figura 9, para el tipo de agua 4, subtipo 4A, los parámetros Coliformes Totales y Fecales en las zonas media y baja no cumplen con los límites permisibles establecidos en el Decreto N° 883 [4]; el 90 % de la condición en ambos grupos de coliformes incumple la norma, reportando en este caso valores que son bastante elevados y que limitan considerablemente los usos del agua; manejándose las mismas características de contaminación que el río Miquija, tal como: el uso como balneario y lugar de recreación empleando el recurso para el contacto humano total permitiendo la deposición directa de organismos patógenos sobre él.

### 3.4. Comparación de los valores de los parámetros obtenidos con límites máximos permisibles establecidos en la normativa legal vigente

A continuación se procede a comparar los resultados obtenidos en la representación estadística de la data experimental, con los límites permisibles establecidos en el decreto n° 883, de acuerdo a los tipos y subtipos de agua propuestos, para los ríos Miquija y Goagoaza, a partir de las Tablas 6 y 7 respectivamente.

Tal y como se muestra en la Tabla 6 y 7, en el caso del río Miquija, para el tipo de agua 1, subtipo de agua 1B, que indica que son aguas destinadas al uso doméstico, que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, se puede evidenciar que los valores reportados del parámetro oxígeno disuelto (OD) se encuentra en toda su zona de estudio por debajo del límite establecido en el Decreto N° 883, comprometiendo así no sólo la supervivencia de todos los organismos acuáticos, sino la calidad del recurso. Los parámetros pH, turbidez, dureza, sólidos totales y coliformes totales se encuentran dentro de los límites permisibles.

Para el tipo de agua 2, subtipo de agua 2A, que indica que son aguas destinadas a usos agropecuarios, que pueden ser empleadas para el riego de vegetales destinados al consumo humano, se evidencia que los valores reportados de Coliformes totales y fecales en la zona baja se

encuentran muy por encima del límite permisible establecido en el Decreto N° 883, viéndose comprometido así el ecosistema y la salud de la población que se sirve del consumo de estos vegetales que siembran y riegan con estas aguas esos espacios. El parámetro Sólidos Totales, se encuentran dentro de los límites permisibles.

Finalmente para el tipo de agua 4, subtipo 4A, que indica que son aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y d subsistencia, que pueden ser empleada para el contacto humano total, se evidencia que los valores reportados de coliformes totales y fecales en la zona baja no cumplen con una de las condiciones que establece el Decreto N° 883, pues sólo cumplen con la condición del 10 % lo que implica por lo tanto que el recurso está comprometido con este parámetro. Hay que resaltar que el valor para el 90 % de las muestras de Coliformes Fecales es bastante alto referido a lo que establece la norma. El parámetro Moluscos infectados con *S. mansoni* se encontró ausente.

Una vez comparado los resultados obtenidos con los límites permisibles establecidos en el Decreto 883, se puede indicar que las aguas del río Miquija en cada uno de los subtipos propuestos se encuentra comprometida en al menos uno o dos parámetros, a saber: oxígeno disuelto (OD), coliformes totales y fecales; aún y que sin embargo algunos de sus parámetros cumplan con la normativa. Lo que hace presumir el progresivo deterioro del recurso generado por las diversas actividades antrópicas.

Tal y como se muestra en la Tabla 8, en el caso del río Goagoaza, para el tipo de agua 2, subtipo de agua 2A, que indica que son aguas destinadas a usos agropecuarios, que pueden ser empleadas para el riego de vegetales destinados al consumo humano, se evidencia que los valores reportados de coliformes totales y fecales en las zonas media y baja, consideradas como zonas críticas de estudio se encuentran por encima del límite permisible establecido en el Decreto N° 883, viéndose comprometido así el ecosistema y la salud de la población que se sirve del consumo de estos vegetales que siembran y riegan en estos espacios. El parámetro sólidos totales, se encuentran dentro de los límites permisibles.

Tabla 6: Comparación de los resultados contra los límites permisibles del decreto 883 según el tipo de agua en el río Miquija.

Parámetros Evaluados	Valores Obtenidos			Decreto 883.Límites Permisibles.		
	Alta	Zona Media	Baja	1B	Tipo de Agua 2A	4A
Temperatura °C	23,8	24,3	27,0			
Oxígeno disuelto (O.D) (mg/L)	1,5	1,7	1,9	Mayor de 4,0 mg/L		
pH (Adim)	7,02	7,08	6,79	6,0 – 8,5		
Turbidez (FTU=UNT)	0,16	0,01	0,25	Menor de 250 UNT		
Conductividad (mS/cm)	0,11	0,10	0,15			
Dureza (ppm= mg/L)	95,82	91,65	99,99	Límite 500 mg/L		
Sólidos Totales Disueltos (ppm=mg/L)	63,00	63,25	101,62	No exceder los 1500 mg/L	No exceder 3000 mg/L	

Tabla 7: Comparación de los resultados contra los límites permisibles del decreto 883 según el tipo de agua en el río Miquija (Continuación).

Parámetros Evaluados	Valores Obtenidos			Decreto 883. Límites Permisibles.		
	Alta	Zona Media	Baja	1B	Tipo de agua 2A	4A
Coliformes totales (NPM/100 ml)			1286,50 a) En el 90 % 1157,85 b) En el 10 % 128,65	Promedio mensual menor a 10.000 NMP por cada 100 ml. (5.000 NMP por dos semana)	Promedio mensual menor a 1000 NMP por cada 100 ml. (500 NPM por dos semana)	a) Menor a 1000 NMP por cada 100 ml en el 90 % de una serie de muestras consecutivas. b) Menor a 5000 en el 10 % restante
Coliformes fecales (NPM/100 ml)			1201,38 a) En el 90 % 1081,242 b) En el 10 % 120,138		Promedio mensual menor a 100 NMP por cada 100 ml. (50 NPM por dos semana)	a) Menor a 200 NMP por cada 100 ml en el 90 % de una serie de muestras consecutivas. b) Menor a 400 en el 10 % restante
Moluscos infectados con S. mansoni						Ausentes.

Finalmente para el tipo de agua 4, subtipo 4A, que indica que son aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia, que pueden ser empleada para el contacto humano total, se evidencia que los valores reportados de coliformes totales y fecales

en las zonas media y baja no cumplen con una de las condiciones que establece el Decreto N° 883, pues sólo cumplen con la condición del 10 % lo que implica por lo tanto que el recurso está comprometido con este parámetro, ya que el otro 90 % de los valores de las muestras de coliformes

Tabla 8: Comparación de los resultados contra los límites permisibles del decreto 883 según el tipo de agua en el río Goaigoaza.

Parámetros Evaluados	Valores Obtenidos			Decreto 883.Límites Permisibles.	
	Alta	Zona Media	Baja	Tipo de Agua	
				2A	4A
Temperatura °C	25,9	26,3	26,7		
Oxígeno disuelto (O.D)	1,6	1,4	1,4		
pH (Adim)	6,82	6,89	6,95	No aplica	No aplica
Turbidez (FTU=UNT)	1,16	1,25	1,26		
Conductividad (mS/cm)	0,10	0,11	0,10		
Dureza (ppm= mg/L)	74,99	91,65	83,32		
Sólidos Totales Disueltos (ppm=mg/L)	62,25	63,00	64,00	No exceder 3000 mg/l	
Coliformes totales (NPM/100 ml)		2400	2400	Promedio mensual menor a 1000 NPM por cada 100 ml. (500 NPM por dos semana)	a) Menor a 1000 NPM por cada 100 ml en el 90 % de una serie de muestras consecutivas. b) Menor a 5000 en el 10 % restante
		a) En el 90 % 2160	a) En el 90 % 2160		
		b) En el 10 % 240	b) En el 10 % 240		
Coliformes fecales (NPM/100 ml)		2400	2400	Promedio mensual menor a 100 NPM por cada 100 ml. (50 NPM por dos semana)	a) Menor a 200 NPM por cada 100 ml en el 90 % de una serie de muestras consecutivas b) Menor a 400 en el 10 % restante
		a) En el 90 % 1151,775	a) En el 90 % 1151,775		
		b) En el 10 % 127,975	b) En el 10 % 127,975		
Moluscos infectados con S. mansoni					Ausentes.

fecales y totales son bastante altos referidos a lo que establece la norma. El parámetro moluscos infectados con S.mansoni se encontró ausente.

Una vez comparado los resultados obtenidos con los límites permisibles establecidos en el Decreto 883, se puede indicar que las aguas del río Goaigoaza en cada uno de los subtipos propuestos se encuentra comprometida en al menos uno o dos parámetros, a saber: coliformes totales y fecales; aún y que sin embargo algunos de sus parámetros cumplan con la normativa. Lo que hace presumir el progresivo deterioro del recurso generado por la intervención de la mano del hombre. Llama la atención que, el oxígeno disuelto (OD) en este río denota niveles de concentración bajos, parámetro que es imprescindible para mantener la vida acuática aunque no se encuentra normado dentro de estos subtipos de agua.

### 3.5. Estimación de caudales mensuales a través de un modelo matemático

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para cada río, una vez aplicada la metodología del modelo Box–Jenkins, utilizando el software especializado Gretl.

*Río Miquija.* El modelo que está mejor adaptado a los datos de caudal del río Miquija es estacional de período  $s = 12$ , integrado de orden 1, autorregresivo en la parte estacional (AR) de orden 1 y media móvil (MA) de orden 4, modelo SARIMA(0, 1, 4)(1, 1, 0)<sub>12</sub>. La estacionalidad fue determinada por el periodograma de los datos, el orden de integración por la prueba de raíces unitarias, los órdenes AR y MA fueron determinados mediante una búsqueda exhaustiva de los modelos posibles.

Tabla 9: Modelo mejor aceptado a los datos del caudal del río Miquija: usando las observaciones 2008:02 – 2010:11. Variable dependiente  $\Delta Q_t$ .

Parámetro	Coefficiente	Desv. Típica	p-valor
$\Phi_1$	0,347072	0,207622	0,0946
$\theta_4$	-0,595524	0,153642	0,0001
Raíz	Nro.	Parte Real	Módulo
MA	Raíz 1	-1,1383	1,1383
	Raíz 2	1,1383	1,1383
	Raíz 3	-1,1383	1,1383
	Raíz 4	1,1383	1,1383
AR (estacional)	Raíz 1	2,8812	2,8812

De acuerdo a los resultados de la Tabla 9, el modelo que mejor se adapte a los datos del río Miquija está dado por la ecuación (1)

$$\Delta Q_t = 0,347072\Delta_{12}Q_t - 0,595524e_{t,4} + e_t, \quad (1)$$

donde:

$\Delta Q_t$ : Diferencia de caudal en un tiempo  $t$ ;

$\Delta_{12}Q_t$ : Diferencia de caudal de 12 meses atrás;

$e_{t-4}$ : error de 4 meses atrás;

$e_t$ : error en el tiempo.

Todos los caudales tienen unidades (L/s).

**Río Goaigoaza.** El modelo que está mejor adaptado a los datos de caudal del río Goaigoaza integrado de orden 1, autorregresivo (AR) de orden 4, por lo cual queda de la forma ARIMA(4, 1, 0).

Tabla 10: Modelo mejor aceptado a los datos del caudal del río Goaigoaza: usando las observaciones 2004:07 – 2006:09. Variable dependiente  $\Delta Q_t$ .

Parámetro	Coefficiente	Desv. Típica	p-valor
phi_4	-0,493620	0,157312	0,0017
Raíz	Nro.	Parte Real	Módulo
AR	Raíz 1	1,1930	1,1930
	Raíz 2	1,1930	1,1930
	Raíz 3	-1,1930	1,1930
	Raíz 4	-1,1930	1,1930

De acuerdo a los resultados de la Tabla 9, el modelo que mejor se adapte a los datos del río Goaigoaza está dado por la ecuación (2)

$$\Delta Q_t = -0,493620\Delta Q_{t-4} + e_t. \quad (2)$$

Las raíces de los polinomios autorregresivos y media móvil de los modelos estimados en las Tablas 9 y 10 garantizan que los modelos cumplen con la hipótesis de Box–Jenkins, ya que todos los módulos de las raíces son mayores a 1, lo cual garantiza la estabilidad de la serie y permite realizar pronósticos.

Es importante resaltar que, estadísticamente estos modelos son considerados un modelo inicial por contar solo con 3 años de data mensual, ya que para realizar un modelo más formal, haría falta por lo menos 30 años en datos anuales de acuerdo a lo establecido por Gujarati [7].

### 3.6. Evaluación de caudal para ambos ríos

Mediante los modelos matemáticos estimados para cada río, dados en las ecuaciones (1) y (2), fue efectuado el pronóstico estadístico del caudal, cuyos resultados están en la Figuras 10 y 11.

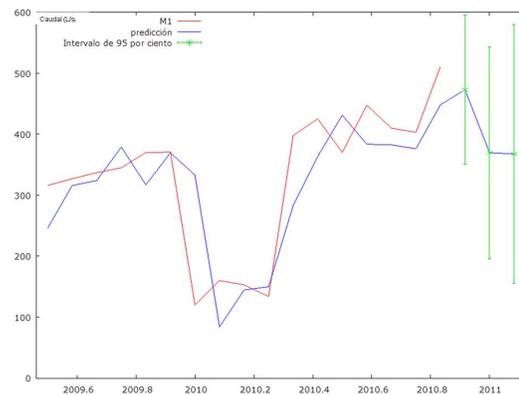


Figura 10: Pronóstico del caudal del río Miquija utilizando el modelo estimado.

Tabla 11: Valores obtenidos de la predicción del caudal ( $\hat{Q}_t$ ) en el río Miquija.

$\hat{Q}_t$	Predicción (L/s)	Desviación Típica	Intervalo al 95 %
2010:12	473,04	62,6008	(350,34; 595,73)
2011:01	369,78	88,5309	(196,26; 543,30)
2011:02	367,54	108,4280	(155,03; 580,06)

**Río Miquija.** Para intervalos de confianza del 95 %, los resultados del pronóstico del caudal para el río Miquija están en la Tabla 11.

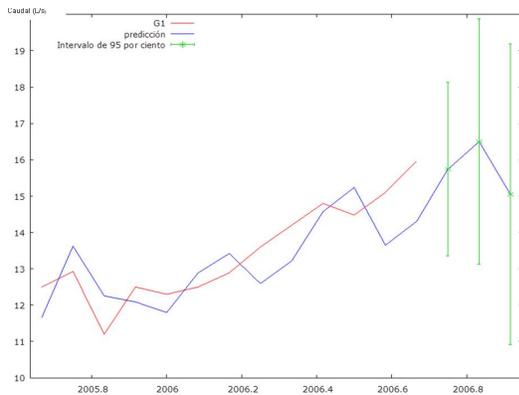


Figura 11: Pronóstico del caudal del río Goaigoaza utilizando el modelo estimado.

Tabla 12: Valores obtenidos de la predicción del caudal ( $\hat{Q}_t$ ) en el río Goaigoaza.

$\hat{Q}_t$	Predicción (L/s)	Desviación Típica	Intervalo al 95 %
2006:10	15,74	1,2176	(13,35; 18,13)
2006:11	16,50	1,7219	(13,12; 19,87)
2006:12	15,05	2,1089	(10,92; 19,18)

Río Goaigoaza. Para intervalos de confianza del 95 %, los resultados del pronóstico del caudal para el río Goaigoaza están en la Tabla 12.

En las Figuras 10 y 11, se puede observar que los valores ajustados (en azul) siguen de cerca los valores de los datos originales en el tiempo, en un intervalo de confianza del 95 % (en Verde); lo que permite generar buenas estimaciones de caudal en el tiempo.

Para la evaluación del caudal, apoyados en el modelo matemático ajustado, junto con la curva pronóstico de los ríos Miquija y Goaigoaza, se puede inferir que el comportamiento de los presentes ríos ha sido No Estacionario a lo largo del tiempo. Lo que permite ratificar que los cambios de caudal en el tiempo también son atribuidos a las afectaciones ambientales evidenciadas, tales como: asentamientos ilegales, tala y quema de árboles, desarrollo de actividad agrícola, agropecuaria, balnearia y construcción de presas de gaviones, lo cual conduce a la disminución y desvío de estos recursos hídricos.

#### 4. Conclusiones

Se seleccionaron 9 puntos para el monitoreo dentro de la subcuenca, de acuerdo al análisis del P.O.R.U, las encuestas y el recorrido por las zonas. La captación de las muestras se efectuó sobre 9 puntos de monitoreo para la obtención de los parámetros fisicoquímicos; contemplando 4 puntos críticos de ellos para los análisis microbiológicos. La concentración del oxígeno disuelto en el río Miquija en sus zonas: alta, media y baja es de 1,5 mg/L, 1,7 mg/L y 1,9 mg/L respectivamente, el cual se encuentra por debajo de los 4mg/L, según el subtipo de agua 1B establecidos en la norma. La concentración de coliformes totales y fecales en el análisis muestral de puntos críticos del río Miquija, en su zona baja es de 1157,85 NPM/100 mL y 1081,242 NPM/100 mL respectivamente, los cuales se encuentran por encima del límite permisible, según el subtipo de agua 2A y 4A establecido en la norma, mientras que el río Goaigoaza, en su zona media y baja es de 2160 NPM/100 mL para ambos sectores, los cuales se encuentran por encima del límite permisible, según el subtipo de agua 2A establecido en la norma. La concentración de coliformes fecales en el análisis muestral de puntos críticos del río Goaigoaza en su zona media y baja es de 1151,775 NPM/100 mL para ambos sectores, los cuales superan significativamente el límite permisible establecido por la norma, para el subtipo de agua 4A.

Con los datos de los caudales históricos, se logró identificar un modelo matemático para cada río en estudio, que estima en el tiempo los caudales mensuales, a través de la herramienta estadística Gretl se pudo realizar el estudio exhaustivo de la serie datos históricos, para lograr la mejor modelación de los datos. Las aguas presentes en los ríos Miquija y Goaigoaza, no cumplen con los límites permisibles establecidos en el Decreto 883 conforme a la clasificación del agua Tipo 1 (1B), Tipo 2 (2A) y Tipo 4 (4A). El comportamiento del caudal a lo largo del tiempo en los ríos Miquija y Goaigoaza ha sido No estacionario, pudiendo atribuir estos cambios a las afectaciones ambientales reflejadas en el

presente estudio. La calidad y caudal de agua en la subcuenca hidrográficas Miquija-Goaigoaza se encuentra comprometida para cada uno de los tipos de aguas y usos para los cuales pueden ser destinados estos recursos hídricos. Las fuentes de contaminación que están incidiendo en mayor proporción en los ríos Miquija y Goaigoaza son los agentes patógenos.

## Reconocimientos

El presente Trabajo Especial de Grado fue reconocido por la Escuela de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Venezuela, con Mención Honorífica por su aporte de nuevos registros ambientales en la Subcuenca Miquija – Goaigoaza, ubicada en la vertiente norte del Parque Nacional San Esteban (PNSE), Estado Carabobo – Venezuela.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Parques – INPARQUES por el apoyo recibido en el acceso y guía a la zona de estudio, así como también al Instituto Autónomo del Sistema Integrado de Emergencias, Desastres y Apoyo a la Gestión de Riesgo del Estado Carabobo, Venezuela - I.A.S.I.E.D.A.G.R.E.C por facilitar los equipos de campo para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, finalmente a la Hidrológica del Centro - Hidrocentro C.A y la Secretaria de Ordenación del Territorio, Ambiente y Recursos Naturales por facilitar la data histórica que sirvió de base para la estimación de los caudales mensuales mediante los modelos matemático elaborado para cada río de estudio.

## 5. Referencias

- [1] M. A. Villa. Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación. Tesis de Maestría, Universidad de Cádiz, Cádiz, España, 2011.
- [2] DEVIDA. Estudio de la calidad del agua en el valle del Río Apurímac. Reporte Técnico, DEVIDA, Perú, 2013.
- [3] COVENIN. COVENIN 2709:2002. Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo. (1<sup>era</sup> Revisión). COVENIN, 2002.

- [4] Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Decreto N° 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, 5021(Extraordinario), 1995.
- [5] APHA, AWWA, and WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 1998.
- [6] D. Harris. *Análisis químico cuantitativo*. Reverté, España, 3 edition, 2007.
- [7] D. Gujarati. *Econometría*. McGraw-Hill Interamericana, México, 5 edition, 2010.