

Caracterización fisicoquímica del agua del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela

José A. Gil Marín^{1*}, Celeidys Vizcaino¹, Genette Beloso²

¹Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería Agronómica, Departamento de Ingeniería Agrícola. Maturín, Monagas, Venezuela. ²Universidad de Oriente, Unidad de Cursos Básicos. Maturín, Monagas, Venezuela. *Correo electrónico: jalexgil2005@hotmail.com

RESUMEN

El río Guarapiche es la principal fuente de agua potable en el estado Monagas. Los sectores que utilizan estas aguas son: agroindustrial, agrícola, petrolero, recreacional y doméstico. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río en siete estaciones de muestreo, durante seis meses, con intervalos de tiempo mensual. Los sitios de captación seleccionados surten las plantas potabilizadoras de agua y sistemas de riego de los municipios Acosta, Cedeño y Maturín. Se determinó la temperatura, pH, sólidos disueltos, conductividad eléctrica, la alcalinidad y dureza total. La dureza total sobrepasó el rango permisible en las estaciones de Miraflores, San Félix de Caicara y Merecure. El resto de las variables analizadas están por debajo de los límites admisibles en las normativas sanitarias y ambientales del país. El conjunto de los resultados obtenidos permitió concluir que la calidad del agua del río es muy satisfactoria, recomendándose su uso para consumo humano previo proceso de potabilización, y para los sistemas de riego de la zona.

Palabras clave: agua potable, decreto 883, calidad del agua, dureza total.

Physicochemical characterization of Guarapiche river water, Monagas State, Venezuela

ABSTRACT

The Guarapiche River is the main source of drinking water in the Monagas State. It most used by agro-industrial, agricultural, oil, recreational and domestic areas. The objective of this work was determine the physicochemical variations of the river water quality in seven sampling stations, during six months, with monthly time intervals. The selected catchment sites supply the water purification plants and irrigation systems of the Acosta, Cedeño and Maturín municipalities. Temperature, pH, dissolved solids, electrical conductivity, alkalinity and total hardness were determined. Total hardness only exceeded the permissible range in Miraflores, San Felix, Caicara and Merecure stations. The remaining analyzed variables are below the limits allowed in the sanitary and environmental regulations of the country. The set of results obtained allowed to conclude that the water quality of the river is very satisfactory, recommending its use for human consumption, prior to the purification process and to irrigations systems.

Key words: drinking water, decree 883, water quality, total hardness.

INTRODUCCIÓN

Preservar la integridad de las fuentes de agua implica conservar el balance natural de su condición fisicoquímica como un todo, por eso las aguas superficiales suelen ser más susceptibles a las variaciones de algunos parámetros a través del tiempo y el espacio. El comportamiento del río es difícil de manipular, principalmente cuando la condición referencial de la corriente de agua se desconoce y éstas han estado sujetas por largo tiempo a actividades antropogénicas que han influenciado la interacción entre el suelo, atmósfera y actividades realizadas por el hombre, alterando la calidad del agua (Arango *et al.* 2008).

Por otro lado, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. De acuerdo con la Unesco (2012), alrededor de 2 millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). Aunque los datos confiables sobre la extensión y gravedad de la contaminación son incompletos, se estima que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km³. Actualmente se asume que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km³. Las poblaciones más pobres resultan las más afectadas, el 50 % de la población de los países en desarrollo están expuestas a fuentes de agua contaminadas (Unesco 2012).

El agua potable requiere ser extraído de fuentes que tengan una calidad admisible para el consumo humano y la manera de verificarlo es conociendo sus características fisicoquímicas (OMS 2003). Las fuentes de agua pueden ver mermada su calidad por dos tipos de contaminación: la natural o geoquímica y la antropogénica. Gray (1994) plantea que la contaminación de origen natural es causada por la naturaleza del agua de lluvia, el tipo de suelo y roca que forma el acuífero. En la contaminación antropogénica o producida por los humanos se destacan cuatro factores principales: la industria, vertidos humanos, navegación y, por último, la agricultura y ganadería.

El principal causante en la variación de la calidad del agua en los ríos está relacionado con el crecimiento indiscriminado de los asentamientos rurales y urbanas en sus inmediaciones, donde vierten los efluentes al río sin los previos tratamientos; también las actividades agrícolas, industriales, petroleras y las incidencias climáticas, influyen en los valores de algunos parámetros físicos del agua, restringiendo el uso de esta fuente de interés general (Aveiga *et al.* 2019, Rondón 2008). De acuerdo con ONU-HÁBITAT (2010), la mitad de la población humana vive en ciudades y se estima que, dentro de dos décadas, aproximadamente el 60 % de la población mundial (5.000 millones de personas), vivirán en zonas urbanas. Para el caso de Venezuela, el porcentaje urbano de su población paso de 71,8 % en el año de 1975 a 90,8 % en 2015 (CEPAL 2014).

En ocasiones, la incidencia causada por la intensidad de las precipitaciones, incurre pasivamente en la calidad fisicoquímica del agua, presentando como consecuencia el arrastre de sedimentos y componentes del suelo hasta los ríos, produciendo altos niveles de sólidos sedimentables en el agua, provocando la disminución de la vida útil de los sistemas de filtración utilizados en la potabilización del agua para consumo humano (Almazaban-Juárez *et al.* 2016).

Todo lo anterior, ha generado una grave crisis en muchas de las comunidades a nivel mundial a tener acceso al agua de óptimas condiciones (potable). En Venezuela tenemos el caso del río Guarapiche, que se ha visto afectado por diferentes fuentes de contaminación, originado por las actividades económicas realizadas por el hombre. Cabe destacar que el principal problema de contaminación que se ha presentado en los últimos años, ha sido la actividad petrolera, debido al derrame de petróleo que ocurrió en el año 2012, lo cual produjo importantes cambios químicos en el agua que paralizó el uso del vital líquido durante un largo tiempo.

Otros problemas que se han venido presentando son la tala, la quema y los botaderos de basura cerca de la cuenca del río que producen un gran daño ecológico a la atmósfera y al vital líquido. Por último, el uso excesivo de fertilizantes

y pesticidas, los cuales con el pasar del tiempo penetran el suelo y de aquí pasan al río trayendo como consecuencia cambios químicos y un alto nivel de contaminación.

Esto confirma que el desequilibrio ambiental que tiene la cuenca del río Guarapiche es permisible, no obstante, los factores causantes son muy variados (MARNR 1980, Gil *et al.* 2018). Las medidas adecuadas que permitan disminuir esta problemática ambiental que deteriora la calidad del agua de este río pueden estar reflejada en la cuenca baja donde se presenta la mayor vulnerabilidad en la caracterización del agua, debido a las actividades petroleras y al crecimiento demográfico al margen de su cauce, requiriéndose un registro con el control de muestreo regulado y monitoreado, por los organismos e instituciones competente que permitan conocer periódicamente la situación con respecto a la calidad de estas aguas (Gil *et al.* 2018).

El río Guarapiche por ser el afluente de mayor importancia en el estado Monagas, dota de agua a los desarrollos urbanísticos, industriales, agrícolas y petroleros que ocupan parte de su cuenca, poniendo en relieve un problema socioambiental con la posible contaminación de este río, con la afectación directa de los usuarios que se abastecen de esta fuente diariamente.

Bajo este contexto, surge la necesidad de evaluar las características de algunas variables fisicoquímicas (temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, alcalinidad y dureza) del agua del río Guarapiche, para determinar los niveles de los rangos permitidos, también observar la variabilidad espacio-tiempo de estos parámetros y comparar los valores con los rangos permisibles en las normas ambientales y sanitarias en agua para consumo humano y riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio abarca la cuenca del río Guarapiche, ubicada en la región nor-oriental de Venezuela; cubriendo parte del noroeste y noreste del estado Monagas, donde se localizan los municipios Acosta, Cedeño y Maturín (Figura 1).

En esta cuenca se destacan las poblaciones agrícolas de Miraflores, Tristé, San Félix de Caicara, Merecure, Jusepín, Candelaria, San Vicente, La Cruz, Bajo Guarapiche, Plantación y Vuelta Larga, que representan el nivel socio productivo del estado (Gil *et al.* 2013) y alto crecimiento demográfico, por la intervención de la actividad petrolera.

El río Guarapiche presenta una longitud de aproximadamente 238,04 km y forma parte de

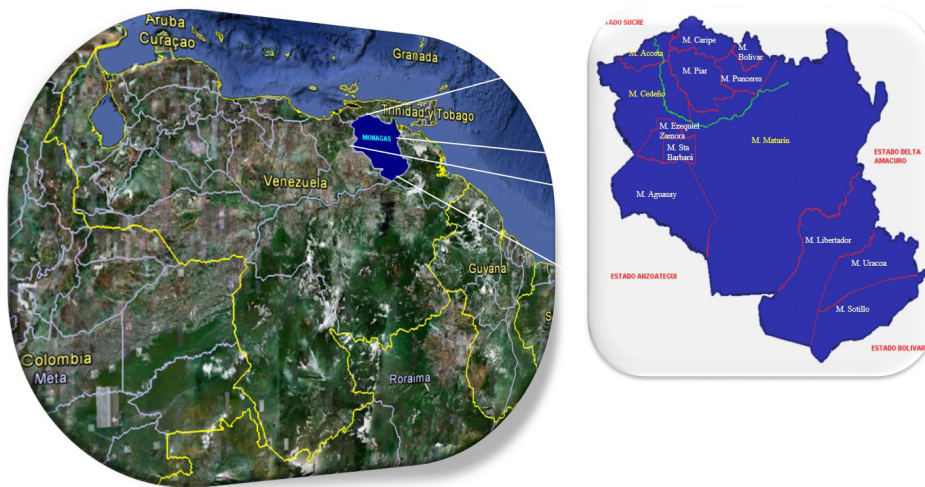


Figura 1. Ubicación relativa del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela.

la Región Hidrográfica Oriental de Venezuela (MINAMB 2006). A lo largo de toda su cuenca se ubicaron las siete estaciones o sitios de muestreo (Figura 2). En el Cuadro 1 se presentan las coordenadas geográficas y UTM de las estaciones de muestreo.

Las muestras de aguas se recolectaron con una frecuencia mensual a lo largo de un lapso total de seis meses, de febrero a julio del año 2011. Las estaciones de muestreo se ubicaron en puntos cercanos a las comunidades que se abastecen del río.

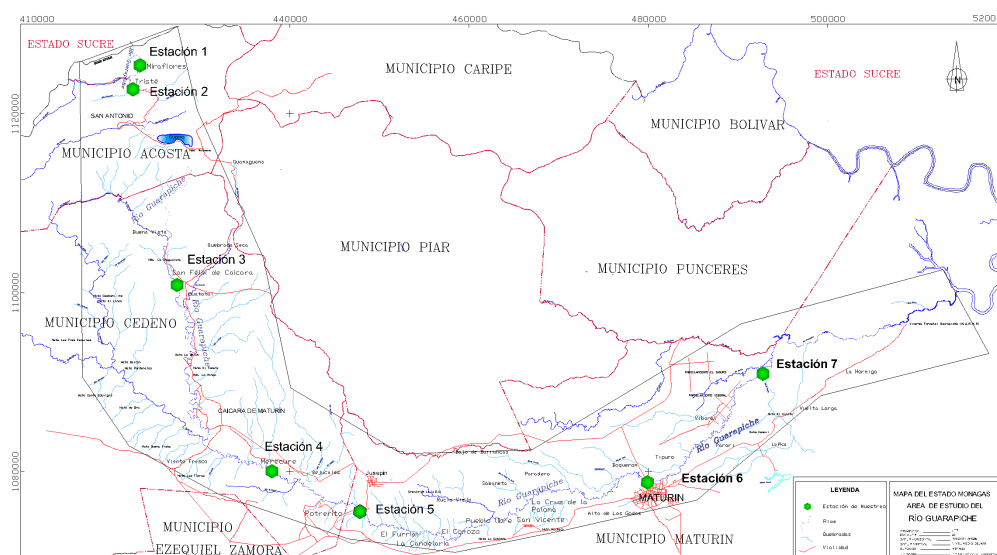


Figura 2. Ubicación de estaciones de muestreo en el río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. Período febrero-julio 2011.

Cuadro 1. Coordenadas geográficas y UTM de las estaciones de muestreo en el río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. Período febrero – julio 2011.

Est.	Localidad	Altitud (m)	Coordenadas			
			Geográficas		UTM	
			Latitud	Longitud	Norte	Este
1	Miraflores	524	10°10'46"	63°42'0"	1125354	423320
2	Tristé	471	10°09'22"	63°42'27"	1122757	422497
3	San Félix de Caicara	235	09°57'35"	63°39'31"	1101042	427822
4	Merecure	110	09°46'18"	63°33'54"	1080219	438035
5	Jusepín	80	09°10'47"	63°28'33"	1075566	447808
6	Maturín	33	09°45'34"	63°11'0"	1078808	479878
7	Vuelta Larga	12	09°52'08"	63°03'57"	1090915	492771

Datos extraídos del dispositivo GPS modelo Magellan. Datum Regven.

Algunos parámetros como pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos totales disueltos se determinaron in situ; la alcalinidad y dureza total en el laboratorio de Riego y Drenaje de la Universidad de Oriente, núcleo de Monagas.

La muestra se tomó a una profundidad de 15 a 30 cm, en contracorriente del río, luego se colocaron en un contenedor con hielo, a una temperatura entre los 4 a 10° C, para ser trasladado al laboratorio de Riego y Drenaje. Las variables fisicoquímicas medidos en el sitio de muestreo y laboratorio, se realizaron con el equipo portátil Modelo HI 98129 y el fotómetro multiparamétrico de Hanna Instruments.

El análisis estadístico fue realizado a través de un análisis de varianza al 5% de probabilidad, utilizando el programa estadístico SAS (9.0), y donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó una prueba de Duncan al 5% de significancia. El análisis se realizó para detectar las variaciones de los parámetros a través del tiempo y en cada estación.

También se determinaron las medidas de tendencias central y medidas de dispersión en un gráfico tipo caja de ploteo o box plot. Todos estos cálculos se llevaron a cabo con el paquete estadístico descriptivo SPSS (Versión 8).

Los resultados se compararon con los umbrales establecidos en las normativas ambientales relacionados con la calidad del agua (Decreto 883

1995), las normativas sanitarias venezolanas (MSAS 1998) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2003) relacionada con la calidad del agua potable para el consumo humano.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores permisibles establecidos por las leyes y/o normativas nacionales e internacionales, se muestran en el Cuadro 2, resaltando los parámetros fisicoquímicos estudiados.

De todas las variables mencionadas en el Cuadro 2, solo la alcalinidad no presentó valores dentro de estas normativas. Sin embargo, fue considerada en el estudio por ser un indicador esencial para determinar otros elementos físicos-químicos fundamentales en el uso doméstico.

Con los muestreos realizados al río Guarapiche, se comprobó la calidad del agua, lo cual es esencial por su gran interés público sobre todo para el consumo humano de la ciudad de Maturín. A este río no se le realiza el monitoreo con la frecuencia adecuada para corroborar las condiciones aptas de su consumo. El estado venezolano tiene el deber de proteger las cuencas hidrográficas, clasificar y controlar la calidad de los cuerpos de agua, controlar los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar el nivel exigible del ambiente (Decreto 883 1995).

Cuadro 2. Valores límites o rangos máximos permitidos en las normativas para los parámetros fisicoquímicos estudiados en el río Guarapiche.

Parámetros físicos-químicos	Unidad	Decreto 883 *	Norma Sanitaria **	OMS ***
pH		6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	-
Conductividad eléctrica	dS.m ⁻¹	-	-	3
Temperatura	°C	-	32	25
Sólidos disueltos	mg.L ⁻¹	1500	600	1000
Alcalinidad	mg.L ⁻¹	-	-	-
Dureza total	mg.L ⁻¹	500	250	-

*: Normativa Venezolana, Decreto 883 (1995). **: Norma sanitaria de calidad del Agua Potable (1998). ***: Parámetros permisibles por normativa internacional OMS (2003).

Variabilidad espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos del río Guarapiche

El promedio de las características físico-químicas de los seis muestreos efectuados se muestra en el Cuadro 3.

Temperatura

Es uno de los parámetros más importantes de la calidad del agua, ya que una temperatura alta puede provocar la proliferación de microorganismos, como también aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión (OMS 2008).

Cuadro 3. Características fisicoquímicas del agua del río Guarapiche. Período febrero – julio 2011.

Estación	Mes	Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹)	Sólidos disueltos (mg.L ⁻¹)	Dureza total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	Alcalinidad (mgL ⁻¹ CaCO ₃)
Miraflores	febrero	21,7	8,34	0,348	185	332,72	122,5
	marzo	21,8	8,34	0,319	166	345,20	82,5
	abril	21,8	8,41	0,333	172	295,26	90,0
	mayo	22,6	8,39	0,313	164	320,23	90,0
	junio	22,0	8,41	0,294	152	436,32	75,0
	julio	21,1	8,41	0,278	145	345,20	55,0
Tristé	febrero	22,6	8,11	0,372	195	367,98	115,0
	marzo	23,1	8,16	0,356	185	357,68	100,0
	abril	24,1	8,10	0,366	190	395,14	75,0
	mayo	23,9	8,16	0,358	185	365,79	50,0
	junio	23,0	8,14	0,304	158	320,23	70,0
	julio	22,1	8,23	0,318	165	340,82	115,0
San Félix de Caicara	febrero	24,9	8,44	0,302	157	370,17	132,5
	marzo	26,3	8,36	0,310	158	315,85	62,5
	abril	25,4	8,26	0,315	165	295,26	80,0
	mayo	26,1	8,22	0,288	149	320,23	65,0
	junio	26,3	8,26	0,262	136	311,47	110,0
	julio	26,0	8,33	0,259	134	365,79	60,0
Merecure	febrero	27,9	7,95	0,391	201	355,50	0,0
	marzo	28,5	8,02	0,372	193	365,79	125,0
	abril	27,5	8,02	0,346	178	445,08	105,0
	mayo	26,7	7,96	0,297	154	320,23	95,0
	junio	27,5	7,97	0,273	143	315,85	50,0
	julio	28,9	7,93	0,349	182	431,94	80,0

Cuadro 3 (cont...). Características fisicoquímicas del agua del río Guarapiche. Período febrero – julio 2011.

Estación	Mes	Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹)	Sólidos disueltos (mg.L ⁻¹)	Dureza total (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	Alcalinidad (mgL ⁻¹ CaCO ₃)
Jusepin	febrero	26,8	8,05	0,360	186	365,79	75,0
	marzo	28,7	8,01	0,380	197	318,04	105,0
	abril	27,9	7,95	0,359	185	290,88	115,0
	mayo	26,9	7,85	0,290	150	295,26	120,0
	junio	27,3	7,96	0,290	150	315,85	75,0
	julio	28,8	7,94	0,345	179	386,38	60,0
Maturín	febrero	27,5	7,58	0,296	153	340,82	47,5
	marzo	29,6	7,71	0,348	180	270,29	105,0
	abril	29,2	7,65	0,334	175	295,26	90,0
	mayo	27,6	7,78	0,285	142	277,74	52,5
	junio	28,6	7,66	0,268	139	390,76	55,0
	julio	28,9	7,73	0,313	162	440,70	30,0
Vuelta Larga	febrero	25,8	7,03	0,160	83	328,33	17,5
	marzo	27,3	7,70	0,327	169	343,01	60,0
	abril	29,6	7,76	0,332	172	270,29	65,0
	mayo	27,9	7,71	0,270	140	436,32	35,0
	junio	28,2	7,50	0,218	112	290,88	45,0
	julio	29,1	7,60	0,289	149	361,41	40,0

Esta variable presentó diferencias significativas en las estaciones de muestreo, pero no en el tiempo de estudio. La temperatura en el agua del río Guarapiche varió en un rango de 26,31 °C ± 2,76, con un valor máximo de 29,6 °C y un mínimo de 21,1 °C. La Figura 3 muestra la variación general, estacional y temporal de la temperatura, organizadas en orden decreciente de la altitud de las estaciones de muestreo.

Se detectó una variación significativa ($P < 0,0001$) en cada una de las estaciones, observándose el mayor valor en la estación de Maturín (Figura 3B), con un promedio de 28,8 °C; seguido por la estación de Vuelta Larga, ambas pertenecientes a la cuenca baja del río Guarapiche. La menor temperatura (21,73 °C) se registró en la estación

de Miraflores, ubicada en la cuenca alta del río. Estos resultados dependen de varios factores, entre la que se puede mencionar la hora en que fue tomada la muestra y el paisaje de la zona de muestreo. De acuerdo a Urriola (2007), el paisaje montañoso puede presentar temperaturas entre 16 °C a 25 °C; y en la altiplanicie y planicie pueden oscilar entre 25 °C a 29 °C.

El caso de las estaciones Miraflores y Tristé ubicadas en zona montañoso, preserva la temperatura del agua; y las otras estaciones localizadas en paisajes de altiplanicie y planicie, la temperatura varió de acuerdo al momento en que se realizó el muestreo. Las estaciones Merecure, Jusepín, Maturín y Vuelta Larga, mantuvieron elevados los valores a causa de la hora de

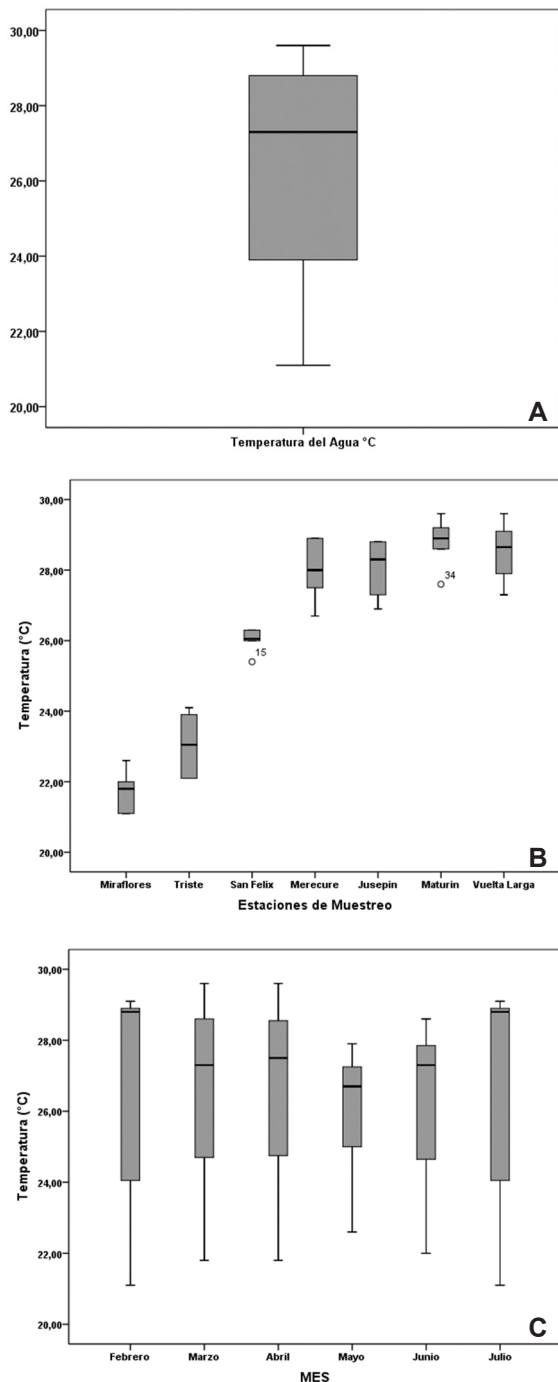


Figura 3. Cajas de ploteo para los valores de temperatura. **A:** Variación general, **B:** Variación estacional, **C:** Variación temporal.

recolección de la muestra (mediodía), cuando el agua absorbe los rayos solares con mayor intensidad.

La Figura 3C, señala la estabilidad de la temperatura del agua a través del tiempo de estudio, resaltando al mes de abril como el de mayor valor (26,5 °C), considerando a este mes el más crítico del año por su incidencia en el período de sequía que aumenta la temperatura ambiental.

Medina (1984) en un estudio de temperatura en el río Guarapiche, durante el período de sequía observó un valor promedio de 25°C, mientras Rondón (2008) para los años 2003, 2004 y 2005, reportó un promedio de 25,4 °C; valores por debajo del promedio obtenido de 26,31° C. La temperatura promedio del agua del río se ha incrementado en los últimos años, debido posiblemente a cambios de las condiciones climáticas originados por la deforestación y la erosión en la cuenca. Otra causa puede ser de tipo antropogénica, producida por el vertimiento de efluentes doméstico, industrial y agrícola al río (Almazán-Juárez *et al.* 2016), las cuales aumentan la temperatura del agua en la cuenca baja.

La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros elementos, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisico-químicas (DIGESA 2007). Los valores observados, son adecuados para el consumo humano y puede ser utilizado como referencia para monitorear variaciones térmicas provocadas por descargas de aguas calientes. También actúa en los procesos fisiológicos de los organismos acuáticos, tal como la respiración microbiana, la cual es responsable de muchos de los procesos de auto-purificación en los cuerpos de agua superficiales (Chapman 1996).

La temperatura superficial del agua mostró pocas fluctuaciones en todo el estudio, lo cual otorga estabilidad al ambiente para el desarrollo de los organismos acuáticos. Esto concuerda con García-Álzate *et al.* (2017), quienes indican que los organismos acuáticos de las zonas tropicales viven en medios en los que la temperatura varía muy poco; de ahí que sus respuestas fisiológicas se alteran fácilmente con cambios bruscos.

En el trópico, donde la luz y la temperatura son relativamente estables en el curso del año, las variaciones estacionales de los organismos

acuáticos dependen del efecto que tienen las altas y bajas lluvias en el volumen del agua transportado; lo cual, a su vez, influye en las condiciones y en los tipos y la diversidad de los hábitats disponibles.

Por lo tanto, la temperatura es uno de los indicadores básicos para un programa de seguimiento de calidad de agua a nivel nacional.

Potencial de hidrogeno (pH)

La determinación del pH es una medida para conocer la acidez o alcalinidad presente en el agua (Mejía 2005). El Laboratorio Nacional de Hidráulica y Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2010), clasifica los intervalos de pH en ligeramente ácidas de 6,4 - 7,1; ligeramente alcalinas de 7,1 - 8,2 y muy alcalinas de 8,2 - 10,9.

Las aguas en su estado natural tienen un pH entre 6 y 8, aunque muchas de ellas se encuentran en ligeramente alcalino. Un pH muy ácido o muy alcalino, puede ser indicio de una contaminación (Mejía 2005).

En este estudio, el pH presentó diferencias significativas entre las estaciones ($P < 0,0001$), pero no en el tiempo. De acuerdo al Cuadro 2, el pH del agua para consumo humano debe oscilar entre 6,5 y 8,5. Los valores (Figura 4A) estuvieron en un rango de $8,02 \pm 0,27$, con un valor máximo de 8,41 y un mínimo de 7,5 encontrándose dentro de los niveles permisible del Decreto 883 (1995).

La variación del pH por estación y época de muestreo se observa en las Figuras 4B y 4C. En el espacio, el más alto valor se registró en la estación de Miraflores (8,39) y el mínimo lo presentó la estación de Vuelta Largas con un promedio de 7,65. Indicándose una tendencia en la disminución del pH cuando el agua pasa de la cuenca alta hacia la cuenca baja, es decir, pasa de muy alcalina a ligeramente alcalina. Medina (1984) y Gil *et al.* (2013), también encontraron una disminución en el pH del río Guarapiche a medida que el cauce se dirige hacia la cuenca baja. Siendo los valores altos en las estaciones de Miraflores, Tristé y San Félix de Caicara debido a la formación geológica cretácea de los suelos de la zona en estudio (Urriola 2007).

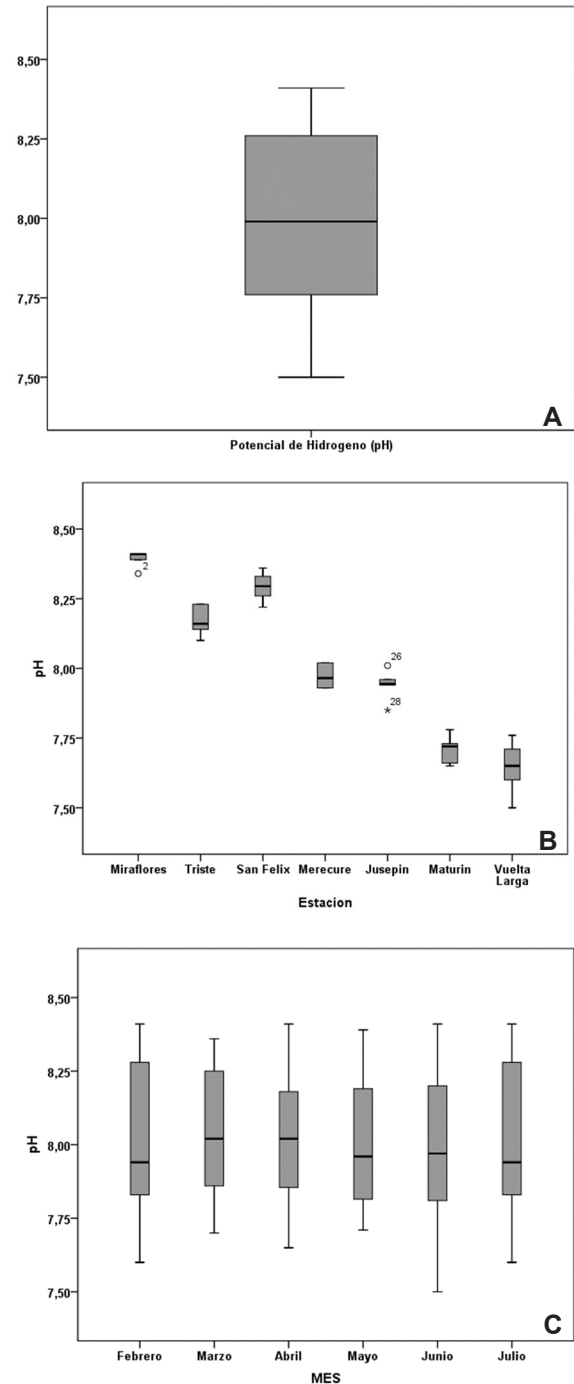


Figura 4. Cajas de ploteo para los valores de pH. **A:** Variación general, **B:** Variación estacional, **C:** Variación temporal.

Para el factor tiempo (figura 4C), el mayor valor se observó en el mes de febrero (sequía), aunque es estadísticamente igual al pH presentado en los otros meses de estudio.

Zhen - Wu (2009), afirma que el agua de ríos no afectada por la contaminación presenta un pH entre 6,5 y 8,5. Sin embargo, la Organización Mundial de Salud (OMS, 2003), clasifica al pH del agua dentro el rango de 5,5 a 6,4 como aceptable y un rango de 7,6 a 8,5 como bueno, siendo este último rango el encontrado en la cuenca del río Guarapiche. A pesar de eso, la OMS (2008), menciona que el pH no suele afectar directamente a los consumidores, ya que los procesos químicos de potabilización ocurren a ese determinado rango de pH.

Para García-Álzate *et al.* (2017), el pH no debe ser menor de 4,5 ni mayor a 8,5, ya que son las concentraciones límites para la supervivencia de la mayoría de los organismos acuáticos. En este estudio se encontraron valores que oscilaron entre 7,5 y 8,41 correspondiendo a los óptimos para el desarrollo de los organismos acuáticos. Esta variable está íntimamente relacionada con la alcalinidad; así, que aguas con pH alto pueden indicar una alcalinidad alta (Roldán y Ramírez, 2008). En este estudio se encontró que el pH tiende a ser básico, por lo que la alcalinidad es alta y la acidez tiende a disminuir como resultado del sistema buffer del agua.

Conductividad eléctrica (CE)

Es un indicador de la cantidad de sales que puede estar disuelta en el agua, a mayor cantidad, mayor será la conductividad del agua (DIGESA 2007).

El análisis de varianza para esta variable presentó diferencias significativas tanto para el factor espacio ($P = 0,0194$) como el tiempo ($P = 0,0003$). En el decreto 883 (1995), no indica valores para este parámetro, aunque la OMS (2003), establece un valor crítico de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

La CE del río Guarapiche estuvo en el rango de $0,31 \pm 0,04$, con un máximo de $0,38 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y un mínimo de $0,22 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 5A). En todos los casos los valores están dentro de los parámetros establecidos por las normativas del Decreto 883 (1995) y OMS (2003), ya que se encuentran por debajo del valor recomendado, de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; esto quiere decir que el agua analizada no presenta riesgo para el consumo humano. Tomando en cuenta el espacio, en la Figura 5B,

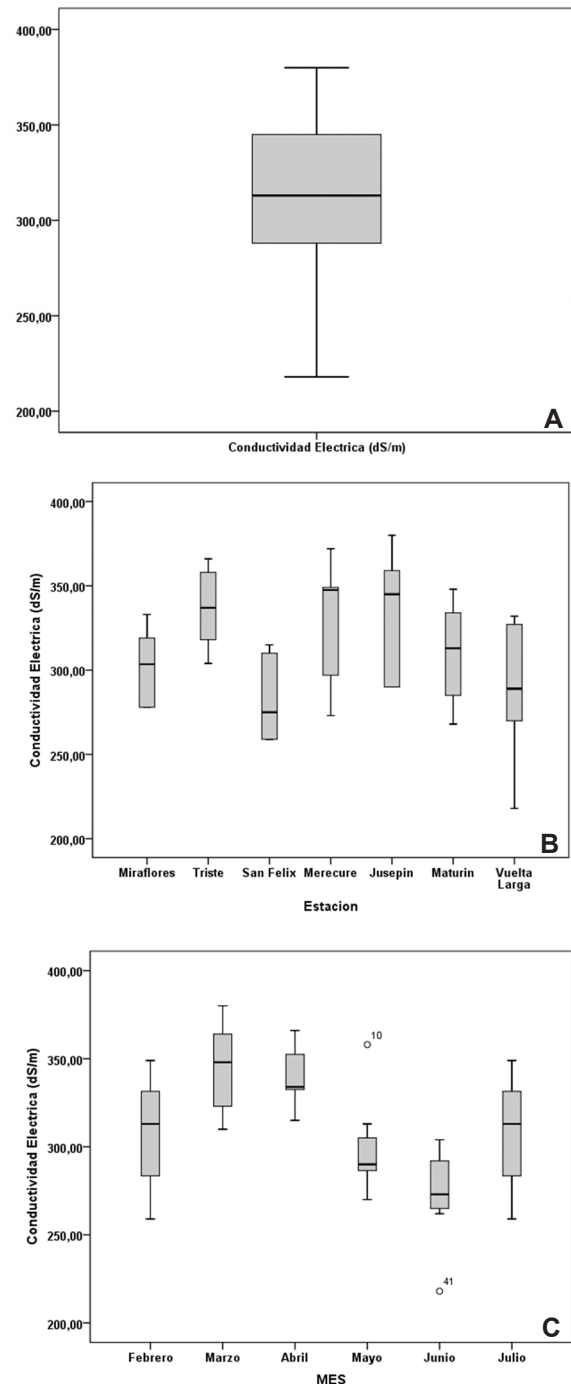


Figura 5. Cajas de ploteo para los valores de conductividad eléctrica. **A:** Variación general, **B:** Variación estacional, **C:** Variación temporal.

los máximos valores de CE se presentaron en las estaciones Tristé ($0,336 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y Jusepín ($0,334 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$); y los valores más bajos se observaron

en las estaciones de San Félix ($0,282 \text{ dS.m}^{-1}$) y Vuelta Larga ($0,287 \text{ dS.m}^{-1}$). Bustamante *et al.* (2002), menciona que un nivel alto de CE indica la presencia de iones que pueden disociarse y aumentar la salinidad. Esta variable ha mantenido su valor a través del tiempo, si se compara con el reporte realizado por Medina (1984), donde indica valores de $0,314 \text{ dS.m}^{-1}$ y $0,349 \text{ dS.m}^{-1}$. Posiblemente se deba a eventual presencia de elementos inorgánicos como fertilizantes, herbicidas, plaguicidas e hidrocarburos, que al disociarse con agua, forman sales que afecta la calidad del agua del río.

En relación al tiempo (Figura 5C), la CE disminuye en la época de lluvia que comprende los meses de mayo y junio, con respecto a los meses con escasos aportes de precipitación, indicando que en período de sequía las concentraciones tienden a aumentar debido a la disminución del caudal en el río y la alta demanda para los respectivos usos (Gil *et al.* 2013).

La conductividad en los ecosistemas acuáticos tropicales está más relacionada con la naturaleza geoquímica del terreno y su concentración varía principalmente con las épocas de alta y baja precipitación, así como con su estado trófico (Roldán y Ramírez 2008). La diversidad de organismos, probablemente, no es afectada por los valores de conductividad y las concentraciones de cloruros. Esto debido a que las altas diversidades de especies corresponden, a menudo, a bajas conductividades y bajas cantidades de cloruros.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Es una característica que presenta el agua para distinguir la presencia de sólidos coloidales, sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica (OMS 2003).

El agua potable con una concentración de STD menor a 600 mg.L^{-1} se considera buena, sin embargo, a concentraciones próxima a los 1.000 mg.L^{-1} , la potabilidad del agua de consumo disminuye significativa y progresivamente (OMS 2006).

El análisis de varianza indica diferencias significativas para la variable STD, tanto en los sitios de muestreo ($P = 0,0107$) como en el tiempo ($P = 0,0231$). El decreto 883 (1995) señala valor de 1.500 mg.L^{-1} de STD, como umbral máximo para ser considerado como agua apta para consumo humano. Los valores en este trabajo se encuentran en el rango de $162,74 \pm 23,77 \text{ mg.L}^{-1}$, con un máximo de 201 mg.L^{-1} y mínimo de 83 mg.L^{-1} , encontrándose por debajo del umbral de la normativa (Figura 6A).

En la Figura 6B, se observa que el valor más alto de STD lo presentó la estación de Tristé con $179,67 \text{ mg.L}^{-1}$ y el menor valor en la estación de Vuelta Larga con $137,50 \text{ mg.L}^{-1}$. Esto indica que los STD tiende a disminuir en cada estación.

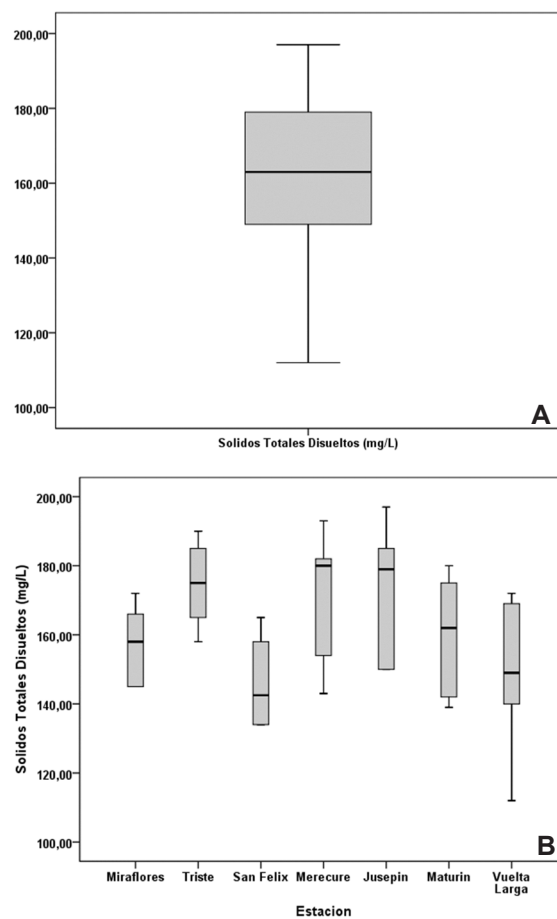


Figura 6. Cajas de ploteo para los valores de sólidos totales disueltos. **A:** Variación general, **B:** Variación estacional.

Los meses con máximos valores de sólidos totales disueltos fueron marzo y abril (Figura 7). Esto se debe posiblemente a la disminución en el caudal del río que trae consigo un incremento en la concentración de los STD. Con la disminución de estas concentraciones se evitaría, las excesivas incrustaciones en tuberías y electrodomésticos al momento de ser utilizada para el consumo humano (OMS 2006).

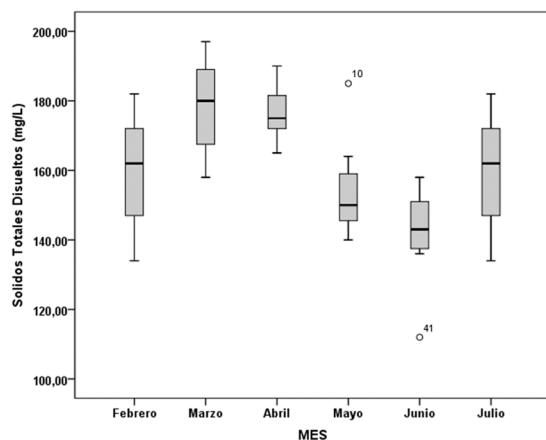


Figura 7. Caja de ploteo para la variación temporal de los sólidos totales disueltos.

Según la Asociación Americana de Salud Pública (APHA 1996) el agua para consumo humano puede presentar la mayoría de la materia orgánica que se encuentra en forma de sólidos disueltos y en gases e iones disueltos. Los iones predominantes son el bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Estas sustancias influyen sobre otras características del agua, como el sabor, la dureza y tendencia a la incrustación.

La determinación de esta variable mide el total de residuos sólidos filtrables como sales y compuestos orgánicos a través de una membrana con poros de 2 micrómetros o incluso más pequeños. Los sólidos disueltos totales pueden afectar adversamente la calidad de un afluente de distintas maneras, un ejemplo de ello es un agua para consumo humano con alto contenido de sólidos disueltos (500 mg.L⁻¹ límite máximo permisible para los Estados Unidos) por lo general

es desagradable para el paladar y puede inducir reacciones fisiológicas desfavorables para el consumidor (Fuentes y Massol-Deyá 2002). El promedio de los sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm. Una manera sencilla de estimar este parámetro, es a partir de la medida de la conductividad eléctrica del agua, ya que existe una relación directa entre estos dos parámetros, la conductividad eléctrica mide la cantidad total de iones presentes en el agua y por su parte los sólidos disueltos totales se refieren a la concentración total de minerales (Roldán 2012).

Dureza total

Es otra forma de indicar el contenido catiónico del agua, refiriéndose a la concentración total de iones calcio, magnesio, estroncio y bario, aunque se debe fundamentalmente a los dos primeros. La presencia de estos iones en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica (Jiménez 2000). El agua es suave si contiene entre 0 a 60 mg.L⁻¹ de dureza; suficientemente moderada de 61 a 120 mg.L⁻¹; dura, entre 121 a 189 mg.L⁻¹ y muy dura si tiene más de 180 mg.L⁻¹ (ESF 2006). La dureza recomendada para aguas de consumo humano debe estar por debajo de 500 mg.L⁻¹, según decreto 883(1995) y 250 mg.L⁻¹ por la norma sanitaria (MSAS 1998).

El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas en el espacio ($P = 0,6894$) y tiempo ($P = 0,2654$). La dureza total estuvo dentro del rango de $344,14 \pm 47,34$ mg.L⁻¹, con un máximo de 445,08 mg.L⁻¹ y un mínimo de 270,29 mg.L⁻¹, valores por debajo del límite permitido del decreto 883 (1995) (Figura 8A). Los valores altos (mayor a 500 mg.L⁻¹) se deben a la presencia en una proporción mayor de minerales disueltos (Pacheco *et al.* 2004). Por lo tanto, estos valores clasifican a las aguas del río Guarapiche como muy dura, superando los obtenidos por Medina (1984) y Rondón (2008), quienes reportaron una dureza total en el rango de 82 a 155 mg.L⁻¹.

Los sitios con mayores niveles de dureza fueron las estaciones Tristé y Merecure, con niveles de 357,94 y 372,39 mg.L⁻¹ respectivamente (Figura 8B). Esto demuestra que el agua del río Guarapiche debe ser tratada en caso que sea utilizada como

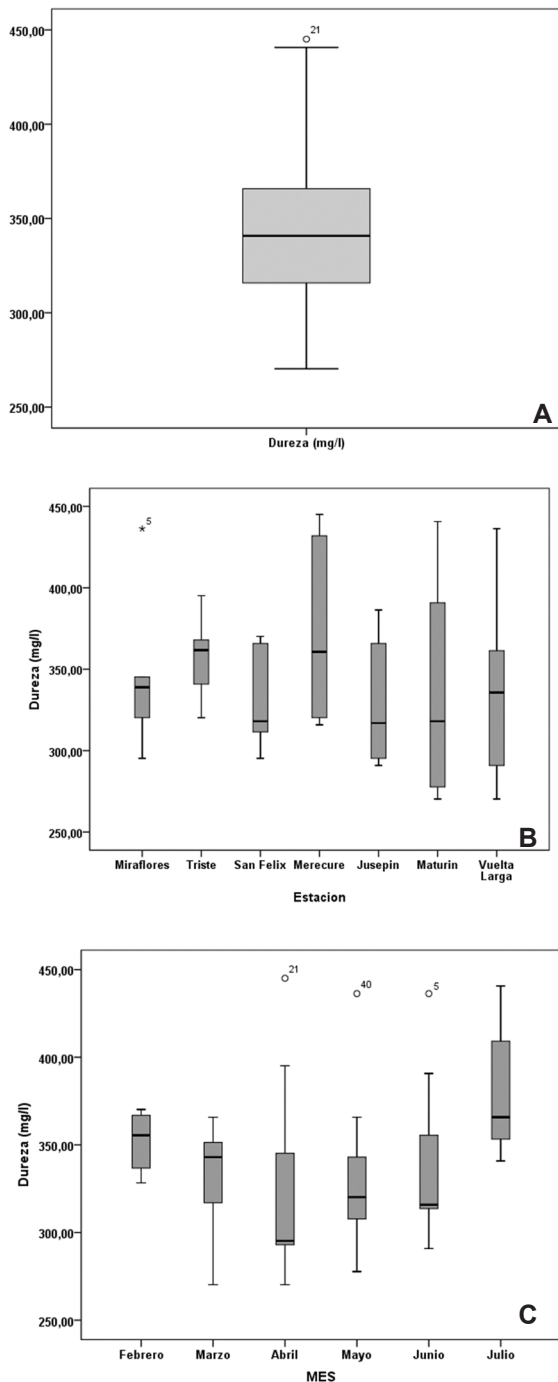


Figura 8. Cajas de ploteo para los valores de la dureza total. **A:** Variación general, **B:** Variación estacional, **C:** Variación temporal.

agua potable, debido a que estimula la producción de sales insolubles al ser mezclado con jabones además de darle un sabor indeseable al agua.

Segnini y Chacón (2005), para ríos andinos de Venezuela reporta valores de dureza de 519,1 mg.L⁻¹ CaCO₃, mientras García-Álzate *et al.* (2017), para el río Santo Domingo de Colombia encontró valores de 144 mg.L⁻¹ CaCO₃.

La dureza en el agua del río Guarapiche puede producir acciones sobre el sodio y potasio, formar precipitados, que al reaccionar con jabón soluble puede formar un jabón insoluble, inhibiendo su capacidad limpiadora. Otra propiedad del agua muy dura, es que reaccionan con los pectatos de las legumbres para formar pectatos insolubles, impidiendo su cocción, a la vez que, por ebullición, pueden provocar depósitos incrustantes en los recipientes que los contienen.

La Asociación Americana de Salud Pública (APHA 2006) indica que la dureza del agua tiene un efecto tampón sobre trazas de metales, disminuyendo su toxicidad, el riesgo de las enfermedades cardiovasculares, y otras enfermedades, por ciertos elementos presentes en el agua dura; mientras que las aguas blandas, con bajo pH, disuelve fácilmente alta concentración de cadmio, plomo, cobre, cinc los cuales pueden causar algunas enfermedades. Por otra parte, La Organización Mundial de la Salud (OMS 2008) indica que la dureza del agua no produce ningún efecto pernicioso para la salud de las personas; sin embargo, se sabe que las aguas duras interfieren en la eficiencia de jabones de uso doméstico.

Alcalinidad

Mejía (2005), define la alcalinidad como una medida de la capacidad del agua para neutralizar los ácidos, capacidad de evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básicos o ácidos. Representa el principal sistema amortiguador del agua dulce. Kevern (1989) clasifica el agua de acuerdo a su alcalinidad en agua de baja alcalinidad cuando los valores son menores de 75 mg.L⁻¹; agua de alcalinidad media cuando está entre 75 a 150 mg.L⁻¹ y si supera los 150 mg.L⁻¹ presenta una alta alcalinidad.

El análisis de varianza no fue significativo ni en el espacio (P = 0,0765), ni el tiempo (P = 0,4745). En la legislación venezolana no señalan límites para este parámetro. Los valores observados

estuvieron en el rango $76,13 \pm 31,08 \text{ mg.L}^{-1}$, con un máximo de $132,5 \text{ mg.L}^{-1}$ y el mínimo en 0 mg.L^{-1} (Figura 9A). Esto indica que de acuerdo a la clasificación de Kevern (1989), el agua del río Guarapiche es de alcalinidad media. Los valores de alcalinidad registrados durante este trabajo indican una tendencia a la dureza, donde se obtuvieron, según Figura 9B, valores máxima de $91,67 \text{ mg.L}^{-1}$ en la estación de Jusepín y de $43,75 \text{ mg.L}^{-1}$ como mínimo en la estación de Vuelta Larga.

Los valores muestran que son aguas con tendencia de media a baja alcalinidad. En la Figura 9C se observa que los meses con los mayores valores de alcalinidad fueron marzo y abril, considerados meses del período de sequía en esta zona. Barrenechea (2004), señala que la alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. Por lo general, está presente en aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos, con predisposición a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que el agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

Todas estas interpretaciones señalan que el comportamiento del río Guarapiche, de acuerdo a sus parámetros físicos, suele estar influenciado por la composición química presente en el agua evidenciándose también la influencia de las condiciones ambientales que cambian los valores.

Es por eso que la EPA no hace recomendaciones respecto a la alcalinidad en fuentes de agua, pero concluye que una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un cambio en la calidad del agua (Barrenechea 2004).

CONCLUSIONES

Los valores de las variables fisicoquímicos como la temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y la alcalinidad se encontraron por debajo de los valores establecidos por las normativas sanitarias y ambientales del país. El agua del río Guarapiche en la cuenca alta y media presentaron altas concentraciones de dureza total dándole una característica de muy

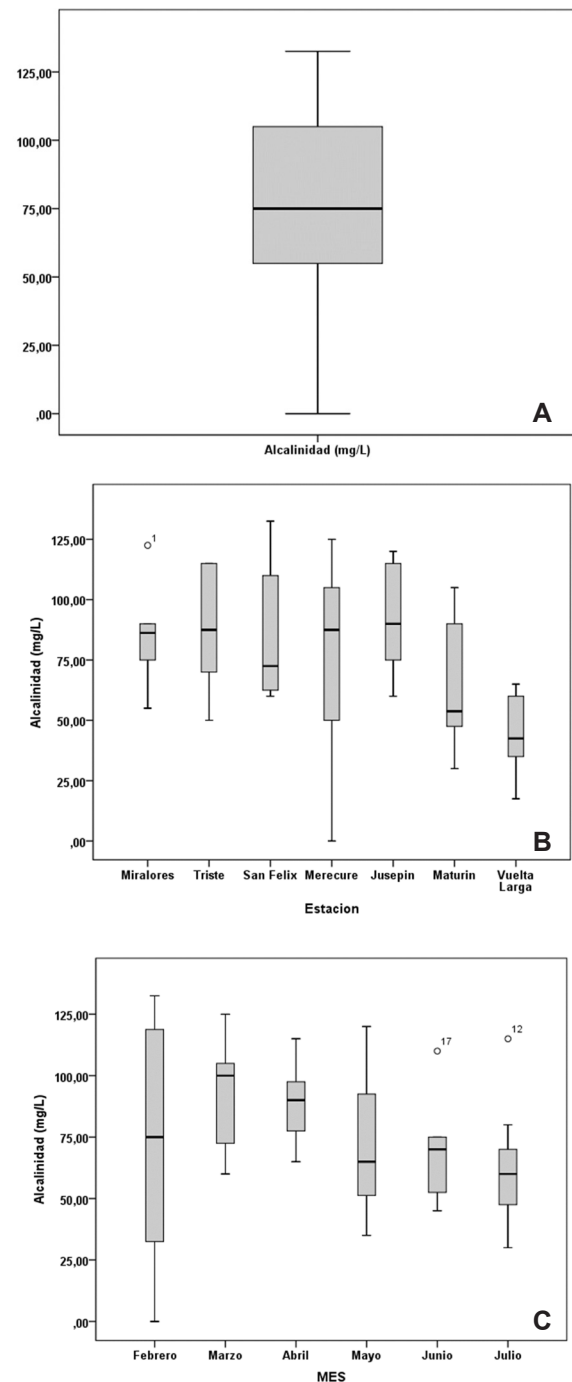


Figura 9. Cajas de ploteo para los valores de alcalinidad. **A:** Variación general, **B:** Variación estacional, **C:** Variación temporal.

dura para ser destinada de forma directa en el uso doméstico. En el período de seco (Enero-Abril) se incrementaron los valores de las variables

conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y alcalinidad, mientras la dureza total lo hizo en la época de lluvia. El conjunto de los resultados obtenidos permitió concluir que la calidad del agua del río es muy satisfactoria, recomendándose su uso para consumo humano, previo proceso de potabilización y para los sistemas de riego de las zonas circundantes.

LITERATURA CITADA

- Almazán-Juárez, M; Almazán-Juárez, A; Carreto-Pérez, B; Hernández, E; Damián-Nava, A; Almazán-Núñez, C. 2016. Calidad y clasificación de usos del agua en la cuenca baja del río Papagayo, Guerrero, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(9): 293-305.
- APHA (American Public Health Association, USA); AWWA (American waters works Association, USA); WEF (Water Environment Federation, USA). 2006. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 19 Edition, Washington DC, USA. pp. 9 - 90.
- Arango, M; Álvarez, L; Arango, G; Torres, O; Monsalve, A. 2008. Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. México. 87 p.
- Aveiga, AM; Noles, P; De la Cruz, A; Peñarrieta, F; Alcántara, F. 2019. Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE* 10(3):30-41.
- Barrenechea, A. 2004. Tratamiento de Agua para Consumo Humano. OPS/CEPIS. Manual I, Tomo I Capítulo 4: Coagulación, Lima, Perú. pp. 152-254.
- Bustamante, ID; Sanz, M; Goy, L; González-Hernández, M; Encabo, J; Mateos, J. 2002. Estudio de la calidad de las aguas superficiales en los espacios naturales del sur de las provincias de Salamanca y Ávila. *Aplicaciones del Índice ISQA*. *Revista Geogaceta* 31:103-106.
- Chapman, D. 1996. *Water Quality Assessment. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. UNESCO/WHO/UNEP. 2 ed., London. 626 p.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2014. *Panorama social de América Latina 2014* (en línea) Santiago. Consultado 06 feb 2019. Disponible en <https://bit.ly/3mfdQx0vb>
- Decreto N° 883. 1995. 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* N°. 5.021 Extraordinaria del 18 de diciembre de 1995. 34 p.
- DIGESA (Dirección de Salud Ambiental, Perú). 2007. Análisis microbiológicos de aguas residuales por técnica de los tubos múltiples de fermentación (NMP). Lima, Perú. 31p.
- ESF (Ecosystem Sciences Foundation, USA). 2006. *Calidad del agua de los pozos en San Miguel de Allende. Fase I: Resultados y Conclusiones*. Idaho, USA. pp 20.
- Fuentes, F; Massol-Deyá, A. 2002. *Manual de laboratorios ecología de microorganismos*. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 265 p.
- García-Álzate, CA; Villegas-Acosta, PA; Román-Valencia, C. 2017. Análisis fisicoquímico y biológico del río Santo Domingo, afluente río Verde, cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Boletín Científico*. Centro de Museos. Museo de Historia Natural 21 (1): 31-51.
- Gil M, JA; Belloso, G; Vizcaíno, GC; Maza, IJ; Sánchez, MC; Bolívar, CE; Martínez, PD. 2013. Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 13(1):154-163.
- Gil M, JA; Vizcaíno, C; Montaña-Mata, N. 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos* 79 (1):111-119.

- Gray, NF. 1994. Calidad del agua potable problemas y soluciones. Trad. I.E. López. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 365 p.
- Jiménez, A. 2000. Determinación de los parámetros Físico-Químicos de calidad de las aguas. *Revista Gestión Ambiental* 2(23):12-19.
- Kevern, RN. 1989. Alkalinity water, classification systems, volume Part 1. The Michigan. USA. 112 p.
- Laboratorio Nacional de Hidráulica y Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. 2010. Estudio para el aprovechamiento de los recursos hídricos en la faja petrolífera del Orinoco. Informe de Avance N° 2. Tomo III. Calidad de Agua (en línea). Laboratorio Nacional de Hidráulica. El Llanito, Caracas. Consultado 13 mar 2018. Disponible en <https://bit.ly/3dUAAiJ>
- MARNR (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Venezuela). 1980. Uso Actual y perspectivas de Aprovechamiento de las Aguas del Rio Guarapiche. Maturín: Serie Informes Técnicos. Zona 12/IT/Maturín estado Monagas. 260 p.
- Medina, M. 1984. Caracterización Físico Química de las aguas de 13 Ríos del Estado Monagas y TFDA. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. División de Información e Investigación del Ambiente. Serie Informe Científico Zona 12/IC/58. Maturín. 68 p.
- Mejía, MR. 2005. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras. Trabajo de grado de maestría. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 120 p.
- MINAMB (Ministerio del Ambiente, Venezuela). 2006. Recursos Hídricos de Venezuela. Fundambiente. 1ra edición. Caracas. 137 pp.
- MSAS (Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, Venezuela). 1998. Normas sanitarias de Calidad de agua Potable. Numero S.G.-018-98 11 de 02 de 1998. 7 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2003. Total dissolved solids in drinking-water. Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra. 408 pp.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2006. Guías para la calidad del agua potable. Vol. 1. Tercera edición. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. 408 pp.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2008. Monitoring and Assessment of Chemical Quality Guidelines for Drinking Water Quality Training Pack. 322 p.
- ONU-HÁBITAT. 2010. State of the World's Cities 2010/2011- Cities for All: Bridging the Urban Divide (en línea). Consultado 13 mar 2018. Disponible en <https://bit.ly/3dZbKhR>
- Pacheco, J; Cabrera, A; Pérez, R. 2004. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México 8-2 pp165-179.
- Roldán- Pérez, G. 2012. Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua. Bogotá, Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 148 p.
- Roldán, G; Ramírez, JJ. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. 2ª edición. Universidad de Antioquia. 442p.
- Rondón, C. 2008. Análisis ambiental del Rio Guarapiche como fuente de abastecimiento de agua de Maturín. Estado Monagas. Venezuela. Trabajo especial de grado no publicado, Universidad de Margarita, Nueva Esparta. pp. 30-50
- Segnini, S; Chacón, MM. 2005. Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela. *Sociedad Venezolana de Ecología. ECOTROPICOS* 18(1):38-61.
- UNESCO-UNEVOC (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - Centro Internacional para la Educación y Formación Técnica y Profesional, Alemania). 2012. Skills Challenges in the Water and Wastewater Industry: Contemporary

Issues and Practical Approaches in TVET
(en línea). Consultado 24 nov. 2018. 32 p.
Disponible en: <https://bit.ly/3mjOMVQ>

Urriola, PL. 2007. La agricultura en el estado
Monagas. El ayer, el hoy y el mañana. Vol. I.
Universidad de Oriente, Cumana, Venezuela.
pp. 62 - 79

Zhen-Wu, B. 2010. Índices de calidad del
agua en la microcuenca de la quebrada
Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-
2008). Cuadernos de Investigación UNED
2(1):45-61.