

Parameters relating to chemical properties and organoleptic quality of waters confluing reservoirs for human consumption

Milagros Jimenez–Noda^a, Rosalyn Cova^b, Lilitza Trías^a, Cristóbal Vega^c, Lisbeth Manganiello^{*a}

^a*Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela*

^b*Instituto Nacional de Parques (INPARQUES), Valencia, Venezuela*

^c*Instituto de Matemáticas y Cálculo Aplicado (IMYCA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela*

Abstract.-

The origin of water from quality areas according to international standards empowers water to be fit for human consumption. The need to study natural reservoirs in the rainy and drought period has been observed in Venezuela, so the goal of this study is to evaluate the parameters related to chemical properties and organoleptic quality of surface water bodies that converge to reservoirs destined for consumption. In both periods; specifically El Paíto river, a source of water that flows into the Pao Cachinche reservoir. With a sample of both periods, in several representative points of the route of El Paíto river, were determined physical-chemical and organolépticos primordials parameters for the classification of the quality of the bodies of water. The statistical tests allowed to guarantee that the waters in the flow of the river El Paíto at this moment do not meet the necessary characteristics of waters, to be able to be conditioned by means of conventional treatments.

Keywords: classification and quality control; water areas quality; El Paíto river; Pao Cachinche reservoir

Parámetros relativos a propiedades químicas y calidad organoléptica de aguas que confluyen a embalses destinados al consumo humano

Resumen.-

El origen del agua de las zonas de calidad de acuerdo con las normas internacionales permite que el agua sea apta para el consumo humano. La necesidad de estudiar los embalses naturales en el período lluvioso y de sequía se ha observado en Venezuela, por lo que la meta de este estudio es evaluar los parámetros relacionados con las propiedades físico-químicas y la calidad organoléptica de las masas de agua superficial que convergen a reservorios destinados al consumo; específicamente el río El Paíto, una fuente de agua que desemboca en el embalse de Pao Cachinche. Con una muestra de ambos períodos, en varios puntos representativos de la ruta del río El Paíto, se determinaron parámetros físico-químicos y organolépticos primordiales para la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua. Los ensayos estadísticos permitieron garantizar que las aguas en el caudal del río El Paíto en este momento no cumplen con las características necesarias de las aguas, para poder ser acondicionadas mediante tratamientos convencionales.

Palabras clave: clasificación y control de la calidad; calidad de zonas de aguas; río El Paíto; embalse Pao Cachinche

Recibido: noviembre 2016

Aceptado: marzo 2017

* Autor para correspondencia

Correo-e: lmanganiello@uc.edu.ve (Lisbeth Manganiello)

1. Introducción

La importancia de contar con fuentes de aguas superficiales de una calidad acorde con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1] permitirá a la población disponer

de aguas aptas para el consumo humano. No obstante, la acción indiscriminada del hombre (contaminación antrópica) y la contaminación natural que incide con menos proporción son la causa de que muchos embalses destinados al consumo humano presenten una baja calidad en sus aguas. Los impactos negativos a los que son sometidas estos recursos hídricos (disposición inadecuada de residuos sólidos, vertidos de aguas residuales: domésticas, industriales, agrícola y ganadera) generan variaciones en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas, conllevando al deterioro y cambio en las condiciones de la fuente, incidiendo en el desempeño operacional de las plantas potabilizadoras y provocando inclusive un riesgo de tipo sanitario en el agua, generando un mayor impacto sobre la salud pública [2].

Torres y colaboradores establecieron que los índices de calidad de agua (ICA) permiten evaluar la calidad de este recurso en fuentes superficiales que son empleadas para consumo humano, siendo más sensibles a variaciones en el tiempo los de tipo multiplicativo que los de tipo aditivo; permitiendo además, comparar dichos parámetros con la normativa legal correspondiente en el área de estudio, a fin de establecer acciones que conlleven a garantizar un suministro de agua seguro [2]. Polla *et al.* [3] realizaron un estudio de calidad de agua en un tramo de un río (Neuquén) ubicado en la Patagonia Argentina, ellos aplicaron un modelo matemático de simulación unidimensional; la importancia de trabajar con modelos matemáticos de simulación es que estos permiten visualizar la variaciones espaciales y temporales de los diferentes parámetros de calidad que definen a un cuerpo de agua apto para el consumo humano, además se convierten en una herramienta para la planificación de uso a futuro de los recursos hídricos. Ocasio [4] realizó evaluaciones en el río Piedra ubicado en San Juan de Puerto Rico, Puerto Rico, el aporte de este trabajo consiste en la evaluación de un cuerpo de agua superficial en períodos de lluvia y sequía, encontrándose que en el período lluvioso los parámetros evaluados de acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de EEUU

(USEPA) presentaron aumento de concentraciones con respecto al período de sequía.

Moreno [5] enfatiza en su trabajo la importancia de la calidad del recurso hídrico, dado que de su calidad depende el correcto desempeño de las plantas potabilizadoras; en su trabajo refiere que un cuerpo de agua destinado al consumo humano en mal estado provocó reiterados eventos de suspensión de la planta potabilizadora dejando un millón seiscientos habitantes sin el preciado líquido, hechos ocurridos entre los años 2000 al 2012. Arce y Leiva [6] proponen en su investigación el uso de marcadores biológicos que permitan establecer la calidad del agua a fin de ofrecer otra alternativa complementaria a los parámetros tradicionales como son los organolépticos y fisicoquímicos. Peñafiel [7] en su trabajo exponen que los parámetros de calidad que presentan valores críticos en época de lluvia son: sólidos suspendidos, turbiedad y fosfatos, y en período seco son: sólidos disueltos, alcalinidad y dureza entre otros; además el estudio muestra que a medida que avanza el recorrido de esta fuente natural se observa el deterioro de los parámetros antes mencionados. Jáuregui–Medina *et al* [8] en su investigación resaltan la necesidad del óptimo funcionamiento de las plantas destinadas al tratamiento de aguas residuales (PTAR) que posteriormente son conducidas al cuerpo de agua natural que alimentan a las plantas potabilizadoras, en su investigación destacan que el mal funcionamiento de las PTAR comprometen la calidad del agua que se obtiene después del proceso de potabilización. Otro aspecto importante a tomar en cuenta son las fuentes subterráneas que convergen a cuerpos de agua naturales, tal es el caso de la Cuenca del río Pao que converge al embalse Pao Cachinche principal fuente de abastecimiento destinada al consumo humano.

Navas [9] en su investigación estudian las reservas de aguas subterráneas en la Cuenca media del río Pao hasta el Lago de Valencia, pudiendo observar que el acuífero adquiere una condición muy salobre, debido a un alto grado de mineralización ocasionado por la penetración o empuje de las aguas subterráneas del Lago de Valencia haciéndola no apta para el consumo

Zuloaga para ser destinada al consumo humano; entre los aportes más críticos se encuentran: las aguas provenientes del Río Cabriales, la descarga del trasvase del Lago de Valencia (el cual contiene aguas del Lago y efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de los Guayos (PTAR)), la confluencia de aguas de caños de diferentes poblaciones, tal como caño la Yuca, y José Leonardo Chirinos, los efluentes de las PTAR La Mariposa, así como los lixiviados del vertedero la Guasima que por escorrentía se van arrastrando a la Cuenca del Pao.

La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de la Cuenca del Pao, del embalse y sus tributarios, destacándose en detalle el río Paíto.

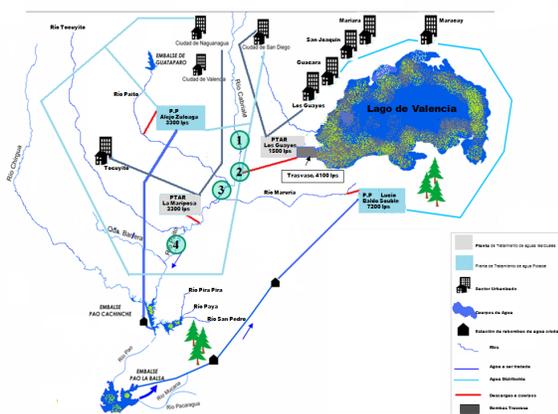


Figura 2: Puntos seleccionados para el muestreo.

La Figura 2 muestra los puntos seleccionados de acuerdo a los focos de contaminación y la dilución por afluentes, el punto 1 corresponde al puente la Envidia, sector la Envidia, municipio Valencia (Coordenadas: N 1.118.712 / E 610.036) (parte baja del río Cabriales), el punto 2 corresponde a la descarga de la obra del trasvase del Lago de Valencia, asentamiento Campesino la Esperanza (Coordenadas: N 1.116.830 / E 610.160), el punto 3 corresponde al desderramadero el Paíto, municipio Libertador (Coordenadas: N 1.116.151 / E 609.844) (donde ya se han unido todas estas aguas y la de diferentes caños de las poblaciones aledañas) y el punto 4 corresponde al puente la Arenosa, sector la Arenosa del municipio Libertador (Coordenadas: N 1.107.046 / E 599.837) (por el que circulan efluentes de la

PTAR la Mariposa y en la que además, se han incorporado todos los afluentes en estudio).

2.2. Materiales y equipos

Materiales: Capta muestras de material plástico (fabricación Home-made).

Equipos: Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Marca Garmin, Medidor de pH – Marca HANNA Instruments, Medidor de conductividad – Marca HANNA Instruments, Medidor de Oxígeno Disuelto – Marca HACH, Medidor de Sólidos Totales – Marca HANNA Instruments, Medidor de Turbidez – Marca La Motte. Cámara Fotográfica Marca Samsung.

2.3. Metodología estadística

Los datos fueron tabulados por punto de recolección y por temporada de lluvia o sequía. Para verificar si cumplían con la normativa fueron realizadas pruebas de hipótesis con un nivel de confianza del 95 % respecto a los límites establecidos y las diferencias entre los distintos puntos de recolección y entre las dos temporadas de recolección de datos.

2.4. Recolección de muestra

La recolección de muestras estuvo soportada según lo establecido en la Norma Venezolana COVENIN 2709:2002 [12], la cual establece: los tipos de muestreo, el tipo de muestra a captar y la modalidad de captación. Según los tipos de muestreo los sitios de interés a caracterizar son aguas naturales, en este caso: ríos y cursos de agua; el tipo de muestra a captar es instantáneas, lo que aporta información sobre la calidad del recurso en el punto y momento dado; la modalidad de captación es de forma manual, realizada directamente por el investigador y el equipo de ingenieros colaboradores registrando mediante el formato de inspección la siguiente información: coordenadas geográficas de los puntos evaluados, hora y fecha de captación, condiciones ambientales y climáticas, registro fotográfico, así como los datos experimentales de los parámetros relativos a propiedades químicas y calidad organoléptica obtenidos por los equipos de campo correspondientes a la medición in situ. Los parámetros medidos

in situ fueron los siguientes: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales Disueltos, Turbidez, Color y Olor.

Para establecer el cronograma de recolección de muestras, se contemplaron como lapsos de muestreo los dos períodos estacionales del país, lluvia y sequía. Considerando además, las condiciones meteorológicas del estado a través de información suministrada por el Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y el Servicio de Meteorología de la Aviación Militar (SERMETAVIA), e igualmente, el número de muestras probables captadas por período estacional se determinó mediante la coordinación con el Laboratorio de Procesos Estocásticos Meteorológicos del Instituto de Matemática y Cálculo Aplicado (IMYCA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Los datos fueron recogidos a lo largo del Río Paíto en cuatro puntos de muestreo:

P1: Puente La Envidia,

P2: Trasvase,

P3: Desparramadero el Paíto y

P4: Puente La Arenosa.

Con una recolección de 14 días en el período de lluvias y 16 días en el período de sequía.

3. Resultados

3.1. Tabulación de los resultados

A los datos de los parámetros físico-químicos de la calidad de agua les fue calculada sus estadísticas principales que están reportadas en las Tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

3.1.1. Temperatura

La Tabla 1 muestra que ninguno de los valores de la temperatura supera los 40°C y que no se supera la diferencia de 3°C de las mediciones entre los cuatro puntos de muestreo, como está reflejado en la Figura 3. La figura muestra una diferencia entre los valores de temperatura entre los puntos de muestreo P1, aguas arriba y P2; por esta razón fue realizada la prueba de hipótesis para la diferencia de las medias de las muestras pareadas por observación.

Tabla 1: Estadísticas principales de temperatura de la muestra recolectada en el Río Paíto

Parámetros	Punto de muestreo			
	P1	P2	P3	P4
Media	26,43	28,33	28,55	27,11
Mediana	26,5	28,7	28,4	27,2
Mínimo	25,3	14,2	27,0	25,1
Máximo	27,5	30,0	30,7	29,4
Des. Típ.	0,5286	2,9967	0,8565	0,7839
C.V.	0,0199	0,1058	0,0299	0,0289
Porc. 5 %	25,41	18,37	27,11	25,38
Porc. 95 %	27,28	30,00	30,59	28,79
Rango IQ	0,70	0,80	0,83	0,53
Permitido	< 40°C, Δ < 3°C (ver [1, 13, 14])			

Tabla 2: Estadísticas principales del oxígeno disuelto de la muestra recolectada en el Río Paíto

Parámetros	Punto de muestreo			
	P1	P2	P3	P4
Media	5,2157	0,7224	4,3667	2,906
Mediana	5,225	0,25	4,66	2,89
Mínimo	2,51	0,09	0,16	1,39
Máximo	7,7	4,18	5,48	4,79
Des. Típ.	0,89975	1,02762	1,04218	0,88900
C.V.	0,17251	1,42251	0,23867	0,30592
Porc. 5 %	3,236	0,105	1,326	1,522
Porc. 95 %	7,035	3,835	5,288	4,779
Rango IQ	0,76	0,55	0,60	1,19
Permitido	mayor de 4,0 mg/l (ver [14])			

Tabla 3: Estadísticas principales del pH de la muestra recolectada en el Río Paíto

Parámetros	Punto de muestreo			
	P1	P2	P3	P4
Media	7,35	7,34	7,48	7,24
Mediana	7,42	7,40	7,56	7,25
Mínimo	5,86	7,00	6,70	7,02
Máximo	7,86	7,40	7,82	7,59
Des. Típ.	0,38129	0,10000	0,21788	0,11958
C.V.	0,05189	0,01362	0,02912	0,01653
Porc. 5 %	6,2835	7,03	6,931	7,031
Porc. 95 %	7,7665	7,4	7,765	7,4965
Rango IQ	0,27	0,1	0,225	0,1525
Permitido	6,0 – 8,5 (ver [14])			

Tabla 4: Estadísticas principales de los sólidos totales disueltos de la muestra recolectada en el Río Paíto

Parámetros	Punto de muestreo			
	P1	P2	P3	P4
Media	225	488	282,8	249,8
Mediana	231	493	298	256
Mínimo	149	428	159	124
Máximo	324	506	355	355
Des. Típ.	43,0469	16,9436	46,4939	46,8022
C.V.	0,19132	0,0347	0,1644	0,18735
Porc. 5 %	154,5	435,8	175,5	144,9
Porc. 95 %	302	504,8	344,5	331,9
Rango IQ	60,75	11,5	47	49,25
Permitido	menor a 1500 mg/l (ver [14])			

Tabla 5: Estadísticas principales de la conductividad eléctrica de la muestra recolectada en el Río Paíto

Parámetros	Punto de muestreo			
	P1	P2	P3	P4
Media	451,4	938,2	551,3	488,1
Mediana	462,5	983,5	587,5	503,0
Mínimo	300	658	318	248
Máximo	647	1008	710	709
Des. Típ.	84,1499	100,566	94,9755	101,01
C.V.	0,18642	0,10719	0,17229	0,20693
Porc. 5 %	311,55	665,65	351	291,45
Porc. 95 %	603,55	1006,5	688,55	663,9
Rango IQ	121,25	73,5	129,5	139,25
Permitido	menor a 1000 micromhos/cm (ver [1, 13])			

Tabla 6: Estadísticas principales de la turbidez de la muestra recolectada en el Río Paíto

Parámetros	Punto de muestreo			
	P1	P2	P3	P4
Media	13,75	20,6	17,33	35,56
Mediana	7,7	17,6	12,4	30,3
Mínimo	4	12,1	3,8	22,1
Máximo	53,1	37	55,8	103
Des. Típ.	12,9285	6,83087	13,9409	16,5656
C.V.	0,93991	0,33159	0,80428	0,46585
Porc. 5 %	4,275	12,31	4,515	23,145
Porc. 95 %	47,16	35,35	53,71	82,87
Rango IQ	8,8	10,8	10,75	8,4
Permitido	menor de 250 UNT (ver [14])			

Tabla 7: Estadísticas principales del olor de la muestra recolectada en el Río Paíto

Punto de muestreo	Según normativa (ver [14])	
	permitido %	no permitido %
P1	100	0
P2	0	100
P3	26,67	73,33
P4	0	100

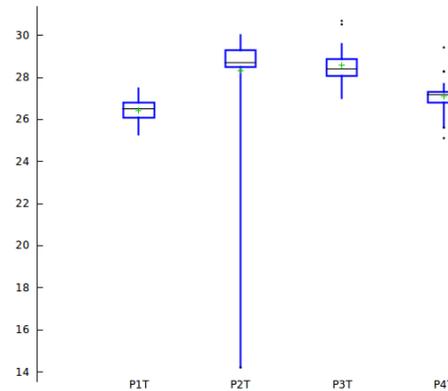


Figura 3: Gráfico de cajas para la temperatura de la muestra por puntos de muestreo.

H_0 : Diferencia de medias ≤ 3
 H_1 : Diferencia de medias > 3 .

Prueba que fue realizada para un nivel de confianza del 99 %, con los siguientes resultados: Tamaño muestral: $n = 25$, hay 5 datos faltantes. Media muestral = 1,888, desv. típica = 3,16588 Estadístico de contraste:

$$\hat{z} = \frac{|1,888 - 3|}{0,633175} = 1,75623,$$

el cual es mayor al t -valor crítico tabulado de 1,71088.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y así la diferencia significativa entre las mediciones de los puntos de observación es mayor a 3. Esto implica que las aguas vertidas en el travase tiene una temperatura significativamente superior a las del Río Paíto aguas arriba, lo cual viola la normativa existente.

Adicionalmente fue realizada la prueba de hipótesis de la existencia de diferencia significa-

tiva entre las muestras recogidas en la temporada de lluvias y la temporada de sequías. Con el resultado que no existe diferencia significativa de la temperatura entre las muestras de ambas temporadas.

3.1.2. Oxígeno disuelto

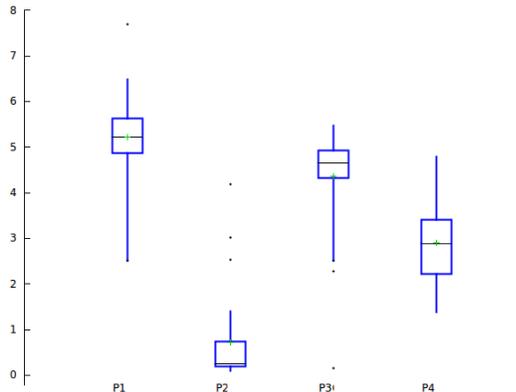


Figura 4: Gráfico de cajas para Oxígeno disuelto de la muestra por puntos de muestreo.

La Tabla 2 muestra que no todos los valores obtenidos en las muestras de Oxígeno disuelto están por encima del límite mínimo permitido de 4,0 mg/l (ver Figura 4), por esta razón fue necesario hacer pruebas de hipótesis para verificar si satisfacen estadísticamente este límite. Estas pruebas fueron realizadas por punto de muestreo.

Puente la Envidia. Para el punto de muestreo P1, los resultados son

H_0 : media poblacional = 4

H_1 : media poblacional > 4

Tamaño muestral: $n = 30$

Media muestral = 5,21567, desv. típica = 0,89975

t -valor calculado: 7,40037

t -valor tabulado (95 %): 1,69913.

Como el t -valor calculado es mayor al t -valor tabulado, hay que rechazar la hipótesis nula, luego la afirmación es que en el punto de muestreo P1 el Oxígeno disuelto supera significativamente el límite establecido.

Trasvase. Para el punto de muestreo P2, la Tabla 2 muestra que el rango de las observaciones

del Oxígeno disuelto es [0,09, 4,18], la prueba estadística con un nivel de confianza del 95 % afirma que Oxígeno disuelto es significativamente menor al límite establecido.

Desparramadero el Paíto. Para el punto de muestreo P3, el rango de las observaciones del Oxígeno disuelto es [0,16, 5,48], la prueba estadística con un nivel de confianza del 95 % afirma que Oxígeno disuelto es significativamente menor al límite establecido.

Puente la Arenosa. Para el punto de muestreo P3, el rango de las observaciones del Oxígeno disuelto es [1,39, 4,79], la prueba estadística con un nivel de confianza del 95 % afirma que Oxígeno disuelto es significativamente menor al límite establecido.

3.1.3. pH

Tabla 8: Rangos observaciones del pH de la muestra

Punto de muestreo	rango
P1	[5,86, 7,86]*
P2	[7,00, 7,40]
P3	[6,70, 7,82]
P4	[7,02, 7,59]
Rango de la norma	[6,00, 8,50]

* En el caso del Puente la Envidia más del 95 % de los valores de la muestra están en el rango de la normativa.

Un análisis de los rangos observaciones del pH muestra (ver Tabla 3) verifica que todas las mediciones están dentro de los rangos de la normativa, como muestra la Tabla 8.

3.1.4. Sólidos Totales Disueltos

Tabla 9: Rangos observaciones de sólidos totales disueltos de la muestra

Punto de muestreo	rango
P1	[148, 324]
P2	[428, 506]
P3	[159, 355]
P4	[124, 355]
Rango de la norma	menor a 1500 mg/l

El estudio de los rangos observaciones sólidos totales disueltos de la muestra dato en la Tabla 3) comprueba que todas las mediciones están dentro de los rangos de la normativa, como muestra la Tabla 9.

Adicionalmente fue realizada la prueba de hipótesis de la existencia de diferencia significativa entre las muestras recogidas en la temporada de lluvias y la temporada de sequías. Con el resultado que la concentración de sólidos totales disueltos es significativamente mayor en la temporada de lluvias.

3.1.5. Conductividad Eléctrica

Todos los valores de la conductividad eléctrica de la muestra son menores al límite permitido en la normativa como puede verse en la Tabla 5, salvo en el punto de muestreo del trasvase donde hay valores por encima de los 1000 micromhos. Por esta razón fue realizada una prueba de hipótesis.

H_0 :media poblacional = 1000

H_1 :media poblacional menor a 1000

Nivel de confianza del 95 %

t -valor calculado 3,07459

t -valor tabulado (24 dg) 1,71088

Como el t -valor calculado es mayor al t -valor tabulado, hay que rechazar la hipótesis nula y luego se afirma que los valores de la conductividad eléctrica son estadísticamente significativamente menor a los 1000 micromhos.

3.1.6. Turbidez

Tabla 10: Rangos observaciones de turbidez en la muestra

Punto de muestreo	rango
P1	[4,0, 53,1]
P2	[12,1, 37,0]
P3	[3,8, 55,8]
P4	[22,1, 103,0]
Rango de la norma	menor a 250 UNT

El estudio de los rangos observaciones turbidez en la muestra dato en la Tabla 6) comprueba que todas las mediciones están dentro de los rangos de la normativa, como muestra la Tabla 10.

3.1.7. Olor

El estudio del olor de la muestra obsevada dado en la Tabla 7 comprueba que sólo en el puente La Envidia, punto de muestreo P1, los datos cumplen con la normativa vigente.

3.2. Análisis de los resultados

Aunque la temperatura de los vertidos en la muestra, no supera los límites establecidos, llama la atención que en el trasvase la temperatura es superior al resto del caudal del río.

El oxígeno disuelto está muy por debajo del límite legal en los puntos del trasvase, el desparramadero el Paíto y el puente La Arenosa.

Los sólidos disueltos se incrementan significativamente en la temporada de lluvias, pero en ningún caso supera los límites de las normativas,

El olor de las muestras está fuera de la norma en los del puntos del trasvase, el Desparramadero El Paíto y el Puente La Arenosa.

4. Conclusiones

Los parámetros estudiados (temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, turbidez y el olor) recogen diferentes características físico-química y organolépticas que son fundamentales en la clasificación calidad de las agua, conforme a las normas usadas en este estudio. La falla en agunas de estas características indican deficiencias graves en la calidad de las aguas estudiadas. El exceso significativi de la temperatura en el punto del transvase es un aspecto que la administración debe considerar al momento de buscar el saneamiento de la cuenca del río Paíto. Los valores bajos obtenidos en los niveles de oxígeno disuelto, los cuales son significativamente inferiores al límite establecido en los puntos del trasvase, el desparramadero El Paíto y el puente La Arenosa, así como el olor de las aguas establecen la conclusión de que las aguas en el caudal del río El Paíto actualmente no cumplen con las características necesarias de aguas que puedan ser acondicionadas por medio de tratamiento convencionales.

Referencias

- [1] OPAS OMS. *Guías para la calidad del agua potable*. Organización Mundial de la Salud, Secretaría General, 1995.
- [2] Patricia Torres, Camilo Hernán Cruz, and Paola Janeth Patiño. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15):79–94, 2009.
- [3] GM Polla, FE Horne, and AC Dufilho. Aplicación de un modelo de calidad de agua a un tramo del río Neuquén–Patagonia Argentina. *Agrociencia*, 8(2):61–71, 2004.
- [4] Félix A. Ocasio Santiago. Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río piedras. Trabajo de grado de maestría, Ciencias en Gerencia Ambiental en Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental, Escuela Graduada de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico, noviembre 2008.
- [5] Gustavo Eduardo Moreno Ángulo. Análisis ambiental de la cuenca alta del río Cauca, sus actores principales y la afectación en el suministro de agua potable para la ciudad de Santiago de Cali. ¿Qué acción tomar? Trabajo de grado de maestría, Ingeniería industrial, Santiago de Cali, Colombia, junio 2014.
- [6] MF Arce and MA Leiva. Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo. Trabajo de grado de maestría, Universidad Técnica Particular de Loja, 2009.
- [7] Ana Gabriela Peñafiel Romero. Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Trabajo especial de grado, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2014. Directora: Gladys Guillemina Pauta Calle.
- [8] Cecilia Jáuregui-Medina, Santiago Ramírez-Hernández, R Espinoza-Rodríguez, Raúl Tovar-Rodarte, Beatriz Quintero-Hernández, and Imelda Rodríguez-Castañeda. Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3:65–73, 2007.
- [9] Rocio Navas Ramírez. Estudio de las reservas de aguas subterráneas en la cuenca media del río Pao hasta el Lago de Valencia, estado Carabobo. Trabajo especial de grado, Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, 2008.
- [10] María Leny Matos and Marina Rodríguez de Estaba. Cambios iniciales en la desestratificación del embalse Pao Cachinche por aireación artificial Edo. Carabobo, Venezuela. In *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, pages 1–8, México, octubre 2002. FEMISCA.
- [11] Hidrocentro. Mapa del ordenamiento territorial. Technical report, Gobernación del Estado Carabobo, 2007.
- [12] Covenin 2709:2002. Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo, mayo 2002.
- [13] FAO, editor. *Texto Unificado de Legislación Ambiental*, volume Libro VI, chapter Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: Recurso agua, Anexo I. FAO, Roma, 2002.
- [14] Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, octubre 1995. Gaceta Oficial, Decreto 883.