

Adecuación para consumo humano de propiedades físicas de aguas del río Carrizal, Ecuador, a través de microorganismos eficientes y filtración con zeolitas

Adaptation for human consumption of physical properties of Carrizal River waters, Ecuador, through efficient microorganisms and filtration with zeolites

Ángela Carreño¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5661-0906>

Leonel Lucas², ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2286-9487>

Ernesto Hurtado³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2574-1289>

Renny Barrios⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7094-7115>

Ramón Silva⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1235-9283>

¹Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Manabí, Ecuador, a.lore.carreno@gmail.com

²Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Manabí, Ecuador; Universidad Espíritu Santo, Ecuador, leonel.luvi@gmail.com

³Carrera de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Manabí, Ecuador, ernestohurta@gmail.com

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, San Agustín de la Pica, Vía Laguna Grande, Maturín, Venezuela, rennybarrios@gmail.com

⁵Postgrado de Agricultura Tropical, Universidad de Oriente Campus Juanico, Maturín, Monagas, Venezuela, dramonsilvaa@gmail.com

Autor para correspondencia: Ernesto Antonio Hurtado, ernestohurta@gmail.com

Resumen

Con el objetivo de evaluar las características físicas de aguas para consumo humano, procedentes de las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio, ubicadas en la microcuenca del río Carrizal, Ecuador, tratadas por estrategias de depuración, se evaluaron cinco tratamientos: incubada con 5 ml/l de EM•1[®] y filtrada en zeolita cubana; incubada con 5 ml/l de EM•1[®] y filtrada en zeolita ecuatoriana; e incubada con tres dosis de microorganismos autóctonos (5, 10 y 15 ml/l). Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Las comparaciones se llevaron a cabo a través de contrastes ortogonales. Se constató que, con independencia de la localidad y la fuente de agua muestreada, se encontraron ventajas estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para las variables turbidez, sólidos totales y dureza cuando se emplean dosis de 15 ml/l microorganismos autóctonos. Se obtuvieron

resultados similares cuando se utilizó zeolita ecuatoriana como elemento filtrante asociado con microorganismos eficientes (EM•1®). La variable temperatura presentó mayores valores relacionados con los tratamientos con los organismos eficientes (EM•1®), cuando son filtrados con la zeolita cubana y, de manera similar, con la dosis de 5 ml/l de microorganismos autóctonos. La variable color fue similar para todas las fuentes de muestreo y localidades. La mayoría de las variables físicas de las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio cumplen con las normativas aplicables a condiciones de calidad de agua de consumo de Ecuador. La turbidez excedió los límites permisibles y no fue posible corregirlos con los tratamientos evaluados.

Palabras clave: turbidez, sólidos totales, dureza, temperatura, color.

Abstract

With the objective of evaluating physical characteristics of waters for human consumption from the Severino, Julián and Balsa en Medio localities located in the micro-basin of the Carrizal River, Ecuador, treated by purification strategies, five treatments were evaluated: Incubated with 5 ml/l of EM•1® and filtered in Cuban zeolite; Incubated with 5 ml/l of EM•1® and filtered in Ecuadorian zeolite; Incubated with three doses of autochthonous microorganisms (5, 10 and 15 ml/l). The experimental design was completely randomized blocks, with four repetitions. Comparisons of means were made through orthogonal contrasts. It was found that regardless of the location and source of water sampled, statistically significant advantages were found for the variables turbidity, total solids and hardness when using doses of 15 ml/l autochthonous

microorganisms. Similar results were obtained when the Ecuadorian zeolite associated with efficient microorganisms was used as filter element (EM•1®). Temperature presented higher values associated with the treatments with efficient organisms (EM•1®) when they were filtered with the Cuban zeolite and similarly with the dose of 5 ml/l of autochthonous microorganisms. The variable color was similar for all sampling sources and locations. Most of the physical variables of the Severino, Julián and Balsa en Medio localities meet with regulations of quality of drinking water of Ecuador. The turbidity exceeded the permissible limits and it was not possible to correct them with the evaluated treatments.

Keywords: Turbidity, total solids, hardness, temperature, color.

Recibido: 12/10/2018

Aceptado: 26/02/2020

Introducción

En las últimas décadas se han desarrollado nuevos e innovadores tratamientos de agua de uso doméstico, para llevar soluciones sencillas de bajo costo y fáciles de usar por personas que deben dar tratamiento al agua en sus hogares. Algunos de los sistemas domésticos utilizados

con frecuencia para el tratamiento de agua son la cloración, filtración, desinfección solar, filtración/cloración combinadas, floculación/cloración combinadas y recientemente, el tratamiento con microorganismos eficientes (Global Health and Education Foundation, National Academy of Science, 2007).

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con el sabor, olor, color y turbidez del agua. El sabor y olor se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición; mientras que el color es por la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos industriales. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa; por otro lado, la turbidez, además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión, como es el caso de arcillas (Orellana, 2005).

Se han adoptado diversas estrategias para mejorar la calidad del agua, entre ellas, las zeolitas que han sido probadas y reconocidas como los materiales naturales más eficientes para el mejoramiento de la calidad de agua, entre otros usos; además, es un mineral amigable con la naturaleza, químicamente inocua, no contamina y no sufre alteraciones (Márquez, Herrera, & Gutiérrez, 2000). La zeolita, como un mineral de origen volcánico de gran estabilidad, alta capacidad de intercambio iónico y absorción de agua, así como de fácil extracción y transporte, lo hace muy útil (Paredes, 2014). Este material presenta una red tridimensional de unidades tetrahédricas de óxidos de silicio y aluminio, unidas por un átomo de oxígeno compartido. El reemplazo isomorfo de Si^{4+} por Al^{3+} resulta en una carga negativa global compensada por una base o cationes

metálicos basificados del medio (Covarrubias García, Yáñez, & Arriagada, 2008; Wang & Peng, 2010).

Diversas investigaciones indican el uso potencial de la zeolita en procesos de filtración de aguas para consumo humano (Wang *et al.*, 2010; Mishué, Hernández, & González, 2012; Cuchimaque, Vargas, & Ríos, 2013; Vera, Rojas, Chávez, & Arriaza 2016). Por otro lado, el uso de microorganismos eficientes, representados por la combinación de microorganismos benéficos naturales de los géneros *Lactobacillus* (bacterias ácido lácticas), *Saccharomyces* (levaduras) y *Rhodopseudomonas* (bacterias fotosintéticas o fototróficas), redujeron la presencia de coliformes fecales, la demanda biológica de oxígeno, el contenido de nitratos y el pH, entre otros cambios favorables (Fioravanti, Vega, & Okumoto, 2005; Luna, 2006; Toc, 2012), que han hecho posible su evaluación y uso de forma generalizada en las localidades donde el tratamiento del agua es una estrategia esencial para preservar la salud.

En función de lo antes señalado, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar la eficiencia del uso de filtros de zeolitas combinados con el tratamiento de microorganismos eficaces (EM•1®) y autóctonos de forma aislada en la corrección de las propiedades físicas de aguas para consumo humano procedentes de las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio del Ecuador.

Materiales y métodos

Área objeto de la investigación

Las muestras de agua provienen de la microcuenca hidrográfica del río Carrizal, ubicada entre las coordenadas 1° 4' 15.04" S, 79° 52' 11.79" W, con un área de alrededor de 1 390 km². Se encuentra asentada en la provincia de Manabí y limita al norte con las cuencas del río Briceño y el río Jama; al sur con las cuencas del río Portoviejo y río Guayas; al este con el océano Pacífico y la cuenca del Estero Pajonal, y al oeste con la cuenca del río Guaya (MAE, 2009). Las comunidades estudiadas fueron Julián, Severino y Balsa en Medio (Figura 1).

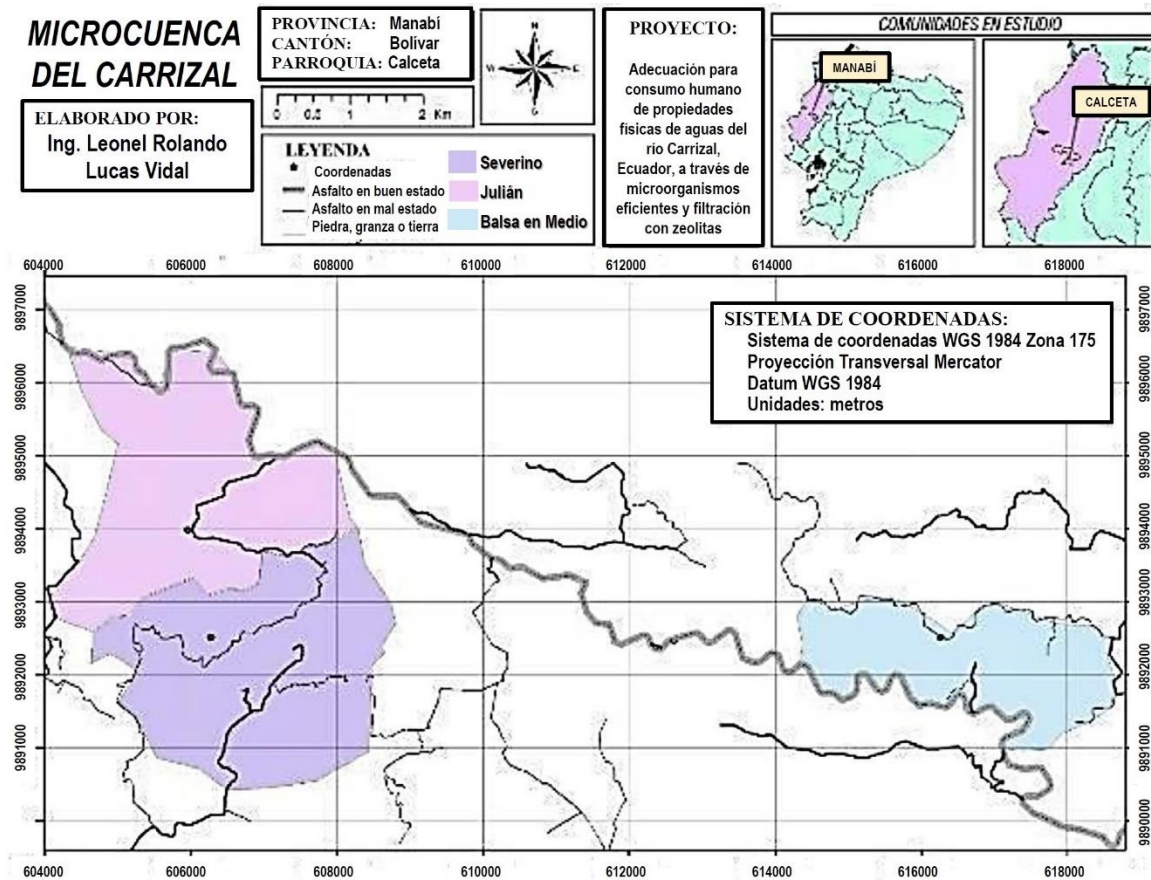


Figura 1. Ubicación relativa de las comunidades Julián, Severino y Balsa en Medio, provincia de Manabí, Ecuador.

Tratamientos realizados al agua muestreada

Columnas de filtración de zeolitas

Se evaluaron columnas de filtración de 5 cm de espesor, constituidas por zeolita cubana (mineral predominante: clinoptilolita) y zeolita ecuatoriana (mineral predominante: mordenita), contenidas en tubos de PVC de cuatro pulgadas de diámetro.

Producto comercial EM•1[®] (microorganismos eficaces)

Para activar la formulación comercial se procedió de la siguiente manera: en un envase plástico sin contaminación química y limpio, con capacidad de dos litros, se colocaron 5 ml de la formulación comercial + 5 ml de melaza y se completó el volumen con 990 ml de agua del grifo; el envase se cerró de manera hermética y se agitó manualmente durante 30 segundos, manteniéndose en ausencia de luz por seis días; se abrió a diario para dejar escapar los gases. Al finalizar este periodo se cuantificó el pH de la mezcla; en caso de que la muestra fuera superior a 3.5, se debía descartar, y en su defecto, prepararla de nuevo. La dosis del producto comercial correspondió al 5% (AGEARTH, 2018).

Las muestras de agua consistieron de 5 l de agua incubados con EM•1[®], en la concentración de 5 ml/l durante 2 h, y después pasadas por filtros constituidos por capas de 5 cm de zeolita, de origen cubano y ecuatoriano, respectivamente, contenidas en columnas de filtración.

Microorganismos autóctonos

Los microorganismos autóctonos se extrajeron del mucílago del cacao (*Saccharomyces cerevisiae*), mucosa del intestino delgado de aves ponedoras (*Bacillus spp.*) y de camarón marino (*Lactobacillus spp.*), a través de fermentación. A continuación, se realizó el coctel utilizando como agua destilada y melaza al 5% para activarlos, se obtuvieron biopreparados para un litro con la concentración de *Lactobacillus spp.* 1.8×10^9 UFC/ml de *Bacillus spp.* 1.2×10^9 UFC/ml y *Saccharomyces cerevisiae* de 4.3×10^8 UFC/ml.

De las muestras de agua colectadas se tomaron submuestras de 5 l de agua que fueron incubadas por dos horas con las dosis de 5, 10 y 15 ml/l de los organismos autóctonos, respectivamente. Finalizado el periodo de incubación, se recolectaron muestras para los respectivos análisis físicos.

La manipulación, transporte, conservación y procedimientos analíticos de las muestras se llevaron a cabo con base en las recomendaciones de la APHA-AWWA-WEF (2012). La temperatura se evaluó por medio de un termómetro de mercurio para temperaturas máximas. La turbidez se determinó empleando un turbidímetro HANNA 2000 HI, calibrado con soluciones de formacina de 0 y 10 UFT (1 UFT = 1 UNT). La dureza total fue resultado del método de volumetría

complejométrica, el cual utilizó ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como indicador. La determinación de sólidos totales se realizó a través del método gravimétrico, a partir de la evaporación y secado de la muestra a peso constante a 105 °C; mientras que la concentración de color aparente del agua se obtuvo a través del método colorimétrico, con un espectrofotómetro DR 2800 HACH. Las determinaciones referidas se realizaron en el laboratorio de análisis químicos de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ubicada en Manabí, Bolívar, Calceta, Ecuador.

Tratamientos evaluados y diseño experimental

Las vertientes se evaluaron como fuentes de agua y se representaron por el curso natural de agua que sirve de abastecimiento a la localidad, el agua almacenada en tanques de distribución en la comunidad y la de consumo colectada en los grifos de las casas.

Se tomaron cuatro (4) muestras de agua en cada una de las fuentes evaluadas para cada una de las localidades (Severino, Julián y Balsa en Medio), las cuales recibieron los siguientes tratamientos: 1) incubada con EM•1® a 5 ml/l y filtrada en zeolita cubana; 2) incubada con EM•1® a 5 ml/l y filtrada en zeolita ecuatoriana; 3) incubada con 5 ml/l; 4) 10 ml/l y 5-15 ml/l de microorganismos autóctonos, respectivamente.

Se utilizó el diseño experimental de bloques al azar, con cuatro repeticiones. Previo al análisis de varianza (ANOVA), los valores de las características determinadas en las muestras de agua se examinaron por las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilks y la de homogeneidad de varianza de Bartlett por el programa *ASSISTAT* (Silva & Azevedo, 2016); los análisis de varianza se realizaron con el *software InfoStat* (Di Renzo *et al.*, 2016). Por la naturaleza estructurada de los tratamientos, las comparaciones entre ellos se efectuaron por contrastes ortogonales y para determinar su significancia se empleó la prueba de F a 5% de probabilidad (Silva-Acuña, Álvarez, & Silva-Acuña, 2000). La variable color no fue objeto de análisis estadístico, por no presentar variabilidad alguna entre las observaciones en las fuentes de muestreo y localidades.

Resultados

Severino

La Tabla 1 y la Tabla 2 exponen los resúmenes de los valores promedios y del análisis de varianza, respectivamente, para las variables

temperatura, turbidez, sólidos totales y dureza en las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio.

Tabla 1. Valores promedios de las variables físicas: temperatura (TEM-°C); turbidez (TUR-NTU); sólidos totales (SOT-mg/dm³), y dureza total (DUR-mg/dm³), en cada una de las fuentes de agua muestreadas en las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio.

Tratamientos	Severino				Julián				Balsa en Medio				
	TEM	TUR	SOT	DUR	TEM	TUR	SOT	DUR	TEM	TUR	SOT	DUR	
Vertiente	EM*1 + ZC	28.48	8.5	140	138	27	8.5	283	133.1	28	9	386.3	140
	EM*1 + ZE	27.18	3.75	126	150	25	5.5	247.5	132.5	28	5.75	298.8	145
	̄ EM*1 + Z	27.8	6.1	133	144	26	7	265	133	28	7.38	343	143
	MA - 5 ml/l	26.98	3.25	125	150	25	5	246.3	133.7	28	5.5	290	143
	MA - 10 ml/l	24.75	5.25	132	160	24	5	129	140.2	26	4.75	140	130
	̄ MA 5 y 10 ml/l	25.9	4.3	129	155	25	5	188	137	27	5.13	215	137
	MA - 15 ml/l	24.65	3.25	105	139	25	4.25	106.5	130.5	25	2.75	106	133
	̄ MA	25.5	3.9	121	150	25	4.75	161	135	26	4.33	179	135
Tanque	EM*1 + ZC	28.93	8.00	141	139	27	7.25	281	133.4	27	8.25	382 .8	142
	EM*1 + ZE	30.18	4.75	127	151	28	5.25	245	132.8	27	6	295 .8	147

	̄ EM•1 + Z	29.6	6.4	134	145	27	6.25	263	133	27	7.17	340	144
	MA - 5ml/l	29.85	5.25	124	150	27	5.5	241.3	131.6	27	5.5	294.6	144
	MA - 10ml/l	25.85	4.50	134	150	26	4.5	129.5	135.5	27	5	148.8	140
	̄ MA 5 y 10 ml/l	27.85	4.88	129	150	26	5	185	134	27	5.25	222	142
	MA - 15 ml/l	25.45	3.25	112	135	26	3.25	114.3	128	26	2.5	112.3	125
	̄ MA	27.1	4.30	123	145	26	4.42	162	132	26	4.33	185	137
Consumo	EM•1 + ZC	28.85	7.50	140	139	27	8.25	386.8	142	27	8.75	388.3	140
	EM•1 + ZE	32.1	4.75	125	151	27	6	297.8	146.7	27	5.75	303.3	145
	̄ EM•1 + Z	30.5	6.10	132	145	27	7.13	340	144	27	7.25	346	142
	MA - 5 ml/l	30.5	4.75	128	150	27	5.5	294.6	144.4	26	6	290.8	145
	MA - 10 ml/l	28.48	5.00	140	160	27	5	148.8	140.4	26	4.5	141	121
	̄ MA 5 y 10 ml/l	29.49	4.88	134	155	27	5.25	222	142	26	5.25	216	133
	MA - 15 ml/l	25.5	3.00	113	138	26	2.5	112.3	125.4	26	2.5	114.3	128
	̄ MA	28.2	4.3	127	149	26	4.33	185	137	26	4.33	182	131
Límites permisibles *	---	1	500	300	---	1	500	300	---	1	500	300	

EM•1: microorganismos eficientes; MA: microorganismos autóctonos; Z: zeolitas; ZC: zeolita cubana; ZE: zeolita ecuatoriana; * NTE INEN (2014) y NTE INEN (2017).

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza para las variables físicas, temperatura (TEM), turbidez (TUR), sólidos totales (SOT) y dureza total (DUR) en cada una de las fuentes de agua muestreadas en las localidades de Severino Julián y Balsa en Medio.

	Fuentes de variación	Gl	Severino				Julián				Balsa en Medio			
			Cuadrados medios				Cuadrados medios				Cuadrados medios			
			TEM	TUR	SOT	DUR	TEM	TUR	SOT	DUR	TEM	TUR	SOT	DUR
Vertiente	EM*1 + Z vs. MA	1	26.9**	23.4**	735**	136.7 ns	1.08 ns	37.4**	115 382 **	279.3 ns	14.15**	44.4**	128 838 **	261.49 ns
	EM*1 + ZE vs. EM*1 + ZC	1	3.38*	45.13**	378**	283.2 ns	0.01 ns	10.13**	14 450 **	43.90 ns	0.34 ns	21.13**	15 312**	45.13 ns
	MA 15 ml/l vs. MA 10 y 5 ml/l	1	3.92*	2.67 ns	1536**	6.77.1 ns	1.82 ns	20.17**	31 937 **	774.98 *	10.21**	15.04**	31 682**	34.61 ns
	MA 10 ml/l vs. MA 5 ml/l	1	9.90**	8.0*	98 ns	211.2 ns	0.005 ns	0.50 ns	42559**	31.60 ns	3.83 ns	1.13 ns	45 000**	293.79*
	Bloque	3	1.4	2.3	128	663	2.53	0.55	303.2	146.8	3.66	0.98	631	108.51
	Error	12	0.47	1.6	36.8	182	0.4	2.05	339	86.38	0.72	0.86	356	59.07
	CV (%)		2.6	26	4.84	9.14	2.38	13.6	7.45	6.65	3.14	16.69	7.72	5.56
Tanque	EM*1 + Z vs. MA	1	30.0**	20.01**	567.7**	1.29 ns	6.77 ns	16.13**	49 288 **	9.40 ns	1.08 ns	37.41**	115 382 **	279.26 ns
	EM*1 + ZE vs. EM*1 + ZC	1	3.13 ns	21.13**	378.1*	310.0 ns	0.21 ns	8.00*	2592 ns	0.57 ns	0.01 ns	10.13**	14 450 **	43.90 ns
	MA 15 ml/l vs. MA 10 y 5ml/l	1	15.36*	7.04*	759.4**	591.9 ns	1.50 ns	8.17*	13490 ns	81.40 ns	1.82 ns	20.17**	31 936**	774.98*
	MA 10 ml/l vs. MA 5 ml/l	1	32.0**	1.13 ns	171.1 ns	0.15 ns	7.22 ns	2.00 ns	24 976*	31.20 ns	0.005 ns	0.50 ns	42 559**	31.60 ns
	Bloque	3	7.09	0.6	48.9	742	3.06	1.65	3 360	194.8	2.53	2.05	303	146.78
	Error	12	2.99	1	50.6	207	1.97	1.61	3 720	139.9	0.4	0.55	339	86.38
	CV (%)		6.16	19	5.58	9.91	5.26	24.6	30.08	8.94	2.38	13.61	7.45	6.65
Consumo	EM*1 + Z vs. MA	1	25.76 ns	16.88**	130.2 ns	99.70 ns	8.22 ns	24.30*	52 584 **	19.41 ns	3.50 ns	40.83**	128 675 **	607.68*

EM•1 + ZE vs. EM•1 + ZC	1	21.30 ns	15.13**	456.1 ns	318.0 ns	6.84 ns	18.00*	2520 ns	0.85ns	0.66 ns	18.00**	14 450 **	43.25 ns
MA 15 ml/l vs. MA 10 y 5 ml/l	1	42.40 ns	9.38*	1120.7**	780.8 ns	0.57 ns	12.50*	17 550 ns	112.93 ns	0.57 ns	20.17**	27 557 **	55.94 ns
MA 10 ml/l vs. MA 5 ml/l	1	08.20 ns	0.13 ns	264.5 ns	174.4 ns	0.91 ns	0.001 ns	27 495*	84.76ns	0.0012 ns	4.50 ns	44 888 **	1 161.6 **
Bloque	3	47.35	0.5	10.1	1259	2.07	0.05	4525	118.5	1.60	0.60	418.75	203.95
Error	12	9.17	1	118.1	180	1.93	2.72	3930	50.27	0.75	1.64	235	83.77
CV (%)		10.41	21	8.42	9.09	5.49	29.2	30.97	5.29	3.28	23.3	6.19	6.75

EM•1: microorganismos eficientes; MA: microorganismos autóctonos; Z: zeolitas; ZC: zeolita cubana; ZE: zeolita ecuatoriana; CV: coeficiente de variación. **: altamente significativo ($p < 0.01$); *: significativo ($p < 0.05$); ns: no significativo.

En relación con la variable temperatura, se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos a nivel de las muestras de la vertiente y del tanque; sin embargo, no hubo diferencias a nivel de las muestras de agua de consumo. Entre los EM•1 + zeolitas y los microorganismos autóctonos se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), donde los EM•1 + zeolitas presentaron mayores temperaturas que los autóctonos.

Para las muestras de agua colectadas en la vertiente y la comparación entre las diferentes zeolitas usadas como filtros, se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), con mayor temperatura asociada con la zeolita cubana; a nivel de tanque no se detectaron diferencias entre las zeolitas. La comparación entre la dosis de 15 ml/l (más alta) de los microorganismos autóctonos *versus* las dosis de 10 y 5 ml/l (menores) obtuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) a nivel de vertiente y tanque. En ambos casos, las menores dosis presentan

promedios de temperatura más elevados con relación con la dosis de 15 ml/l. Entre las dosis menores también se observaron diferencias, donde en ambos casos, la menor de las dosis (5 ml/l) presentó la temperatura más alta.

Para la variable turbidez se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tres tipos de fuentes de muestreo. Al comparar los organismos comercial eficiente, EM•1 + zeolitas con los microorganismos autóctonos, en todos los casos, la menor turbidez estuvo asociada con los microorganismos autóctonos. La comparación entre la muestras tratadas con EM•1 + zeolitas obtuvo diferencias significativas ($p < 0.05$), entre ellas, la zeolita ecuatoriana mostró menor turbidez. La comparación entre las dosis de los microorganismos autóctonos a nivel de tanque y consumo detectó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la dosis más alta y bajas, mientras que en la vertiente no hubo diferencias; la menor turbidez estuvo asociada con el tratamiento con 15 ml/l. Entre las dosis menores, la comparación sólo fue significativa a nivel de la muestra proveniente de la vertiente, donde la menor turbidez ocurrió en el tratamiento con 5 ml/l del microorganismo autóctono.

En relación con la variable sólidos totales, la comparación entre los tratamientos EM•1 + zeolitas y microorganismos autóctonos detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las muestras de la vertiente y del tanque, mas no así a nivel de consumo; en ambos casos, los sólidos totales están en menor proporción en las muestras tratadas con los microorganismos autóctonos. De manera similar a la comparación señalada antes, se detectaron diferencias a nivel de vertiente y tanque, al comparar los tipos de zeolitas; se constató que la zeolita ecuatoriana

presentó el menor tenor de sólidos totales. En las tres muestras se distinguieron diferencias al comparar las dosis de los autóctonos; la dosis de 15 ml/l fue la que presentó el menor nivel de sólidos totales, y entre las dosis de 10 y 5 ml/l no se observaron diferencias entre ellas en todos los niveles de muestreo.

La variable física dureza presentó un comportamiento particular: no presentó diferencias significativas entre los tratamientos en todos los niveles de muestreo.

Julián

En el caso de la localidad de Julián destaca que la variable temperatura no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre comparaciones de tratamientos en ninguno de los puntos de muestreo evaluados. En el caso de la variable turbidez, la comparación inicial entre EM•1 + zeolitas y los microorganismos autóctonos detectó diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los niveles de muestreo; los menores tenores de la variable están asociados con los microorganismos autóctonos. Al comparar los tipos de zeolitas en todos los casos, se obtuvo diferencia significativa con menor turbidez relacionada con la zeolita ecuatoriana. Las comparaciones entre dosis de microorganismos autóctonos sólo detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) a nivel de vertiente y del tanque, donde los menores valores están vinculados con la dosis de 15 ml/l; mientras que

al comparar entre las dosis menores no se observó diferencia significativa alguna.

Para la variable sólidos totales, la comparación entre los tratamientos EM•1 + zeolitas y los microorganismos autóctonos arrojó diferencias significativas ($p < 0.05$) en todas las muestras evaluadas; los menores valores están relacionados con los microorganismos autóctonos. Entre los tipos de zeolitas, las diferencias significativas ($p < 0.05$) se observaron sólo a nivel de vertiente, donde los menores valores de SOT se asocian con la zeolita ecuatoriana. De la misma manera se detectaron a nivel de vertiente diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las dosis de microorganismos autóctonos, donde los menores tenores corresponden a la dosis de 15 ml/l; entre las dosis menores, las diferencias significativas ($p < 0.05$) presentes en todos los niveles de muestreo señalan que la dosis de 10 ml/l tiene los valores menores de SOT.

Para la variable dureza sólo se observó diferencia significativa a nivel de la muestra, proveniente de la vertiente, únicamente en la comparación entre la dosis alta de microorganismos autóctonos y las más bajas, siendo que los menores valores de dureza se relacionan con la dosis de 15 ml/l.

Balsa en Medio

Para la temperatura sólo se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) a nivel de vertiente. En la comparación de los microorganismos eficientes (comerciales) (EM•1 + zeolitas) en relación con los microorganismos autóctonos, las diferencias indican que las mayores temperaturas estuvieron relacionadas con EM•1 + zeolitas. No se detectaron distinciones entre las zeolitas utilizadas; sin embargo, ocurrieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la dosis mayor y las menores de los autóctonos, donde las mayores temperaturas se vincularon con las menores dosis (10 y 5 ml/l) y entre ellas no se detectan diferencias significativas.

En la variable turbidez se lograron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tres fuentes de agua muestreados. La comparación entre la combinación EM•1 + zeolitas con los microorganismos autóctonos para todos los casos indica que la menor turbidez se asoció con los autóctonos. Entre los tipos de zeolitas en todas las fuentes de muestreo existieron diferencias significativas, coincidiendo la menor turbidez asociada con la zeolita ecuatoriana. Entre las dosis de los autóctonos, donde también hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) en todas las muestras, se constató menor turbidez con la dosis de 15 ml/l; mientras que entre las dosis menores no se detectaron diferencias.

Para los sólidos totales se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los niveles de muestreo para todos los tratamientos evaluados. Entre los microorganismos comerciales eficientes, combinados con filtrado en zeolitas y los microorganismos autóctonos, las diferencias señalan que los valores menores de SOT estuvieron vinculados con los autóctonos. En la comparación entre las zeolitas para todos los casos, las

proporciones menores de sólidos totales estuvieron asociadas con la zeolita ecuatoriana. Dentro de las dosis de los autóctonos para todos los casos, los valores menores de la variable se relacionan con la dosis de 15 ml/l. Entre las dosis mínimos, los menores tenores de sólidos totales están relacionados con la dosis de 10 ml/l.

Para la dureza del agua, la comparación de los tratamientos con EM•1 + zeolitas y los microorganismos autóctonos sólo obtuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) a nivel de consumo, donde los menores tenores de dureza se vinculan con los autóctonos. Entre las zeolitas no hubo diferencias significativas en ninguna de las muestras; sin embargo, en la comparación entre las dosis de los autóctonos sólo se detectó diferencias a nivel del tanque, donde el tratamiento con 15 ml/l presentó el menor tenor de dureza. Entre las dosis menores de los autóctonos se identificaron diferencias a nivel de la vertiente y de consumo, en el que los menores tenores de dureza correspondieron a las dosis de 10 ml/l.

Discusión

En términos generales, en todas las localidades, las variables físicas evaluadas cumplen con las normativas aplicables a las condiciones de calidad de agua de consumo y cuerpos de agua dulce vigentes en Ecuador, estipuladas en las normas NTE INEN (2014) (Agua potable para consumo

humano) y NTE INEN (2017) (Agua purificada envasada y agua purificada mineralizada envasada), con excepción de la variable turbidez, que excede los límites permisibles en todas las localidades y en las fuentes de agua muestreadas.

En el caso de las variables temperatura, sólidos totales y dureza, se obtuvo una tendencia clara en el mejoramiento de las propiedades del agua cuando se utilizan microorganismos autóctonos, y en segundo lugar está el empleo de la zeolita ecuatoriana como material filtrante. En cuanto a la eficiencia de las dosis de microorganismos autóctonos, la tendencia fue en orden decreciente de las dosis, donde la de 15 ml/l resultó ser la más eficiente. La variable color presentó valores < 25 en todas las cuantificaciones en el nivel de localidades y fuentes de muestreo, razón por la cual no fue posible realizar ningún análisis estadístico ni, en consecuencia, hacer inferencias estadísticas con sus resultados.

La variable temperatura presentó poca variación bajo las condiciones evaluadas, con valores que oscilan entre 25 y 30° C, sin alteraciones superiores a 5° C, como consecuencia de los tratamientos aplicados, lo cual se ajusta a lo recomendado por Mejía (2015). Estos valores oscilan de igual forma en los valores de las temperaturas ambientales de la zona de experimentación, ubicada dentro de la franja tropical, lo cual es consistente con los resultados obtenidos por Vera *et al.* (2016) para zonas áridas.

Los sólidos totales están asociados con las sales disueltas en una muestra de agua después de la remoción de sólidos suspendidos. El rango de variación obtenido, después de los tratamientos, se ubicó entre 100 y 141 mg/dm³, muy por debajo de los valores establecidos por la norma

NTE INEN (2017). Baque-Mite *et al.* (2016) encontraron valores dentro de los rangos de aceptabilidad de calidad ambiental para el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, Ecuador.

La dureza está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. Por lo general provoca sabor indeseable al agua potable. Debido a los bajos niveles de dureza derivados de los tratamientos, que variaron entre 130 y 160 mg/dm³, se puede considerar que el agua tratada se clasifica como suave; esto es beneficioso, pues su tratamiento no representa altos costos ni genera problemas por incrustaciones en las tuberías de distribución, como lo indican Gutiérrez, Scull y Oramas (2006). Los valores fueron inferiores al límite permisible de 300 mg/dm³. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Puglla (2017) para la microcuenca Yaguaimi en Ecuador.

La turbidez representa la capacidad del material suspendido en el agua para impedir el paso de la luz, causada por la presencia de material coloidal en suspensión; puede ser de origen orgánico o inorgánico, como arcilla, materia orgánica e inorgánica, plancton y microorganismos. Los valores del producto de los tratamientos fluctuaron entre 3 y 8.5 unidades nefelométricas de turbidez y superaron los límites permisibles de 1 NTU.

La Figura 2 muestra la comparación de los tratamientos evaluados en la corrección de la turbidez del agua de las diferentes fuentes; destaca que ninguno de los tratamientos logró corregir esta variable a los límites permisibles de la norma NTE INEN (2017). Los mejores resultados se lograron con la aplicación de microorganismos autóctonos en dosis de 15 ml/l (Contraste 3), aplicados a nivel de tanque y de consumo, que

redujeron los niveles de turbidez a valores cercanos a 2 NTU, independientemente de la localidad evaluada.

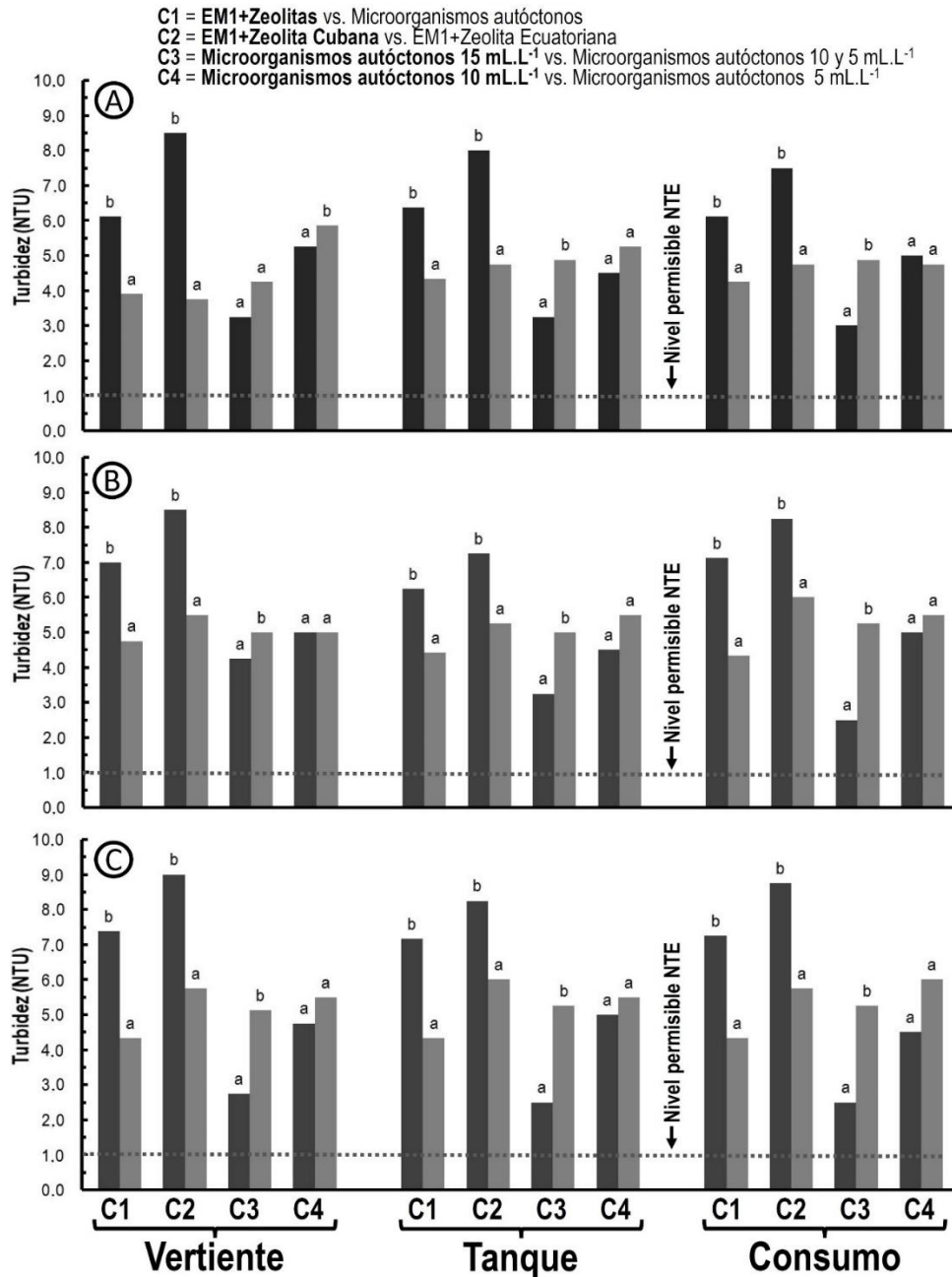


Figura 2. Promedio de los contrastes (C1, C2, C3 y C4) para la variable turbidez en cada una de las fuentes muestreadas en las localidades de Severino (A), Julián (B) y Balsa en Medio (C).

Estos resultados podrían estar asociados con el tiempo entre la aplicación de los tratamientos y el momento de ejecución de las evaluaciones. Marco, Azario, Metzler y García (2004) señalan que las partículas mayores a un micrón sedimentan de forma espontánea, mientras que la velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas (menores al micrón de diámetro) es muy baja, por lo que requieren tratamiento para lograrla en tiempos útiles.

Varios autores han encontrado que la turbidez tiene una fuerte correlación positiva con la cantidad de coliformes totales tanto a la entrada como a la salida de los filtros (Marco *et al.*, 2004; Hoff & Geldreich, 1981; Barrenechea, 2004). Por su parte, Power y Nagy (1999) encontraron que con turbidez baja (alrededor de 1 UNT) no se percibe influencia sobre la frecuencia de coliformes observados en placas.

Los resultados obtenidos de la turbidez en esta investigación concuerdan con los de Marco *et al.* (2004), que evidenciaron la existencia de fallas en las etapas de clarificación y desinfección del proceso de potabilización del agua, conseguida a partir del río Uruguay y del arroyo Molino, para el abastecimiento de agua potable en las ciudades. Por otro lado, Marco *et al.* (2004) señalan que es recomendable incluir la turbidez entre las determinaciones mínimas o básicas de mayor frecuencia para el monitoreo de la calidad del agua potable captadas por fuentes superficiales, incluso en el caso de pequeñas y medianas ciudades, dada

la rapidez de la obtención del resultado y el bajo costo en su determinación.

Tradicionalmente, la eliminación de la turbidez se realiza mediante procesos de coagulación, asentamiento y filtración. Desde el punto de vista de tratamientos orgánicos, Parra *et al.* (2011) demostraron la efectividad del mucílago extraído de *Opuntia wentiana* en la clarificación de aguas de alta turbidez (100-200 UNT), lo que indica la posibilidad de emplearlo como coagulante primario en las plantas de tratamiento de aguas potables, con valores de remoción superiores a 70%.

El empleo de microorganismos eficientes con propósitos de reducción de turbidez ha sido poco estudiada. Luna (2006) señala que los protozoarios son los principales consumidores de las poblaciones bacterianas en los sistemas acuáticos e intervienen en la formación de flóculos sedimentables. La presencia de protozoarios en sistemas de depuración biológica ayuda de modo significativo a la mejora de la calidad de los efluentes, reduciendo la DBO, turbidez del medio y cantidad de bacterias. De manera similar, Canales y Sevilla (2017) encontraron mejoras significativas en la reducción de la turbidez superiores al 95%, en un medio colonizado por EM[®], relacionado con la competencia por los nutrientes, la liberación de sustancias enzimáticas que secuestran minerales o vitaminas necesarias para el crecimiento, o de los patógenos que lo impiden. También señalan que los microorganismos eficientes transforman la materia orgánica, al liberar y sintetizar sustancias, y compuestos como aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que convierten aguas residuales domésticas en aguas aptas para su vertido o utilización.

Conclusiones

1. El tratamiento con microorganismos autóctonos en dosis de 15 ml/l y el tratamiento de filtración con zeolita ecuatoriana asociado con el microorganismo eficiente (EM•1) generaron ventajas significativas para las variables turbidez, sólidos totales y dureza, con independencia de la localidad y de la fuente de agua tratada.
2. La variable temperatura presentó mayores valores relacionados con los tratamientos con los organismos eficientes (EM•1) cuando son filtrados con la zeolita cubana y, de manera similar, con la dosis de 5 ml/l de los microorganismos autóctonos.
3. Las variables físicas de las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio cumplen con la normatividad aplicable a las condiciones de calidad del agua de consumo y cuerpos de agua dulce vigentes en Ecuador.
4. Los niveles de turbidez del agua de la microcuenca del río Carrizal exceden los niveles permisibles para el consumo humano. Los tratamientos aplicados no lograron la corrección a los límites reglamentados.

Referencias

- APHA-AWWA-WEF, American Paint Horse Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water* (22nd ed.) Washington: American Public Health Association.
- AGEARTH, Asociación de Graduados de la EARTH-Ecuador. (2018). *Desplegable informativo sobre los microorganismos eficaces*. Riobamba, Ecuador: Asociación de Graduados de la EARTH. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, B., Suatunce, P., Diaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016) Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9 (20), 109-117.
- Barrenechea, A. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de infiltración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Canales, H., & Sevilla, A. (2017). *Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticos residuales del distrito de Patapo* (tesis de grado). Escuela Profesional de Ingeniería Química, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", Lambayeque, Perú.
- Covarrubias, C., García, R., Yáñez, J., & Arriagada, R. (2008). Preparation of CPB-modified FAU zeolite for the removal of tannery waste water contaminants. *Journal of Porous Materials*, 15(4), 491-498.

- Cuchimaque, C., Vargas, L. Y., & Ríos, C. (2013). Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 66, 24-44.
- Di Renzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo C. W. (2016). *InfoStat versión 2016*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Fioravanti, N., Vega, C., & Okumoto, J. (2005). Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola. *Revista de la Universidad EARTH. Tierra Tropical*, 1(1), 69-76.
- Global Health and Education Foundation, National Academy of Science. (2007). *El agua potable segura es esencial*. Recuperado de <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Household-Water-Treatment-Systems.html>
- Gutiérrez, O., Scull, I., & Oramas, A. (2006). Zeolita natural para la reducción de la dureza del agua. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(2), 191-192.
- Hoff, J. & Geldreich, E. (1981). Comparison of the biocidal efficiency of alternative desinfectans. *Journal American Water Works Association*, 73, 40.
- Luna, P. D. M. (2006). *Atlas de ciliados y otros microorganismos frecuentes en sistemas de tratamiento aerobio de aguas residuales*.

Facultad de Química. México, DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México. .

Marco, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4, 72-82.

Márquez, E., Herrera, T. N., & Gutiérrez, N. M. (2000) *Características físico-químicas de las zeolitas naturales como medio filtrante*. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre, Brasil.

Mejía, M. (2015). *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). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.

MAE, Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2009). *Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en el Ecuador (PACC). Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo*. Quito, Ecuador: Manthra Editores.

Mishué, E., Hernández, M., & González, J. (2012). *Remoción de arsénico de agua para uso y consumo humano empleando arcillas y zeolitas mediante diferentes materiales de adsorción* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF, México.

- NTE INEM. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. (2014). ISO 1108. *Agua potable. Requisitos. s.l.: Norma Técnica Ecuatoriana*. Guayas, Ecuador: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>
- NTE INEN. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. (2017). ISO 2200. *Agua purificada envasada. Requisitos. s.l.: Norma Técnica Ecuatoriana*. Guayas, Ecuador: Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. Recuperado de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2200-2.pdf
- Orellana, J. (2015). *Características del agua potable. Ingeniería Sanitaria*. Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO. Recuperado de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf
- Paredes , D. (2014). Estudio de la modificación termoquímica de una zeolita para incrementar su capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aplicarla en la remediación de aguas contaminadas con Plomo (II). <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2923>.
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose)/(*Cactaceae*). *Redieluz*, 1 (1), 27-33.
- Power, K., & Nagy, L. (1999). Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney's

- drinking water distribution system. *Water Research*, 33(3), 741-750.
- Puglla, L. J. (2017). *Evaluación de la calidad del agua cruda captada con fines de consumo humano en la parroquia Patuca y propuesta de un plan de manejo de la microcuenca Yaguaimi* (trabajo de grado). Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Silva, F., & Azevedo C. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, 11(39), 3733-3740.
- Silva-Acuña, R., Álvarez, V. H., & Silva-Acuña, A. (2000). Cómo comparar correctamente tratamientos de naturaleza cualitativa. *Agronomía Tropical*, 50(2), 151-155.
- Toc, M. (2012). *Efecto de los microorganismos eficientes (ME) en las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano, Honduras* (trabajo de grado). Facultad de Ciencia y Producción Agrícola, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Vera, I. L., Rojas, M., Chávez, W., & Arriaza, B. T. (2016) Evaluación de materiales filtrantes para el reúso en agricultura de aguas residuales tratadas provenientes de zonas áridas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1).
- Wang, S. & Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156, 11-24.