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

Leonel Rolando Lucas Vidal1, Ángela Lorena Carreño Mendoza1, Ernesto Antonio Hurtado2; Renny Barrios-Maestre3 y Ramón Silva-Acuña4

1Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Manabí, Ecuador, 2Carrera de Medicina Veterinaria, Campus Politécnico El Limón, km 2,7 Vía Calceta-El Limón, sector El Gramal; 3Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, San Agustín de la Pica, Vía Laguna Grande, Maturín, Venezuela; 4Profesor del Postgrado de Agricultura Tropical, Universidad de Oriente *Campus* Juanico, Maturín, Monagas, Venezuela. Correo electrónico: ernestohurta@gmail.com

**Resumen**

Con el objetivo de evaluar 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; 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 realizaron a través de contrastes ortogonales. Se constató que independientemente de la localidad y de 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 utiliza como elemento filtrante la zeolita ecuatoriana asociado con microorganismos eficientes (EM•1**®**). La variable temperatura presentó mayores valores asociados a los tratamientos con los organismos eficientes (EM•1**®**) cuandoson filtrados con la zeolita cubana y de manera similar con la dosis de 5 ml/l de microoganismos 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 claves**: Turbidez, solidos totales, dureza, temperatura, color.

**Physical characteristics of treated water for human consumption in the micro-basin of Carrizal River, Ecuador.**

**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 microoganisms. 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.

**Key words:**Turbidity, total solids, hardness, temperature, color.

**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 a personas que deben dar tratamiento al agua en sus hogares. Algunos de los sistemas domésticos para el tratamiento de agua utilizados más frecuentemente son la cloración, la filtración, la desinfección solar, la filtración/cloración combinadas, la floculación/cloración combinadas y más 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, el olor, el color y la turbidez del agua. El sabor y olor se deben a la presencia de substancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición; mientras que, el color del agua se debe a 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 las arcillas (Orellana, 2005).

Diversas estrategias han sido adoptadas para mejorar la calidad del agua, entre ellas, las zeolitas han sido probadas y reconocidas como los materiales naturales más eficientes para el mejoramiento de la calidad de aguas, entre otros usos, siendo además un mineral completamente amigable con la naturaleza, químicamente inocuas, no contaminan y no sufren alteraciones (Márquez *et al*., 2000). La zeolita en un mineral de origen volcánico de gran estabilidad, alta capacidad de intercambio iónico y absorción de agua, así como su fácil extracción y transporte lo hacen muy útil (Rodríguez, 2002). 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 Si4+ por Al3+ resulta en una carga negativa global que es compensada por una base o cationes metálicos basificados del medio (Covarrubias et al. 2008; Wang & Peng, 2010).

Diversas investigaciones indican el uso potencial de la zeolita en procesos de filtración de aguas para consumo humano (Wang y Peng, 2010; Mishue et al., 2012; Cuchimaque *et al*., 2013; Francisca y Carro, 2014; Vera *et al*., 2016). Por otro lado, el uso de microorganismos eficientes, representados por una combinación de microorganismos benéficos naturales de los géneros *Lactobacillus* (bacterias ácido lácticas), *Saccharomices* (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 *et al*., 2005; Luna, 2006; Toc, 2013;), que han hecho posible su evaluación y uso de forma generalizada en las localidades donde el tratamiento de las aguas 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 microorganismos 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 METODOS**

**Área objeto de la investigación**

Las muestras de agua provienen de la microcuenca hidrográfica del rio Carrizal, comprendida entre las coordenadas 1$°$4'15.04"S, 79$°$52'11.79''W, con un área de aproximadamente 1.390 Km2. Se encuentra asentada en la provincia de Manabí y limita al norte con las cuencas del Río Briceño y 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 y PACC, 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 4 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 de dos litros de capacidad se colocaron 5 ml de la formulación comercial + 5 ml de melaza y se completó el volumen con 990 ml de agua del grifo; se cerró herméticamente y se agito manualmente por 30 segundos. Se mantuvo por 6 días en ausencia de luz y diariamente, se abrió por una oportunidad para dejar escapar los gases. Al finalizar este periodo, se cuantificó el pH de la mezcla, caso sea superior a 3,5 debe ser descartada la muestra; en su defecto, prepararla nuevamente. La dosis del producto comercial correspondió al 5% (AGEARTH, 2018).

Las muestras de agua consistieron de 5 L de agua, incubadas con EM•1®en la concentración de 5ml/l durante 2 h y posteriormente 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 fueron extraídos del mucilago del cacao (*Saccharomices cereviceae*), mucosa del intestino delgado de aves ponedoras (*Bacillus spp*) y de camarón marino (*Lactobacillus spp*.) a través de fermentación. Posteriormente se realizó el coctel utilizando como medio agua destilada y melaza al 5% para activarlos, se obtuvieron biopreparados para un litro con la concentración de *Lactobacillus* spp 1,8\*109 UFC/ml de *Bacillus* spp 1,2\*109 UFC/ml y *Sacharomiceae cereviceae* de 4,3\*08 UFC/ml.

De las muestras de agua colectadas se tomaron submuestras de 5 L de agua que fueron incubadas por 2 horas con las dosis de 5, 10 y 15 ml/l de los organismos autóctonos, respectivamente. Finalizado el periodo de incubación, se tomaron muestras para los respectivos análisis físicos.

La manipulación, transporte, conservación y procedimientos analíticos de las muestras se realizaron según recomendaciones de la APHA, AWWA, WPCF (2012). La temperatura se evaluó por medio de un termómetro de mercurio para temperaturas máximas. La turbidez se determinó por medio de un turbidímetro HANNA 2000 HI, calibrado con soluciones de formacina de 0 y 10 UFT (1 UFT = 1 UNT). La dureza total se obtuvo por el método de volumetría complejométrica utilizando 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 105o C; mientras que la concentración de color aparente del agua se obtuvo mediante el método colorimétrico a través de un espectofotómetro DR 2800 HACH. Las mencionadas determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químicas de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ubicada en Manabí, Bolívar, Calceta.

**Tratamientos evaluados y diseño experimental**

Se evaluaron como fuentes de agua las vertientes, representadas por el curso natural de agua que sirve de abastecimiento a la localidad; las aguas almacenadas en tanques de distribución en la comunidad y las aguas de consumo colectadas 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- 15ml/l de microrganismos 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 fueron examinados por las pruebas de normalidad de Wilks-Shapiro y la de homogeneidad de varianza de Bartlett por el programa ASSISTAT (Silva y Azevedo, 2016), y 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 *et al*., 2000). La variable color no fue objeto de análisis estadístico por no observarse variabilidad alguna entre las observaciones en las fuentes de muestreo y localidades.

**RESULTADOS**

**Severino**

En las Tablas1 y 2 se presentan los resúmenes de los valores promedios y del análisis de varianza; respectivamente, para las variables temperatura, turbidez, solidos totales y dureza en las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio.

En relación a 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, la comparación entre las diferentes zeolitas usadas como filtros, se detectó diferencias significativas (p<0,05) con mayor temperatura asociada a la zeolita cubana; a nivel de tanque no se detectaron diferencias entre las zeolitas. La comparación entre la dosis de 15ml/l (más alta) de los microorganismos autóctonos versus las dosis de 10 y 5 ml/l (menores) se obtuvo diferencias significativas (p<0,05) a nivel de vertiente y tanque. En ambos casos, las menores dosis presentan promedios de temperatura más elevados en relación a la dosis de 15 ml/l. Entre las dosis menores también se observó diferencias, siendo que en ambos casos la menor de las dosis (5 ml/l) presentó la temperatura más elevada.

**Tabla 1.** Valores promedios de las variables físicas: temperatura (TEM – oC), turbidez (TUR - NTU), solidos 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 |
| **Ẍ EM●1** + **Z** | **27,8** | **6,1** | **133** | **144** | **26** | **7** | **265** | **133** | **28** | **7,38** | **343** | **143** |
| MA - 5ml/l | 26,98 | 3,25 | 125 | 150 | 25 | 5 | 246,3 | 133,7 | 28 | 5,5 | 290 | 143 |
| MA - 10ml/l | 24,75 | 5,25 | 132 | 160 | 24 | 5 | 129 | 140,2 | 26 | 4,75 | 140 | 130 |
| **Ẍ MA 5 y 10 ml/l** | **25,9** | **4,3** | **129** | **155** | **25** | **5** | **188** | **137** | **27** | **5,13** | **215** | **137** |
| MA - 15ml/l | 24,65 | 3,25 | 105 | 139 | 25 | 4,25 | 106,5 | 130,5 | 25 | 2,75 | 106 | 133 |
| **Ẍ 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 |
| **Ẍ 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 |
| **Ẍ MA 5 y 10 ml/l** | 27,85 | 4,88 | 129 | 150 | **26** | **5** | **185** | **134** | **27** | **5,25** | **222** | **142** |
| MA - 15ml/l | 25,45 | 3,25 | 112 | 135 | 26 | 3,25 | 114,3 | 128 | 26 | 2,5 | 112,3 | 125 |
| **Ẍ 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 |
| **Ẍ EM●1** + **Z** | **30,5** | **6,10** | **132** | **145** | **27** | **7,13** | **340** | **144** | **27** | **7,25** | **346** | **142** |
| MA - 5ml/l | 30,5 | 4,75 | 128 | 150 | 27 | 5,5 | 294,6 | 144,4 | 26 | 6 | 290,8 | 145 |
| MA - 10ml/l | 28,48 | 5,00 | 140 | 160 | 27 | 5 | 148,8 | 140,4 | 26 | 4,5 | 141 | 121 |
| **Ẍ MA 5 y 10 ml/l** | 29,49 | 4,88 | 134 | 155 | **27** | **5,25** | **222** | **142** | **26** | **5,25** | **216** | **133** |
| MA - 15ml/l | 25,5 | 3,00 | 113 | 138 | 26 | 2,5 | 112,3 | 125,4 | 26 | 2,5 | 114,3 | 128 |
| **Ẍ 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: Microrganismos Eficientes; MA: Microrganismos Autóctonos; Z: Zeolitas; ZC: Zeolita Cubana; ZE: Zeolita Ecuatoriana

\* NTE INEN 1108 (2014) y NTE INEN 2200 (2017).

**Tabla2. Resumen del análisis de varianza para las variables físicas, temperatura (TEM), turbidez (TUR), solidos 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\*\* | 136,7ns | 1,08ns | 37,4\*\* | 115382\*\* | 279,3ns | 14,15\*\* | 44,4\*\* | 128838\*\* | 261,49ns |
| EM●1+ZE vs. EM●1+ZC | 1 | 3,38\* | 45,13\*\* | 378\*\* | 283,2ns | 0,01ns | 10,13\*\* | 14450\*\* | 43,90ns | 0,34ns | 21,13\*\* | 15312\*\* | 45,13ns |
| MA 15 ml/l vs. MA 10 y 5ml/l | 1 | 3,92\* | 2,67ns | 1536\*\* | 6,77,1ns |  1,82ns | 20,17\*\* | 31937\*\* | 774,98 \*  | 10,21\*\* | 15,04\*\* | 31682\*\* | 34,61ns |
| MA 10 ml/l vs. MA 5 ml/l | 1 | 9,90\*\* | 8,0\* | 98ns | 211,2ns | 0,005ns | 0,50ns | 42559\*\* | 31,60ns | 3,83ns | 1,13ns | 45000\*\* | 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\*\* | 1,29ns |  6,77ns | 16,13\*\* | 49288\*\* | 9,40ns | 1,08ns | 37,41\*\* | 115382\*\* | 279,26ns |
| EM●1+ZE vs. EM●1+ZC | 1 | 3,13ns | 21,13\*\* | 378,1\* | 310,0ns |  0,21ns | 8,00\* | 2592ns | 0,57ns | 0,01ns | 10,13\*\* | 14450\*\* | 43,90ns |
| MA 15 ml/l vs. MA 10 y 5ml/l | 1 | 15,36\* | 7,04\* | 759,4\*\* | 591,9ns |  1,50ns | 8,17\* | 13490ns | 81,40ns | 1,82ns | 20,17\*\* | 31936\*\* | 774,98\* |
| MA 10 ml/l vs. MA 5 ml/l | 1 | 32,0\*\* | 1,13ns | 171,1ns | 0,15ns |  7,22ns | 2,00ns | 24976\* | 31,20ns | 0,005ns | 0,50ns | 42559\*\* | 31,60ns |
| Bloque | 3 | 7,09 | 0,6 | 48,9 | 742 | 3,06 | 1,65 | 3360 | 194,8 | 2,53 | 2,05 | 303 | 146,78 |
| Error | 12 | 2,99 | 1 | 50,6 | 207 | 1,97 | 1,61 | 3720 | 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 | 25,76ns | 16,88\*\* | 130,2ns | 99,70ns |  8,22ns | 24,30\* | 52584\*\* | 19,41ns | 3,50ns | 40,83\*\* | 128675\*\* | 607,68\* |
| EM●1+ZE vs. EM●1+ZC | 1 | 21,30ns | 15,13\*\* | 456,1ns | 318,0ns |  6,84ns | 18,00\* | 2520ns | 0,85ns | 0,66ns | 18,00\*\* | 14450\*\* | 43,25ns |
| MA 15 ml/l vs. MA 10 y 5ml/l | 1 | 42,40ns | 9,38\* | 1120,7\*\* | 780,8ns |  0,57ns | 12,50\* | 17550ns | 112,93ns | 0,57ns | 20,17\*\* | 27557\*\* | 55,94ns |
| MA 10 ml/l vs. MA 5 ml/l | 1 | 08,20ns | 0,13ns | 264,5ns | 174,4ns |  0,91ns | 0,001ns | 27495\* | 84,76ns | 0,0012ns | 4,50ns | 44888\*\* | 1161,6\*\* |
| 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: Microrganismos Eficientes; MA: Microrganismos 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.

Para la variable turbidez se observaron diferencias significativas (p<0,05) en los tres tipos de fuentes de muestreo. Al ser comparados 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 se obtuvo diferencias significativas (p<0,05) entre ellas, siendo que para la zeolita ecuatoriana se obtuvo la menor turbidez. La comparación entre las dosis de los microorganismos autóctonos a nivel de tanque y consumo, se detectó diferencias significativas (p<0,05) entre la dosis más alta y las más bajas, mientras que en la vertiente, no hubo diferencias, la menor turbidez estuvo asociada al tratamiento con 15 ml/l. Entre las dosis menores la comparación solo fue significativa a nivel de la muestra proveniente de la vertiente, siendo que la menor turbidez ocurrió en el tratamiento con 5 ml/l del microorganismo autóctono.

En relación a la variable solidos totales, la comparación entre los tratamientos EM●1 + Zeolitas y microorganismos autóctonos se detectaron diferencias significativas (p<0,05) en las muestras provenientes 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 anteriormente, se detectó diferencias a nivel de vertiente y tanque al compararlos tipos de zeolitas constatándose que la zeolita ecuatoriana presentó el menor tenor de solidos totales. En las tres muestras se distinguió diferencias al comparar las dosis de los autóctonos, siendo que la dosis de 15 ml/l fue la que presentó el menor nivel de solidos totales y entre las dosis de 10 y 5 ml/l, no se observaron diferencias entre ellas en todos los niveles de muestreo.

Particular comportamiento presentó la variable física dureza, en ella, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en todos los niveles de muestreo.

**Julián**

En el caso de la localidad de Julián se 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 EM1 + Zeolitas y los microorganismos autóctonos detectó diferencias significativas (p<0,05) en todos los niveles de muestreo, siendo que 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 asociada a la zeolita ecuatoriana. Las comparaciones entre dosis de microorganismos autóctonos solo detectaron diferencias significativas (p<0,05) a nivel de vertiente y del tanque, donde los menores valores están asociados a la dosis de 15 ml/l; mientras que, al comparar entre las dosis menores no se observó diferencia significativa alguna.

Para la variable solidos totales, la comparación entre los tratamientos EM1 + Zeolitas y los microorganismos autóctonos arrojó diferencias significativas (p<0,05) en todas las muestras evaluadas, los menores valores están asociados a los microorganismos autóctonos. Entre los tipos de zeolitas las diferencias significativas (p<0,05) fueron observadas únicamente a nivel de vertiente, donde los menores valores de SOT se asocian con la zeolita ecuatoriana. De la misma manera se detectó 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 presenta los menores valores de SOT.

Para la variable dureza, solo 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 asocian con la dosis de 15 ml/l.

**Balsa en Medio**

Para la temperatura, solo se obtuvo diferencias significativas (p<0,05) a nivel de vertiente. En la comparación de los microrganismos eficientes (comerciales) (EM●1 + Zeolitas) en relación a los microorganismos autóctonos las diferencias indican que las mayores temperaturas estuvieron asociadas al EM●1 + Zeolitas. No se detectaron diferencias entre las zeolitas utilizadas; sin embargo, ocurrieron diferencias significativas (p<0,05) entre la dosis mayor y las menores de los autóctonos, siendo que las mayores temperaturas estuvieron asociadas a las menores dosis (10 y 5 ml/l) y entre ellas no se detectan diferencias significativas.

En la variable turbidez se logró 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 la menor turbidez se asoció con los autóctonos. Entre los tipos de zeolitas en todas las fuentes de muestreo, hubo diferencias significativas, coincidiendo la menor turbidez asociada a la zeolita ecuatoriana. Entre las dosis de los autóctonos donde también hubo diferencias significativas (p<0,05) en todas las muestras, se constata 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 eficientes comerciales combinados con filtrado en zeolitas y los microorganismos autóctonos las diferencias señalan que los menores valores de SOT estuvieron asociados a los autóctonos. En la comparación entre las zeolitas para todos los casos las menores proporciones de solidos totales estuvieron asociados a la zeolita ecuatoriana. Dentro de las dosis de los autóctonos para todos los casos los menores valores de la variable se relacionan con la dosis de 15 ml/l. Entre las dosis menores los menores tenores de solidos totales están asociados a la dosis de 10 ml/l.

Para la dureza del agua la comparación de los tratamientos con EM●1 + Zeolitas y los microrganismos autóctonos solo se obtuvo diferencias significativas (p<0,05) a nivel de consumo siendo que los menores tenores de dureza se asocian a los autóctonos. Entre las zeolitas no hubo diferencias significativas en ninguna de las muestras; sin embargo, la comparación entre las dosis de los autóctonos solo se detectó diferencias a nivel del tanque donde el tratamiento con 15 ml/l presento el menor tenor de dureza. Entre las dosis menores de los autóctonos se detectó diferencias a nivel de la vertiente y de consumo, siendo 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 1108 (2014) (Agua potable para consumo humano) y NTE INEN 2200 (2017) (Agua purificada envasada y agua purificada mineralizada envasada), a excepción de la variable turbidez, la cual excede los límites permisibles en todas las localidades y en todas 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 orden estaría la utilización 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 dosis de 15 ml/l resultó ser la más eficiente. La variable color presento valores < 25 en todas las cuantificaciones a nivel de localidades y fuentes de muestreo, razón por la cual no fue posible realizar ningún análisis estadístico y en consecuencias realizar inferencias estadísticas con sus resultados.

La variable temperatura presentó poca variación bajo las condiciones evaluadas, con valores que oscilan entre 25 y 30ºC, sin alteraciones superiores a 5ºC como consecuencia de los tratamientos aplicados, lo cual se ajusta a lo recomendado por Mejía (2015). Estos valores oscilan de igual forma que 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 a las sales disueltas en una muestra de agua después de la remoción de sólidos suspendidos. El rango de variación obtenido luego de los tratamientos se ubicó entre 100 y 141 mg/dm3, muy por debajo de los valores establecidos por la norma NTE INEN 2200 (2017). Baque-Mite *et al.,* (2016) también 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. Generalmente 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, siendo esto beneficioso, puesto que su tratamiento no representa altos costos ni genera problemas por incrustaciones en las tuberías de distribución como indicado por Gutiérrez *et al*., (2006). Los valores obtenidos 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, está causada por la presencia de material coloidal en suspensión, bien sea de origen orgánico o inorgánico, como arcilla, materia orgánica e inorgánica, plancton y microorganismos. Los valores obtenidos como producto de los tratamientos fluctuaron entre 3 y 8,5 unidades nefelométricas de turbidez y superaron los límites permisibles de 1 NTU.

La Figura 1 muestra la comparación de los tratamientos evaluados en la corrección de la turbidez de las aguas de las diferentes fuentes, destacándose que ninguno de los tratamientos logró corregir esta variable a los límites permisibles de la norma NTE INEN 2200 (2017). Los mejores resultados fueron obtenidos con la aplicación de microorganismos autóctonos en dosis de 15 ml/l (Contraste 3), aplicados a nivel de tanque y a nivel de consumo, que redujeron los niveles de turbidez a valores cercanos a 2 NTU, independientemente de la localidad evaluada.

****

**Figura 1*.***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 al tiempo entre la aplicación de los tratamientos y el momento de ejecución de las evaluaciones. Marco *et al.,* (2004) señalan que las partículas mayores a un micrón sedimentan espontáneamente, 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 y Geldreich, 1981; Barrenechea, 2004). Por su parte, Power y Nagy (1999), hallaron que con turbidez baja (alrededor de 1 UNT) no se percibe influencia sobre la frecuencia de coliformes observados en placas.

Los resultados de la turbidez obtenidos 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, obtenida a partir del río Uruguay y del arroyo Molino, para el abastecimiento de agua potable en la ciudad. Por otro lado, Marco *et al., (*2004), señala 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 de fuentes superficiales, aún 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 al 70%.

La utilización 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 protozoos en sistemas de depuración biológica ayuda significativamente a la mejora de la calidad de los efluentes, reduciendo la DBO, la turbidez del medio y la 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®, asociado a la competencia por los nutrimentos, 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 liberando y sintetizando sustancias y compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que convirtieron 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, iindependientemente de la localidad y de la fuente de agua tratada.
2. La variable temperatura presentó mayores valores asociados a 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 las normativas aplicables a las condiciones de calidad del agua de consumo y cuerpos de agua dulce vigentes en Ecuador.
4. Los niveles de turbidez de las aguas 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 BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 22th ed. New York, U.S.A: Ed. McGraw Hill.2012

Asociación de graduados de la EARTH-Ecuador (AGEARTH). Desplegable informativo sobre los microorganismos eficaces. 2018. 1 p.

Baque-Mite, R.; Simba-Ochoa, L.; González-Ozorio, B.; Suatunce, P.; Diaz-Ocampo, E. y Cadme-Arevalo, L. Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. Revista Ciencia UNEMI, Vol. 9 (20): 109 – 117, 2016.

Barrenechea, A. Tratamiento de agua para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. CEPIS/OPS. Tomo I. Lima, 2004. 1-304.

Canales, H. y Sevilla, A. Evaluación del Uso de Microorganismos Eficaces en el Tratamiento de Efluentes Domésticos Residuales del Distrito de Patapo. Trabajo de Grado. Escuela Profesional de Ingeniería Química, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”, 2017. 166 p.

Covarrubias, C., García, R., Yánez, J. & Arriagada, R. (2008). Preparation of CPB-modified FAU zeolite for the removal of tannery wastewatercontaminants. Journal of Porous Materials,15(4), 491-498.

Cuchimaque, C.; Vargas, L. Y. y Ríos, C. Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Issue 66, pp. 24-44.2013.

Di Renzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo C.W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2016.

Fioravanti ,N.; Vega, C. y Okumoto, J. Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola. Revista dela Universidad EARTH. Tierra Tropical. 1(1): 69-76, 2005.

Global Health and Education Foundation. National Academy of Science. El agua potable segura es esencial. Recuperado de: <https://www.koshland-science-museum.org/.../Household-Water-Treatment-Systems.html>. 2007.

Gutiérrez, O.; Scull, I. y Oramas, A.Zeolita natural para la reducción de la dureza del agua. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 40(2), pp. 191-192, 2006.

Hoff, J. y Geldreich, E. Comparison of the biocidal efficiency of alternative desinfectans. J.Am.Water Works Assoc., 73:40, 1981.

Luna, P. D. M. Atlas de Ciliados y otros microorganismos frecuentes en Sistemas de Tratamiento Aerobio de Aguas Residuales. México. 2006.

Marcó, L.; Azario, R.; Metzler, C. y Garcia, M. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. Hig. Sanid. Ambient. 4: 72-82, 2004.

Márquez, E., Herrera, T. N., y Gutiérrez, N. M. Características físico-químicas de las zeolitas naturales como medio filtrante. In Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 27 (pp. 1-10). ABES. 2000

Mejía, M. 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, M. Sc. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica, 2015. 123 p.

Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE). 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, 2009. 164p.

Mishué, E.; Hernández, M. y González, J. Remoción de arsénico de agua para uso y consumo humano empleando arcillas y zeolitas mediante diferentes materiales de adsorción. Tesis Maestría en Ingeniería Ambiental, México: Universidad Nacional Autónoma De México, (2012).

NTE INEN 1108. Agua potable. Requisitos. s.l.:Norma Técnica Ecuatoriana.2014.

NTE INEN 2200. Agua purificada envasada. Requisitos, s.l.: Norma Técnica Ecuatoriana.2017.

Orellana, J. Características del agua potable. Ingeniería Sanitaria, 2005, p. 1-7.

Parra, Y.; Cedeño, M.; García, M.; Mendoza, I.; González, Y. y Fuentes, L. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de Opuntia wentiana (Britton & Rose) / (Cactaceae). REDIELUZ Vol. 1 (1): 27 – 33, 201).

Power, K. y Nagy, L. Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney’s drinking water distribution system. Wat. Res. Vol 33 (3): 741-750, 1999.

Puglla, L. J. 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. Ing. Ambiental. Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad de Cuenca, 2017.  105 p.

Rodríguez, A. R. Grupo de Tecnologías Limpias GMTERRA LTDA. Recuperado de: <http://u.co/~rrodriguez/geologia/.../ZEOLITA_GMTERRA>.2002.

Silva, F. y Azevedo C. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. Afr. J. Agric. Res. 11(39): 3733-3740, 2016.

Silva-Acuña, R.; Álvarez, V.H. y Silva-Acuña, A. Como comparar correctamente tratamientos de naturaliza cualitativa. Agronomía Tropical 50(2): 151-155, 2000.

Toc, M. Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en las Aguas Residuales de la Granja Porcina de Zamorano, Honduras. Trabajo de Grado. Ingeniero agrónomo. Facultad de Ciencia y Producción Agrícola – Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.Honduras, 2012. 94 p.

Vera, I. L., Rojas, M., Chávez, W., y Arriaza, B. T. Evaluación de materiales filtrantes para el reúso en agricultura de aguas residuales tratadas provenientes de zonas áridas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 26(1). 2016.

Wang, S. & Peng, Y. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chemical Engineering Journal, Volumen 156, pp. 11-24, 2010.