

Estudio de la dureza total del agua a la entrada de la Planta Potabilizadora de Agua “El Ceibal”

Juan Gabriel Chipantiza MasabandaE-MAIL: jchipantizm2@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias (UTEQ). Quevedo, Ecuador.

Evelin Laura ZambranoE-MAIL: ezambranoa8@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias (UTEQ). Quevedo, Ecuador.

Teresita de Jesús RomeroE-MAIL: teresita@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Cuba.

Odalys Méndez ValdésE-MAIL: omendez@ahabana.co.cu

Empresa Aguas de La Habana. La Habana, Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo, la realización del estudio de la calidad del agua a lo largo del río Portoviejo desde la salida del embalse Poza Honda hasta la llegada a la Planta Potabilizadora de Agua (PPA) “El Ceibal”. Se identifican los principales aportes, determinando además los efectos que causan las elevadas concentraciones de dureza en las comunidades de Manta, Montecristi, Rocafuerte, Jaramijó, con 310 443 habitantes, que corresponde a la tercera parte de toda la provincia de Manabí, así como a otros sitios que son abastecidos por la misma fuera de la provincia. Para la investigación se realiza muestreo a lo largo del cauce de diferentes parámetros físico-químicos, comparación de los resultados, e identificación de las zonas contaminantes. Se estudia además el impacto directo en la calidad del agua cruda para su tratamiento con la potabilizadora existente y encuestas que permiten conocer la percepción de la problemática por la comunidad. Como resultado se propone una serie de acciones para el control de la calidad del agua y la reducción de la contaminación local cuyo éxito depende de la integración inter y multidisciplinaria de los actores de la cuenca y los organismos rectores.

PALABRAS CLAVE: *Planta El Ceibal, Poza Honda, Manta, Rocafuerte, captación, modelo*

Study of the total hardness of water at the entrance of the “El Ceibal” Water Treatment Plant

ABSTRACT

This research work aims at the study of water quality along the Portoviejo River from the outlet of Poza Honda reservoir until arrival at the Water Treatment Plant (PPA) “El Ceibal”. The main contributions are identified, also determining the effects caused by elevated levels of hardness in the communities of Manta, Montecristi, Rocafuerte, Jaramijó, with 310,443 inhabitants, corresponding to one third of the province of Manabí, as well as other sites that are supplied by the same plant outside the province. For the research, sampling of different physicochemical parameters along the channel, comparison of results, and identification of contaminant areas was carried out. The direct impact on the quality of raw water for treatment with the existing water treatment plant, and surveys to determine the perception of the problem by the community, were also studied. As a result, a number of actions to control water quality and reduce local pollution is proposed, whose success depends on the inter- and multidisciplinary integration of watershed stakeholders and governing bodies.

KEYWORDS: *El Ceibal plant, Poza Honda, Manta, Rocafuerte, catchment, model*

01 INTRODUCCIÓN

Las implicaciones de consumir agua contaminada son variadas; en el contexto de salud pública, la Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que aproximadamente un 80 % de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en los países en desarrollo tienen su causa en enfermedades de origen hídrico, ya que alrededor del 70 % es consumida directamente por humanos en zonas rurales altamente contaminada por heces fecales (Organización Mundial de la Salud, 2004).

La disponibilidad del recurso agua en calidad y suficiencia representa el mayor problema con que se enfrentará la humanidad en los próximos años. En los países con escasa disponibilidad, la situación se volverá más aguda. El vertido de residual doméstico, produce una serie de alteraciones en los ríos y lagos debido a los diversos productos que contienen, las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilarlas. El problema entonces, se hace similar tanto en las aguas continentales como en las marinas próximas a las costas.

La expansión urbana y el aumento del consumo hídrico consecuente, ha provocado un crecimiento proporcional de contaminación. Entre un 70 y 80 % de las aguas recibidas a nivel domiciliario se transforman en residuales vertiéndose en las redes de saneamiento, si las hay, o en drenajes de diversos tipos, para terminar engrosando los cuerpos de agua naturales. Del mismo modo, las utilizadas por la industria, ya sea para ser consumidas en los propios procesos en actividades como enfriado o en la limpieza, también se vierten en las redes y canales de desagüe, culminando su itinerario en ríos, lagos y mares (Seoánez, 1995).

Esta situación está transformándose gradualmente en un problema crítico en muchas partes del mundo. En ciertas áreas densamente pobladas los volúmenes vertidos exceden en mucho las posibilidades de recepción de los cursos de agua, lagos y ambientes litorales o estuarios. El resultado es una degradación creciente y la destrucción de los recursos biológicos que de ellos dependen. Este problema se ha vuelto común en todas las grandes urbes de América Latina, África y Asia. En Ecuador, la provincia de Manabí no es la excepción.

Cuando la precipitación es suficiente, el volumen de agua superficial es tal que los arrastres hasta la red de evacuación y aportes de los componentes extraños, se diluyen en lo que constituye un proceso de depuración. Los acuíferos también están expuestos a contaminación, tanto por infiltración desde suelo contaminado como por fugas a través de tuberías del sistema de evacuación, todo lo cual puede afectar su composición.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se aprecia que existen varias fuentes y procesos que atentan contra la calidad del agua, lo que debe ser estudiado dentro de cada contexto de forma responsable, con el fin de reducir los niveles de afectación a la sociedad y garantizar el uso responsable para preservar el recurso para el presente y las generaciones futuras.

02 MÉTODOS

La cuenca del río Portoviejo está localizada en la región central de la provincia de Manabí y ocupa de manera total o parcial cuatro cantones y drena un área de 2060 km², lo que representa el 11 % del área total de la Provincia de Manabí. El río nace en la cordillera costanera a una altitud de 420 msnm y fluye a lo largo de 132 km de longitud hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Este afluente natural es la fuente de agua más importante para la región central de Manabí ya que abastece a más de 800 000 personas en ciudades como Portoviejo, Santa Ana, Rocafuerte, Sucre e incluso a otras fuera de su cuenca como son Manta, Montecristi, Jaramijó y Jipijapa (Cevallos, 2009).

2.1. Caracterización de la zona de estudio

La provincia de Manabí, con superficie de 18 878,8 km², cuenta con una red hidrográfica amplia y pocos ríos perennes, entre los que se destacan los ríos Portoviejo, Chone y Carrizal. El río Portoviejo que influye en un área de 2 076,68 km² nace en su cuenca alta en el embalse de Poza Honda hasta la parroquia Lodana. La cuenca media comprende desde Lodana hasta la parroquia Mejía del cantón Portoviejo, y la cuenca baja que va desde

Mejía hasta la desembocadura en el océano Pacífico. Algunos reportes aislados de análisis químicos de aguas en Manabí, señalan restricción en su uso, debido a la presencia de anhídrido carbónico, sodio, sulfatos y cloruros (Matato et al., 2009).

Los ríos proveen la mayor parte del agua (98,4 %) que se utiliza en las cuencas del río Portoviejo. En la cuenca del río Portoviejo, existen 106 concesiones por un caudal total de 8,6 m³/s, de los cuales se estima que son netamente aprovechados unos 3,8 m³/s. El riego representa el 80,5 % de la demanda y el consumo humano el 18,3 % (1,57 m³/s); la mayor parte de esta demanda es para las ciudades de Portoviejo y Manta.

2.2. Planta Potabilizadora de Agua "El Ceibal"

La PPA "El Ceibal", está ubicada en el Cantón Rocafuerte, en el sitio conocido como El Pueblito, en el kilómetro 15,5 de la vía Portoviejo-Crucita, en la parte centro-oeste de la provincia. La misma está diseñada para un caudal de entrada de 90 000 m³/día.

2.3. Dureza total del agua de la planta

Para el estudio se partió de recopilar los datos de control existentes de los años 2010 al 2013, en cada uno de los meses del año. Estos datos abarcan un período de cuatro años de trabajo de la PPA "El Ceibal", donde los registros mensuales de dureza permiten realizar un análisis comparativo en las distintas estaciones del año, observándose como del año 2010 al 2014 la dureza total ha ido incrementándose para los mismos meses, por ejemplo en enero del 2010 la dureza total era 380 mg/L, parámetro que en el mismo mes del 2013 se encontraba en 674 mg/L. Igual resulta significativo que en el año 2013 la dureza total a la entrada de la PPA "El Ceibal" se ha incrementado notablemente siendo el valor mínimo de 487 mg/L contando con valores extremos de hasta 999 mg/L, esta información es fundamental como punto de partida de la problemática a estudiar.

2.4. Esquema de muestreo y análisis

El muestreo y análisis constituyó la actividad fundamental en el diseño de la investigación con el objetivo de garantizar la representatividad de los datos para que tributarán a una información confiable, lo que permitió desarrollar el estudio y llegar al diagnóstico propuesto.

Selección de los puntos de muestreo

Para la selección de los puntos de muestreo se tuvo en cuenta la representatividad de los sitios, considerando como aspecto para la selección la influencia de los vertidos en los afluentes del río Portoviejo, en la calidad del agua que llega a la PPA "El Ceibal". El cauce del río Portoviejo, desde su nacimiento hasta el sector del sitio "El Ceibal", se encuentra ubicado en la zona central de la provincia de Manabí (Región Costa) de la República del Ecuador, a una altitud media de 40 msnm, con temperatura media anual de 25 °C. Las zonas de interés para el muestreo fueron: aguas abajo del embalse Poza Honda; afluentes del río; y aguas arriba de la PPA "El Ceibal".

Teniendo en cuenta lo anterior se definieron 14 puntos para la toma de muestra simple, que abarcaron desde la salida del embalse hasta la captación del agua de la planta. En estos se tomaron las muestras "in situ" que sirvieron de base para la selección de los 10 puntos (muestra compuesta) que se emplearían para el muestreo y análisis.

03 RESULTADOS

Las tareas realizadas tributaron a los resultados que se presentan en este acápite, que van desde el análisis en laboratorio a las muestras tomadas en los diferentes puntos hasta el tratamiento de la información obtenida a partir de las encuestas a la población abastecida.

3.1. Análisis de los resultados del monitoreo de la calidad del agua en verano

La Tabla 3.1 muestra el resultado de los análisis realizados en el mes de febrero (verano), para cada uno de los 10 puntos de muestreo de agua cruda seleccionados a lo largo del río, con el objetivo de estudiar su calidad para el tratamiento disponible en la potabilizadora. Las concentraciones de dureza son mucho mayores que el límite

máximo permisible establecido en la Norma Ecuatoriana de 300 mg/L, lo que gana mayor importancia al tener en cuenta que la PPA “El Ceibal” no cuenta con línea de ablandamiento.

Table 3.1. Comportamiento de parámetros físico-químicos del agua cruda, febrero/2014 (verano).

Parámetro	P1	P2	P5	P7	P8	P9	P11	P12	P13	P14
Turbiedad (NTU)	21,4	29,4	16,4	17	20,9	7,43	14,7	2,21	23,8	5,03
Color (U. Pt-Co)	179	187	131	166	150	58	99	31	182	31
Temperatura (°C)	26,8	28,2	27,8	28,8	30,9	30,3	31,7	28,2	29,6	28,8
Conductividad eléctrica (μS/cm)	200	208	238	312	464	5870	1641	1604	910	1631
Sólidos disueltos totales (mg/L)	132,3	133,3	158,1	239,4	149,6	2760	714	799	497	773
pH	6,84	6,84	7,3	7,23	7,23	8	7,34	7,27	8,23	7,7
Dureza total (mg/L)	90	87	100	130	177	2050	535	423	335	535
Dureza de carbonatos (mg/L)	90	87	100	130	156	350	220	236	184	220
Dureza de no carbonatos (mg/L)	0	0	0	0	21	1700	315	187	151	315
Calcio (mg/L)	26	34,8	27,2	26,4	18	230,4	40	22	14	14
Magnesio (mg/L)	6,07	0	7,77	15,5	32	358,4	105,7	89,4	72,9	121,5
Alcalinidad total (mg/L)	96	88	106	190	156	350	220	236	184	220
Cloruros (mg/L)	7,1	7,1	14,2	14,2	14,2	269,8	49,7	184,6	42,6	127,8
Hierro (mg/L)	0,21	0,28	0,15	0,21	0,16	0,09	0,11	0,06	0,1	0,04
Manganeso (mg/L)	0,03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sulfatos (mg/L)	17	15	21	37	62	976	294	252	210	240

ND: No definido.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede señalar que: el punto 1, a la salida del embalse Poza Honda, presenta los parámetros de calidad adecuados para su tratamiento; los puntos del 2 al 8 cuentan con un comportamiento estable; el punto 9 (Estero Lodana, 10 km aguas abajo de Santa Ana) es el más crítico, con una dureza total de 2050 mg/L, dada fundamentalmente por el incremento significativo de la dureza no carbonatada (permanente); los puntos 11 y 12 (Compuerta Mejía y Río Chico) también tienen niveles elevados; el punto 13 es un afluente con calidad adecuada; y el punto 14 corresponde al agua cruda que llega a la PPA “El Ceibal”, donde aunque ha habido dilución, la dureza del agua todavía es elevada (535 mg/L de CaCO_3), por encima del máximo permisible.

3.2. Análisis de los resultados del monitoreo de la calidad del agua en invierno

El muestreo en invierno se realizó en dos momentos (meses de marzo y abril). La Tabla 3.2 muestra el resultado detallado del muestreo de invierno para cada uno de los 10 puntos seleccionados en el mes de marzo. En este período igualmente el punto donde se dan concentraciones extremas es el 9 (Estero Lodana), con un comportamiento similar al del verano.

Table 3.2. Comportamiento de parámetros físico-químicos del agua cruda, marzo (invierno).

Parámetro	P1	P2	P5	P7	P8	P9	P11	P12	P13	P14
Turbiedad (NTU)	21,4	29,4	16,4	17	20,9	7,43	14,7	2,21	23,8	5,03
Color (U. Pt-Co)	141	157	92	51	75	64	75	81	50	86
Temperatura (°C)	27,1	27,4	27,5	28,6	28,1	28	28,1	27,5	27	27,2
Conductividad eléctrica (μS/cm)	185	197	212	1072	1181	5488	1712	1280	528	777
Sólidos disueltos totales (mg/L)	127,4	130,1	135,7	563	597,1	2694	1056	757	285	375
pH	6,8	7,1	7,15	7,66	7,78	8,1	7,81	7,8	7,2	7,74
Dureza total (mg/L)	81	132	273	440	487	1954	862	561	211	402
Dureza de carbonatos (mg/L)	78	87	125	204	193	347	327	283	104	150
Dureza de no carbonatos (mg/L)	2	45	148	236	294	1607	535	278	107	252
Calcio (mg/L)	20,4	34,8	45,2	96,2	122	216	82	54,4	8,6	9,5
Magnesio (mg/L)	8,2	12,3	43,7	64,4	50	386,5	179,7	62,4	51,7	83,8
Alcalinidad total (mg/L)	78	87	125	204	193	347	327	283	104	150
Cloruros (mg/L)	7,1	7,1	14,2	35	45,9	224,1	115	142	42,6	61
Hierro (mg/L)	0,18	0,18	0,15	0,01	ND	0,03	0,02	0	0	0

3.3. Comparación de parámetros en Estero Lodana (Punto 9)

El estudio realizado centra el problema de dureza en la zona de Estero Lodana, por lo que resulta de interés realizar un análisis comparativo de los resultados de la dureza en los tres muestreos (1 de verano y 2 de invierno), donde los valores de los parámetros objeto de estudio son extremos. Este punto recibe los aportes provenientes de la subcuenca Santa Ana que aporta al río las mayores concentraciones de dureza total, sólidos disueltos totales, conductividad y sulfatos aguas abajo del mismo.

Según se aprecia en la Figura 3.1, las concentraciones de dureza son altas, la dureza total va desde 1954 mg/L hasta 2050 mg/L, que está condicionada fundamentalmente por la influencia de la dureza no carbonatada cuyos valores están entre 1607 mg/L y 1700 mg/L. Es importante señalar que en todos los momentos estas concentraciones incumplen la Norma Técnica Ecuatoriana (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2011).

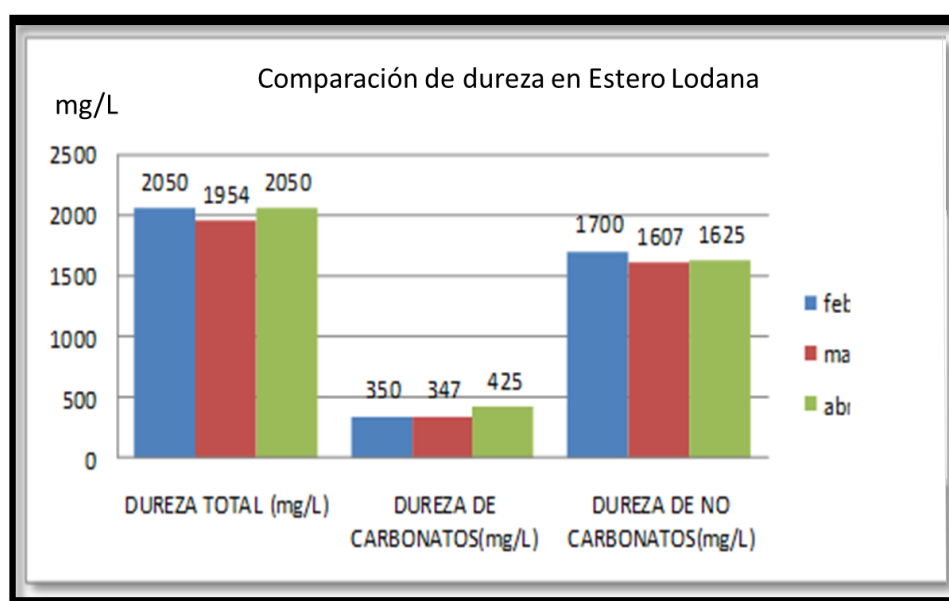


Figure 3.1. Gráfico de dureza en Estero Lodana.

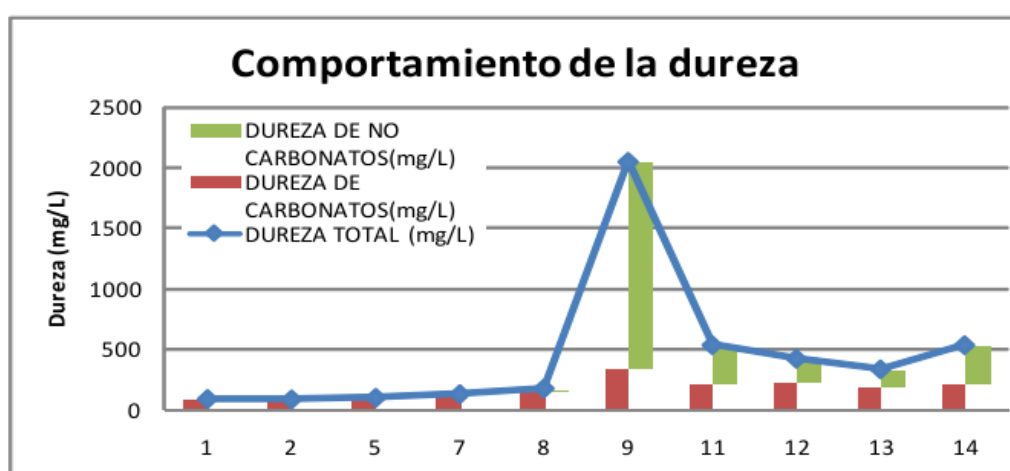


Figure 3.2. Dureza total a lo largo del río.

De forma general, en la Figura 3.2 se observa que las concentraciones de dureza en el punto 9 son elevadas, fundamentalmente por lo elevado de la dureza no carbonatada, lo que llevó a la revisión de las características

de la zona de aportes, coincidiendo con sistemas de riego, por lo que puede deducirse que este comportamiento está relacionado con la actividad característica de la subcuenca Santa Ana, que es eminentemente agrícola.

3.4. Análisis de la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

Se realiza un análisis estadístico del comportamiento de los parámetros y la relación entre ellos, obteniéndose las mayores desviaciones estándar en los parámetros de conductividad eléctrica (1718 mg/L) y sólidos disueltos totales (797 mg/L). Esta desviación significa en cada caso la diferencia de concentración con respecto a la media de las muestras estudiadas. Analizando la serie se observa en el punto 9 un comportamiento diferente a las características del agua que aporta el río, por lo que el incremento en Estero Lodana es atribuible a una contaminación de carácter local, vinculada a intervenciones antrópicas relacionadas con la actividad de riego, ya que la conductividad es un indicio de ingresos de fertilizantes inorgánicos, así como está relacionado con la concentración de iones cloruros, sulfatos y potasio en las actividades agrícolas.

Las consideraciones que apoyan lo anterior son: existen polígonos experimentales en zonas como la Teodomira que, según la consulta bibliográfica (Curia & Suárez, 2011), cuentan con experimentos donde usan el nitrato de calcio, específicamente dentro de la subcuenca que aporta a Estero Lodana; y los mismos autores refieren que existe en la zona un uso indiscriminado de fertilizantes. Se puede entonces plantear que el uso de fertilizantes y la intervención antrópica constituyen elementos significativos en la degradación de la calidad del agua en la zona de estudio.

3.5. Análisis del comportamiento de los parámetros en el punto 14, entrada de la potabilizadora

La Figura 3.3 muestra la comparación de los niveles de dureza a la entrada de la planta, en relación con el límite máximo permisible de la norma ecuatoriana (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2011), que es de 300 mg/L, por lo que en todos los casos se requeriría realizar tratamiento para reducir la misma, específicamente la permanente.

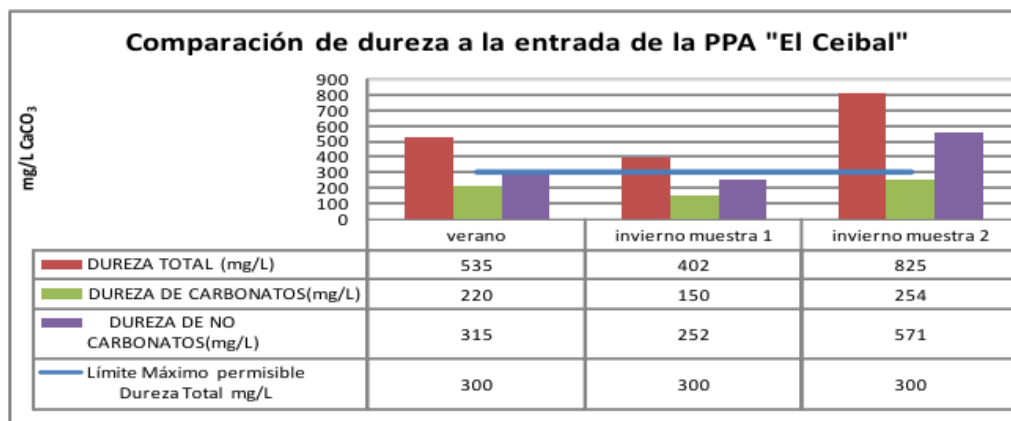


Figure 3.3. Comparación de la dureza a la entrada de la planta en tres momentos del estudio con la norma.

En el estudio no se cuenta con las características del agua tratada, ya que es una información con acceso limitado, por lo tanto fue necesario realizar encuestas a la población abastecida, para conocer a través de la percepción de los usuarios la existencia de la problemática una vez que el agua ha sido tratada.

3.6. Aportaciones de la encuesta

La encuesta resultó un instrumento de trabajo para enfocar el problema de la dureza del agua de consumo humano. Mediante doce preguntas se enfocó a cuatro aspectos fundamentales: caracterización del consumo de agua; origen y tiempo de consumo; percepción del efecto de la dureza del agua en actividades domésticas; y afectaciones a la salud por enfermedades vinculadas a la dureza del agua.

La Figura 3.4 muestra el tiempo de permanencia en el lugar de los habitantes encuestados, donde la mayor

parte de la muestra (56,1 %) lleva más de 15 años viviendo en el lugar. Solo el 10 % de los encuestados viven recientemente (entre dos y cinco años) en las localidades seleccionadas.

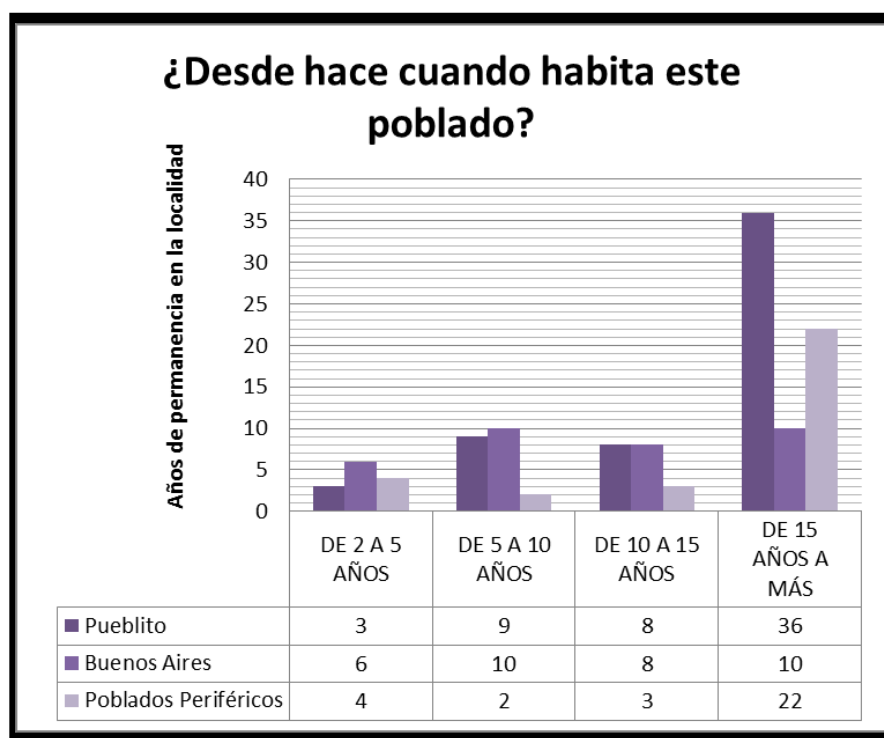


Figure 3.4. Tiempo que habita la población encuestada en la zona de estudio.

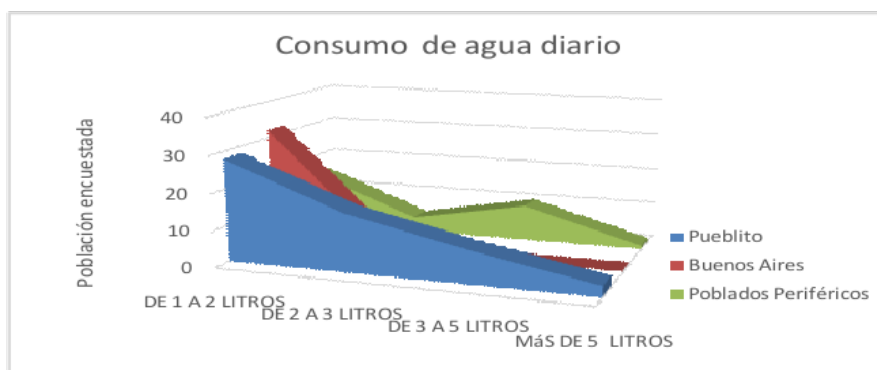


Figure 3.5. Consumo de agua diario según referencia de encuestados.

En la Figura 3.6, 104 pobladores (86 % de la muestra) son abastecidos desde la PPA “El Ceibal”; solo el 14 % de los encuestados consumen agua cruda, directo del río o por pozo. De ahí que se continúe el análisis solo con los 104 encuestados abastecidos desde la potabilizadora.

Las preguntas 6, 7, 8 y 9 están enfocadas a conocer qué daños perciben los consumidores en las actividades domésticas asociados a la dureza del agua (Figura 3.7 y Figura 3.8).

3.7. Valoración del agua según Índice de Langelier

Para corroborar las afectaciones a la calidad de agua por incrustaciones, se emplea el cálculo del Índice de Langelier (IL), definido como:

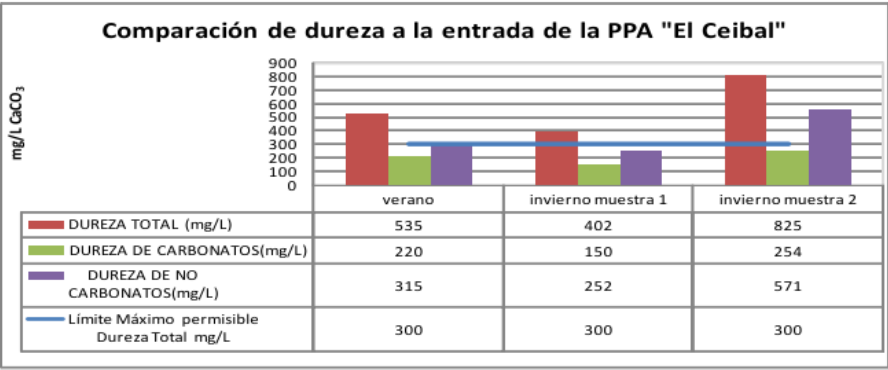


Figure 3.6. Procedencia del agua de consumo.

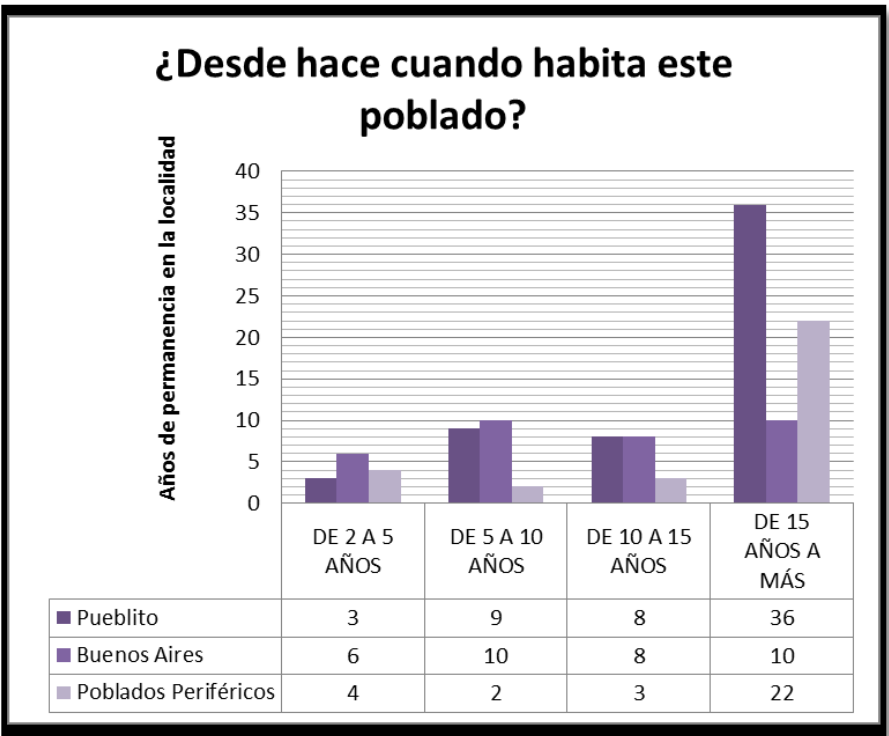


Figure 3.7. Percepción de daños en actividades domésticas por los encuestados.

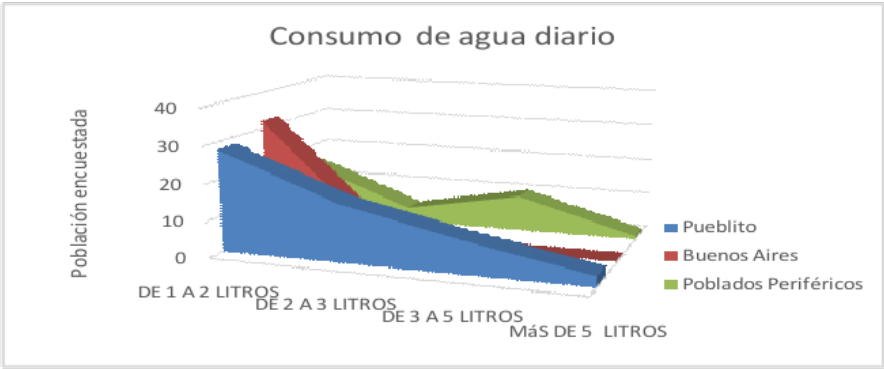


Figure 3.8. Productos de higiene doméstica.

$$IL = pH - pH_s = pH - (TF + AF - 12,5) \quad (3.1)$$

Donde: pH es el pH medido del agua; pH_s es el pH de saturación; TF es el factor asociado a la temperatura y la dureza total; y AF es el factor de alcalinidad. Se obtiene, como se muestra en la Tabla 3.3, que realmente se trata de un agua incrustante, causante de la problemática identificada por los pobladores de la muestra.

Table 3.3. Índice de Langelier a la entrada de la PPA “El Ceibal”.

Parámetro	Verano	Invierno
pH	8	8,1
Temperatura (°C)	30,3	28
TF	0,7	0,7
Dureza total	2050	1954
Alcalinidad	350	347
AF	2,6	2,6
IL	1,8	1,9

IL mayor que 1,5 = Agua Incrustante.

3.8. Afectaciones a la salud por enfermedades vinculadas a la dureza del agua

Las preguntas 10, 11 y 12 (Figura 3.9) están enfocadas a conocer los efectos que sobre la salud de los habitantes de esta comunidad tiene el consumo de agua dura, lo cual se investiga hacia tres aspectos fundamentales: sintomatología asociada a daños en vías urinarias y riñones; afectaciones renales; y afectaciones a la piel.

La Figura 3.9 muestra que el 36 % de la muestra refiere sintomatología que puede estar relacionada con patologías que se potencian ante la presencia de agua dura y el 8 % de enfermos confirmados, lo cual tiene la misma tendencia de los resultados del estudio de Melitón (2008), quien refiere que poblaciones con concentraciones mayores de 300 mg/L de CaCO_3 presentan entre el 8 % y el 27 % de enfermos de litiasis. Igualmente el estudio de Neira (2006) plantea una buena correlación entre el incremento de la dureza del agua y la urolitiasis. La encuesta arroja que existe una incidencia importante de afecciones de la piel, para un 28 % de la muestra, lo cual debe ser estudiado, ya que no hay referencias de otros estudios que vinculen con certeza la dureza del agua con presencia de afectaciones en la piel (Arnedo-Pena et al., 2003).

3.9. Diagnóstico y propuesta de actuación en la zona de estudio

De acuerdo con los resultados obtenidos, tanto de los análisis de laboratorio como de las encuestas, se llega al diagnóstico siguiente: las mayores aportaciones a la dureza total en el río provienen de la subcuenca Santa Ana, que tiene 210 km², con valores medidos tan altos como 2050 mg/L; a la PPA “El Ceibal” llega el agua con elevadas concentraciones de dureza total que sobrepasan los 500 mg/L; y existen afectaciones tangibles a la calidad de vida de la población servida.

En ese sentido se proponen acciones orientadas a: la implementación de medidas de protección hacia las acciones antropogénicas específicamente en la subcuenca Santa Ana; la implementación de medidas de monitoreo desde la salida del embalse Poza Honda hasta la entrada a la PPA “El Ceibal”; y analizar la posibilidad de adaptación tecnológica de la PPA “El Ceibal” para reducir la dureza a la salida.

Respecto a la adaptación tecnológica, se valoraron dos variantes: una conductora desde la salida de la presa Poza Honda hasta la PPA “El Ceibal” (con más de 60 km de longitud y diámetros entre 1000 y 1200 mm, de alta complejidad y costo); y la inserción de una línea de ablandamiento en la PPA (con un volumen de agua a tratar de alrededor de 3750 m³/h). Un estudio realizado por la consultora ADISOL S.A. (2014) refiere que el tratamiento de niveles de dureza total del orden de 983,78 mg/L tiene un costo de operación de más de 40 mil dólares diarios, mientras que niveles mínimos de dureza del orden de 375,16 mg/L tendrían un costo de operación de 14 mil dólares diarios.

De forma general, los autores consideran que las intervenciones constructivas en la PPA “El Ceibal” no son

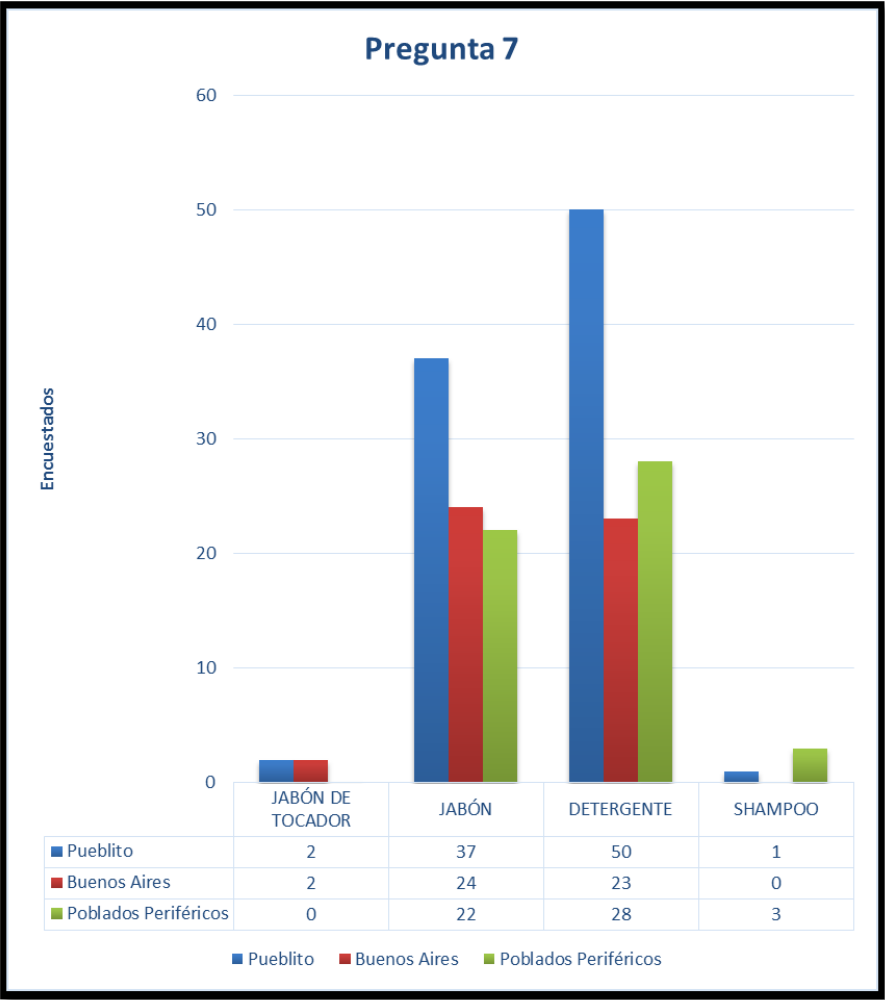


Figure 3.9. Afectaciones a la salud en la muestra estudiada.

necesarias si se implementan adecuadamente las medidas de mitigación y control de la contaminación en la zona de estudio. De acuerdo con el diagnóstico realizado, la propuesta de mitigación tendría un costo bimensual como el que se muestra en la Tabla 3.4, para un total anual estimado de 128 mil 400 dólares, lo que resulta menor que el costo de operación de los procesos de ablandamiento.

Table 3.4. Costo del programa de reducción de la contaminación.

Medidas de mitigación	Actividad	UM	Costo unitario	Muestras bimensual	Costo total
Sistema de monitoreo y control de Portoviejo	Análisis completo físico-químico en los 10 puntos de muestreo	USD	200	10	2000
	Inspección	USD	800	5	4000
	Evaluación/actualización	USD	2000	1	2000
Medidas de protección y control Santa Ana	Análisis completo físico-químico en 5 puntos de muestreo subcuenca Santa Ana	USD	200	5	1000
	Inspección de zona a muestras críticas	USD	800	3	2400
	Educación comunitaria	USD	800	10	8000
	Evaluación/actualización	USD	2000	1	2000
Total programa de mitigación (USD)					21 400

El éxito de este programa depende del trabajo multidisciplinario e interdisciplinario de las autoridades implicadas y el apoyo del gobierno provincial de Manabí.

04 CONCLUSIONES

Se realizó el estudio de la calidad del agua, atendiendo específicamente al comportamiento del parámetro dureza total, temporal y permanente desde la salida de la represa Poza Honda hasta la entrada de la PPA “El Ceibal”, concluyendo que:

- Los puntos ubicados aguas arriba de Estero Lodana no presentan problemas relacionados con la dureza, entre los que se incluye el embalse Poza Honda.
- El punto que mayor aportación de dureza total presenta es Estero Lodana, que recibe las aguas de la subcuenca Santa Ana, con indicadores de contaminación local por causas antropogénicas vinculadas a los sistemas de riego existentes.
- Los indicadores que se incrementan con respecto a las características naturales del río Portoviejo son dureza temporal, permanente, conductividad, sólidos disueltos totales y sulfatos.
- La dureza total de Estero Lodana está caracterizada por altas concentraciones de dureza permanente, asociada fundamentalmente a afectaciones causadas por áreas de riego con un inadecuado manejo de fertilizantes como sulfato de calcio.
- La dureza a la entrada de la PPA “El Ceibal”, en todas las condiciones sobrepasa los 300 mg/L, comprobándose en el estudio concentraciones de 535 mg/L, parámetro para el que no hay tratamiento previsto.
- Se propone como alternativa de solución la implementación de un programa de reducción de la contaminación, centrado en un sistema de monitoreo y control de la calidad del agua en el cauce del río Portoviejo y medidas de protección y control de la subcuenca Santa Ana. El costo de implementación del programa propuesto está valorado en 128 mil 400 dólares anuales.

05 AGRADECIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados presentados en esta contribución recibió reconocimientos de los pobladores que utilizan el agua de la planta “El Ceibal”.

06 REFERENCIAS

- ADISOL S.A.** (2014). *Estudio de costos de operación para tratamiento de ablandamiento. ppa el ceibal* (tech. rep.). ADISOL S.A. Manabí, Ecuador.
- Arnedo-Pena et al.** (2003). Dureza del agua y afecciones de la piel.
- Cevallos, C.** (2009). Caracterización de la cuenca del río portoviejo.
- Curia & Suárez.** (2011). Uso de fertilizantes en polígonos experimentales de la subcuenca santa ana.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).** (2011). *Norma técnica ecuatoriana nte inen 1108. agua potable. requisitos* (tech. rep.). INEN. Quito, Ecuador.
- Matato et al.** (2009). Análisis químicos de aguas en manabí.
- Melitón, W.** (2008). Relación entre la dureza del agua y la litiasis en poblaciones expuestas.
- Neira, M. A.** (2006). Correlación entre el incremento de la dureza del agua y la urolitiasis.
- Organización Mundial de la Salud.** (2004). *Guías para la calidad del agua potable* (3rd ed., Vol. 1). http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3sp.pdf
- Seoáñez, M.** (1995). Expansión urbana [Citado en Scornik et al. (2006)]. In *Pasos hacia una gestión urbana del desarrollo sustentable*. Universidad Nacional del Nordeste.

Conflicto de intereses

No hay conflicto de intereses.

ORCID de los autores

Juan Gabriel Chipantiza Masabanda	https://orcid.org/0000-0002-7005-9134
Evelin Laura Zambrano	https://orcid.org/0009-0004-3919-9720
Teresita de Jesús Romero	https://orcid.org/0000-0001-7857-0140
Odalys Méndez Valdés	https://orcid.org/0000-0002-7519-9638