

## **Estudio comparativo de la eficiencia del fosfato en las tuberías galvanizadas y PVC para el ablandamiento del agua subterránea**

### **Comparative study of the efficiency of phosphate and galvanized pipes PVC softening groundwater**

**Jurado Sandoval, Joselyn Patricia; Jara Anquise, Jesus Stephan; Toscano Salazar, Ruth Tabita**

<sup>1</sup>E. P. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima

Recibido 20 de julio del 2014 - Aceptado 20 de diciembre del 2014

---

#### **Resumen**

El objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia del fosfato para el ablandamiento del agua subterránea en las tuberías galvanizadas y PVC. El proyecto consistió en tres etapas; En la primera etapa, se identificó las fuentes de agua que abastecen a la institución y los puntos de muestreo; la segunda etapa consistió en la elaboración de filtros de arena con distintas granulométricas, además de una capa con fosfato para el ablandamiento del agua; en la tercera etapa se procedió a la toma de muestra, y estudio de los parámetros más importantes como: Potencial de Hidrógeno, Turbidez y Dureza Total (método de complejometría con ácido etilendiaminetetraacético-EDTA); los análisis fueron realizados al agua subterránea antes y después del tratamiento con fosfato para ambos tipos de tuberías. Los resultados obtenidos muestran disminución considerable de iones de calcio, magnesio y hierro en ambas tuberías; el tratamiento con fosfato es eficiente en ambas tuberías. La tubería galvanizada aporta iones de hierro al agua que circula, esto hace que la dureza se incremente, mostrando una diferencia antes y después. La tubería PVC en contraste a la galvanizada tienen una diferencia de 704 ppm CaCO<sub>3</sub> y 990 ppm CaCO<sub>3</sub> respectivamente, en los datos obtenidos antes y después del tratamiento, siendo ambos resultados mayores a 180 ppm CaCO<sub>3</sub>, clasificándola como agua muy dura según la Organización Mundial de la Salud. Se concluye que el tratamiento con fosfato es más eficiente en la tubería de PVC con respecto a la galvanizada puesto que no hay presencia de iones de hierro que también contribuyen a la dureza del agua, dificultando así el ablandamiento de la misma.

**Palabras clave:** Dureza del agua, Fosfatos, Ablandamiento de Agua, Método de Titulación con EDTA

#### **Abstract**

The objective of this study was to compare the efficiency of phosphate-softening groundwater galvanized pipes and PVC. The project consisted of three stages; In the first stage, the water sources that supply the institution and the sampling points were identified; The second stage was the development of sand filters with different grain size, plus a phosphate layer for water softening; in the third stage we proceeded to sampling, and study of the most important parameters such as: Hydrogen Potential, Turbidity and Total Hardness (Method Complexometry-EDTA ethylenediaminetetraacetic acid); analyzes were conducted to ground water before and after the phosphate treatment for both types of pipes. The results show significant decrease of calcium ions, magnesium and iron in both pipes; phosphate treatment is efficient in both pipes. Galvanized iron pipe contributes to the water circulating ions, this causes the hardness increases, showing a difference before and after. The PVC pipe in contrast to the galvanized have a difference of 704 ppm CaCO<sub>3</sub> and 990 ppm CaCO<sub>3</sub> respectively, the data obtained before and after treatment, both greater results at 180 ppm CaCO<sub>3</sub>, classifying it as very hard water according to the World Health Organization health. It concluded that phosphate treatment is more efficient in the PVC pipe with respect to the galvanized since no presence of iron ions also contribute to water hardness, thus hindering softening it.

**Keywords:** Water hardness, Phosphates, Water Softening, EDTA Titration Method

Correspondencia al autor:

email: jesustephan.jaranquise@gmail.com; josy.jurado@gmail.com; ruth.tosa@gmail.com

## Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (2009) el 97,5% del agua del mundo es salada y solamente 2.5% es dulce. Casi toda el agua dulce del mundo existe en glaciares y capas de hielo, de esta, menos del 1% está disponible para beber y el mayor porcentaje se encuentran en aguas subterráneas, que dependiendo de la zona geográfica donde se encuentren presentan un cierto grado de dureza; por otro lado, Arnedo (2007) en estudios realizados en Gran Bretaña, considera a la dureza del agua como un factor de riesgo para la salud, por la ocurrencia de enfermedades cardiovasculares y cálculos renales.

Por lo general, la dureza del agua es causada por la presencia de iones calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) e iones magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) disueltos en el agua. Algunos otros cationes divalentes también contribuyen a la dureza, como el estroncio, hierro y manganeso, pero en menor grado porque están contenidos generalmente en pequeñas cantidades (Donato, 2003).

Según Idrobo (2012) la dureza es adquirida por el agua a su paso a través de las formaciones de roca que contienen los elementos que la producen, en la mayoría de los casos por la presencia de la piedra caliza, una roca sedimentaria que casi siempre es de origen oceánico, aunque pudo haber sido transportado por la acción del viento y ahora se encuentra sobre la tierra. Por otro lado, el poder solvente adquirido por el agua es debido a las condiciones ácidas que se desarrollan a su paso por el suelo, donde la acción de las bacterias genera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), en equilibrio con el ácido carbónico. En estas condiciones de pH bajo, el agua ataca las rocas particularmente a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), mezclándose con los compuestos en solución (McNally, 2003). Por consiguiente la dureza del agua en la actualidad ha traído diferentes problemas domésticos e industriales, como son las incrustaciones y la corrosión en las tuberías; es por ello que es necesario el tratamiento de dichas aguas por medio de ablandadores (Cardenas, 2005).

En este contexto el presente estudio busca comparar la eficiencia del fosfato en las Tuberías de PVC y Galvanizadas para el Ablandamiento del Agua de Pozo.

### Dureza del Agua

Se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio; estos minerales tienen su origen en las formaciones rocosas de calizas, y pueden ser encontrados, en mayor o menor grado, en la mayoría

de las aguas naturales. Cabe destacar que, la dureza del agua proviene de sales de cationes metálicos divalentes. Estos iones son capaces de reaccionar con jabón y formar precipitados, o en la presencia de aniones apropiados, formar sarro en tuberías de agua caliente (Rodríguez, 2010).

### Grados de la Dureza del Agua

El grado de dureza es una medida de la concentración total, en peso, del contenido de iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , expresada como equivalente de carbonato de calcio y usualmente medida en partes por millón o miligramos por litro.

### Clasificación de la Dureza del Agua

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la clasificación de la dureza del agua en  $\text{mg/l CaCO}_3$ , la cual es mostrada en la tabla 1:

**Tabla 1**  
*Clasificación de la Dureza del Agua – OMS*

Dureza ( $\text{mg/l CaCO}_3$ )	Tipos de Agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente Dura
121-180	Dura
>180	Muy Dura

Fuente: Organización Mundial de Salud (2003)

### Agua Subterránea

El agua subterránea es un recurso vital que proporciona la cuarta parte de toda el agua dulce destinada a la industria, agricultura y consumo humano. Se encuentra bajo la superficie del terreno o dentro de los poros o fracturas de las rocas, en zonas húmedas a metros de profundidad, en desiertos a cientos de metros. El agua subterránea que proviene de rocas consolidadas como caliza, lava, roca fracturada, son más contaminadas (Duque, 2000).

### Potencial de hidrógeno

El pH del agua es un parámetro muy importante que nos permitirá valorar la calidad del agua que estamos tratando. Según Neira (2006) es un indicador que señala si es una solución ácida o alcalina y se mide mediante una escala que va de 0 a 14. Si el agua es neutra tiene un pH de 7. Las aguas más duras suelen ser más alcalinas que las aguas blandas. Sin embargo, conviene no confundir estos dos parámetros porque miden aspectos diferentes y no siempre coinciden. De hecho, es posible encontrar aguas duras con un pH bajo, es decir, bien ácidas.

Por otro lado, Soto (2010) aclara que las variaciones del pH del agua se producen por el aumento o la disminución del CO<sub>2</sub>, disuelto en el agua. Cuando el CO<sub>2</sub> baja, aumenta el pH del agua y por ello al ser esta más alcalina, favorece las incrustaciones calcáreas. Puede suceder, por el contrario, que el CO<sub>2</sub> del agua aumente, ya sea por la presencia de carbonatos en el subsuelo o por infiltración del agua de lluvia, que suele haber recogido el CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Esa presencia extra hace que descienda el pH y que el agua sea más ácida. La acidez del agua primero disolverá las incrustaciones de carbonato cálcico, si las hubiera, y luego atacará a tuberías y conexiones metálicas, lo que puede llegar a ser un serio peligro.

### Incrustación

Las incrustaciones en tuberías son originadas en la mayoría de los casos por las aguas duras los cuales presentan iones disueltos (partículas sólidas con carga eléctrica neta), en especial iones de calcio [Ca<sup>++</sup>] y iones de magnesio [Mg<sup>++</sup>,] mencionados anteriormente, cuyas cargas netas son positivas (cationes), y que provienen de la erosión y desintegración de rocas calcáreas y sedimentos varios presentes en el medio ambiente, principalmente en aguas subterráneas. Estos aniones tienen su origen en el CO<sub>2</sub> disuelto naturalmente en el agua. Los iones con cargas netas opuestas intervienen en un buen número de fenómenos químicos, entre ellos la cristalización (origen de las incrustaciones calcáreas) y reacciones electroquímicas de oxidación (origen de la corrosión galvánica). Ambos procesos ocurren de forma espontánea siempre que participen en el sistema compuestos salinos, agua, oxígeno disuelto, un medio ácido, y la superficie metálica propensa a recibir las incrustaciones y a corroerse (Soto, 2010).

### Corrosividad

Según Bauder (2005) la corrosión es una característica agresiva que poseen las aguas duras para corroer tuberías y accesorios. El agua corrosiva puede movilizar plomo y cobre de las tuberías en el agua potable y puede eventualmente causar pérdidas en las tuberías. Por otro lado, Martínez (2012) menciona que existen diferentes factores que influyen en la acción corrosiva del agua, los cuales se pueden observar en la Tabla 2.

**Tabla 2**  
*Potencial Corrosivo del Agua*

<b>El Potencial Corrosivo del Agua es Aumentado por:</b>	
<b>pH</b>	Más bajo de 6.5 o más alto de 8.5
<b>Caudal del agua</b>	Flujo muy rápido
<b>Temperatura</b>	Alta temperatura
<b>Gases Disueltos</b>	Más gases disueltos
<b>Conductividad</b>	Alta conductividad
<b>Sólidos disueltos</b>	Más sólidos disueltos
<b>Algunas Bacterias</b>	Más bacterias
<b>Sólidos Suspendidos</b>	Más sedimentos
<b>Cloro</b>	Más cloro

Fuente: Martínez, R. (2012).

Para controlar la corrosividad es recomendable instalar ablandadores de agua, o dispositivos de aireación, al aumentar la temperatura del agua caliente, al hacer la cloración del agua o por la inapropiada elección de tuberías de metal. Las opciones en el control de corrosión incluyen instalar sistemas de pre tratamiento, instalación de uniones no conductivas, reducir la temperatura del agua caliente y reemplazar las tuberías de metal por PVC. Sistemas de pre tratamiento incluye usar filtros neutralizantes en los, estos sistemas cambian el pH, dureza, alcalinidad para lograr disminuir la corrosividad del agua (Neira, 2006).

### Ablandamiento del agua

El agua dura puede suavizarse eliminando los iones de calcio y magnesio (Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup>). Una vez que se ha conseguido esto, se denomina agua blanda. Algunas aguas son naturalmente blandas, en tanto en otras tienen diferente grado de dureza. Uno de los medios más favorables para suavizar el agua es mediante intercambio iónico, que es un técnica que permite intercambiar iones entre un líquido y un sólido (este sólido es el intercambiador), el sólido usado para el proyecto piloto será el fosfato (Galarraga, 2006).

### Fosfato

El tratamiento con compuestos de fosfato es accesible y barato siendo una de sus principales ventajas para el tratamiento de agua dura, las desventajas es que al aplicarlo en exceso hace que el agua se sienta resbalosa, otra es que los compuestos de fosfato en el tratamiento de agua no son estables a temperaturas lo que significa que al exponer al calor el agua el hierro y el manganeso van a ser liberados, reaccionando con el oxígeno y precipitándose lo que no es recomendable su uso debido a precipitaciones ambientales (McFarland M. & Dozler M., 2001).

### Método de Titulación

El principio de este método es que los iones calcio y magnesio forman complejos estables con el ácido etilendiaminotetraacético-EDTA. El punto final de la titulación es detectado por el indicador negro de Eriocromo – T, el cual posee rosado en la presencia de calcio y magnesio y un color azul cuando los cationes están formando complejo con EDTA (Silvia Aguinaga, 1996).

### Método

El proyecto fue desarrollado en el pozo llamado “Jacob”, el cual alimenta a dos reservorios denominados reservorio 1 y reservorio 2. Asimismo, el reservorio 1 alimenta a un tercer reservorio. Sus ubicaciones se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Ubicación de las fuentes de agua del estudio*

	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	CAP.
<b>Pozo Jacob</b>	11°59,571	76°50,512	532 msnm	-
<b>Reservorio 2</b>	11°59,523	76°50,588	557 msnm	120m <sup>3</sup>
<b>Reservorio 3</b>	11°59,528	76°50,588	558 msnm	60m <sup>3</sup>
<b>Reservorio 1</b>	11°59,550	76°50,657	575 msnm	80m <sup>3</sup>

El estudio se desarrolló en tres etapas:

La primera etapa, se identificó las fuentes de agua que abastecen a la institución y se definió los puntos de muestreo más accesible, mediante una visita guiada a cargo del Jefe de Mantenimiento. En esta visita se pudo observar las conexiones y ubicaciones del pozo y sus reservorios respectivos. Los puntos de muestreo se determinaron de acuerdo a la accesibilidad de cada reservorio siendo los reservorios elegidos “reservorio 1” y “reservorio 3”. Asimismo se procedió a la toma de datos, mostrados en la tabla 3.

La segunda etapa, estuvo dedicada a la elaboración de filtros de arena con diferentes capas granulométricas, incluida una capa con fosfato para el ablandamiento del agua. Para lo cual se utilizaron cuatro baldes, dos de los cuales tienen caño y una capacidad de 13 Lt., y los otros dos tienen una manguera de 50cm y una capacidad de 10 Lt.

Los baldes de 13 Lt. fueron destinados para los filtros, y los de 10 Lt. como tanque de almacenamiento. Para la elaboración de los filtros, primero se tamizó y

lavó los diferentes materiales granulométricos, luego se colocó algodón en la parte del caño y en la base del balde posteriormente, se añadió una capa de arena fina con un espesor de 4cm., sobre ella se puso 500g. de fosfato, luego se le agregó una capa de arena gruesa con un espesor de 4cm, finalmente se agregó una capa de piedra chancada con el mismo espesor a cada balde de 13Lt.

La tercera etapa (etapa de laboratorio) consistió en efectuar los análisis del antes y después del tratamiento con fosfato, según el Método Estandarizado para la Determinación de Dureza en el Agua (Método ASTM D 1126-92) propuesto por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), y el Método 2340 C publicado por la *American Public Health Association* (APHA).

Para los análisis tanto de antes y después del tratamiento con fosfato se midieron los parámetros mostrados en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Parámetros de Medición*

Parámetro	Equipo-Marca/Modelo
Potencial de Hidrógeno (pH)	pH-metro/HANNA
Turbidez	Fotómetro/HANNA
Dureza	Método ASTM D 1126-92, Método 2340 C

Para la medición de los parámetros en las 3 muestras; agua neutra, agua de la tubería de PVC, agua procedente de la tubería galvanizada; se utilizó distintos métodos y equipos.

Para determinar la dureza, se utilizó el método de complejometría con EDTA, utilizando el Método ASTM D 1126-92 y el Método 2340 C, los cuales consisten en la cuantificación de los iones calcio y magnesio mediante la valoración de la muestra con EDTA y posterior conversión a dureza total expresada como ppm de CaCO<sub>3</sub>.

### Resultados

Los resultados de la medición de los parámetros se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**

Resultados de la medición de parámetros en el agua neutra antes del tratamiento

	Turbidez (UNT)	Dureza Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	pH
Prueba 1	1.06	750	7.7
Prueba 2	1.03	1000	
Prueba 3	0.84	900	
Promedio	0.97	883	

Por otro lado, los resultados de antes y después del tratamiento con fosfato al agua del tubo galvanizado se muestran en la Tabla 6. La figura 1 y 2 muestran los valores comparativos de los parámetros pH, Turbidez y Dureza Total, antes y después del tratamiento con fosfato.

**Tabla 6**

Resultados de la medición de parámetros antes y después del tratamiento al agua del tubo galvanizado

	Antes del Tratamiento-Tubo Galvanizado			Después del Tratamiento-Tubo Galvanizado		
	Turbidez (UNT)	Dureza Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	pH	Turbidez (UNT)	Dureza Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	pH
Prueba 1	115	1900	8	6.82	850	7
Prueba 2	104	1850	8	7.07	1050	7
Prueba 3	110	2000	8	7.51	880	7
Promedio	109.67	1917	8	6.82	927	7

La figura 1 muestra que el grado de turbidez presente en el tubo galvanizado antes del tratamiento con fosfato es elevada, en las tres pruebas exceden los 100 UNT, con un máximo de 115 UNT y un mínimo de 104 UNT, obteniendo un promedio final de 109 UNT, después del tratamiento del filtro con fosfato los resultados de turbidez descienden hasta 7.10 UNT como promedio final, este valor está dentro de los estándares del Reglamento de Agua para Consumo Humano, donde indica que la turbiedad máxima para el agua subterránea es de 10 UNT.

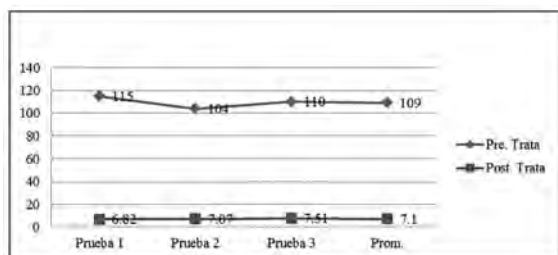


Figura 1. Comparación de la turbidez en el agua del tubo galvanizado antes y después del tratamiento con fosfato

La figura 2 muestra la variación de la dureza total del agua procedente del tubo galvanizado antes del tratamiento, las tres pruebas iniciales muestran resultados por encima de los estándares permitidos, llegando a tener un máximo de 2000 mg/l y un mínimo de 1850 mg/l, obteniendo un promedio final de 1917 mg/l, luego del tratamiento mediante el filtro con fosfato se observa que los resultados disminuyen considerablemente hasta 927 mg/l como promedio final. El agua del tubo galvanizado presenta grandes cantidades de hierro y por los resultados obtenidos mayores a 180 mg/l se caracteriza por ser agua cálcico magnésica o muy dura, pero aun así el filtro ablandador con fosfato reduce la dureza del agua en el tubo galvanizado de una manera significativa, esto debido a que en grandes concentraciones la interacción de los iones calcio y los iones magnesio actúan con el fosfato.

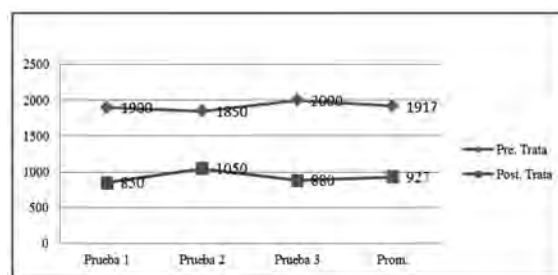


Figura 2. Comparación de la dureza total en el agua del tubo galvanizado antes y después del tratamiento con fosfato

La figura 3 muestra que el grado de turbidez el agua procedente del tubo PVC antes del tratamiento con fosfato es poco significativo, puesto que en las tres pruebas los datos no exceden los 2 UNT, llegando a tener un máximo de 1.08 UNT y un mínimo de 0.71 UNT, obteniendo un promedio final de 0.86 UNT, después del tratamiento mediante el filtro con fosfato se observa que los resultados de turbidez tienen un ligero aumento llegando a tener hasta un 3.69 UNT como promedio final, este valor está dentro de los estándares del Reglamento de Agua para Consumo Humano. Se puede deducir que el aumento de turbidez pueda deberse a las diferentes capas granulométricas que componen el filtro.

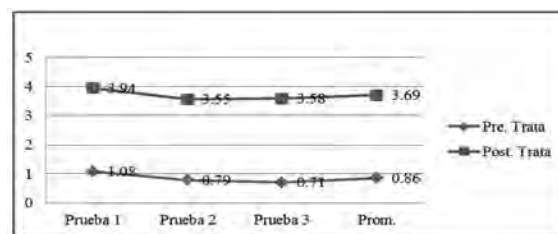


Figura 3. Comparación de la turbidez en el agua del tubo PVC antes y después del tratamiento con fosfato



La figura 4, muestra la dureza total del agua procedente del tubo de PVC antes del tratamiento, las pruebas iniciales fueron resultados por encima de los estándares permitidos, llegando a tener un máximo de 1650 mg/l y un mínimo de 1470 mg/l, obteniendo un promedio final de 1557 mg/l, luego del tratamiento mediante el filtro con fosfato se observa que los resultados descienden significativamente hasta 853 mg/l como promedio final.

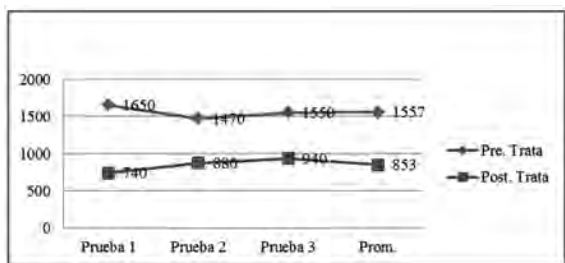


Figura 4. Comparación de la dureza total en el agua del tubo PVC antes y después del tratamiento con fosfato

La figura 5, muestra que la eficiencia del fosfato es mayor en la tubería de PVC que en la de galvanizado, puesto que la Dureza Total en el tubo galvanizado es mayor que en la tubería de PVC. Además, el rango de dureza de la tubería de PVC se aproxima más al Estándar de Calidad Ambiental establecido en el D.S 002-2008-MINAM, que indica que el nivel de dureza total es de 500mg/l CaCO<sub>3</sub>.

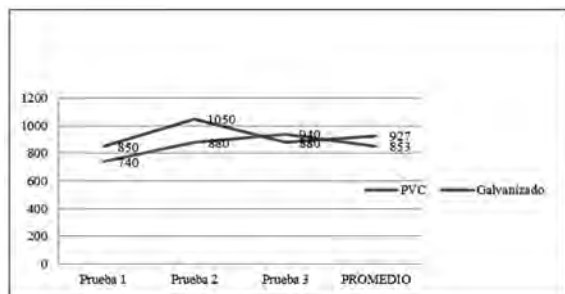


Figura 5. Comparación de la dureza total en el agua del tubo PVC y del tubo galvanizado después del tratamiento con fosfato

Los resultados de las muestras analizadas en laboratorio tanto para las aguas que hacen su recorrido en tuberías de PVC y Galvanizado mostraron según la clasificación de la OMS como agua muy dura ya que sus valores sobre pasan los 180 mg/l CaCO<sub>3</sub>, esto confirma nuestra hipótesis inicial, siendo el agua que recorre por la tubería galvanizado es más dura que el PVC, debido a la composición del tubo galvanizado (Figura 6) este aporta más hierro al agua lo que hace que su concentración de la dureza total sea mayor.

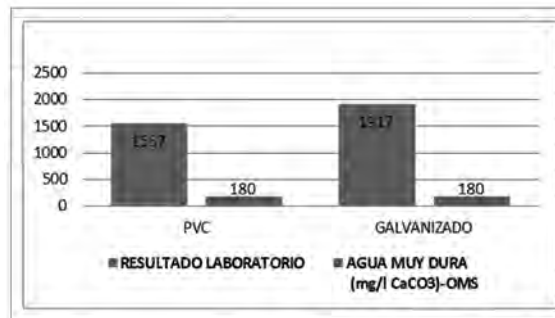


Figura 6. Comparación de dureza total obtenida con estándares OMS

El D.S. 002-2008-MINAM establece los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua; los resultados sobrepasan los 500 mg/l CaCO<sub>3</sub> tal como se muestra en la figura 7 esto indica que el agua extraída de los pozos.

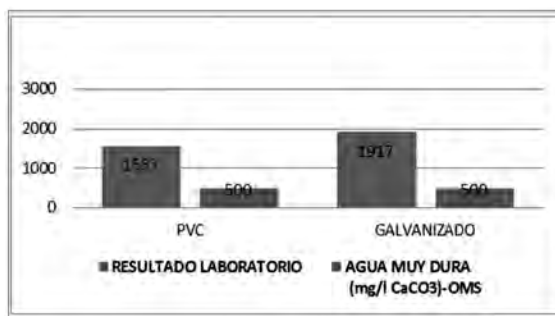


Figura 7. Comparación de dureza obtenida con estándares D.S 002-2008-MINAM

El agua de pozo sometida a un tratamiento de filtro de arena con una capa de ½ kilogramo de fosfatos, demostró que en las tuberías de PVC disminuyó 704 mg/l CaCO<sub>3</sub> y en la de Galvanizado disminuyó 990 mg/l CaCO<sub>3</sub> como se muestra en la Figura 8, de la concentración inicial de dureza del agua.

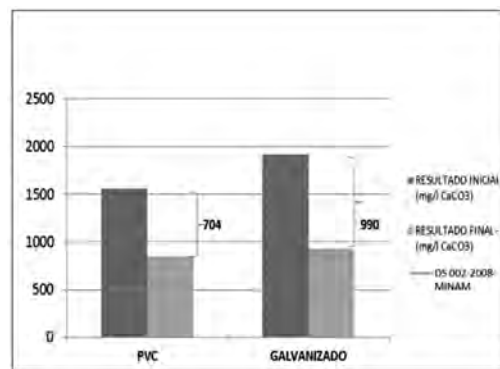


Figura 8. Efecto del fosfato en las tuberías de PVC y galvanizada antes y después del tratamiento

### Conclusión

El tratamiento con fosfato reduce la dureza del agua en la tubería de PVC con respecto a la galvanizada debido a que no hay presencia de iones de hierro que también contribuyen a la dureza total del agua, dificultando así el ablandamiento de la misma y obteniendo un resultado menor en la dureza total del agua después del tratamiento mediante filtros con fosfatos.

El tratamiento con fosfato consigue reducir la dureza en más del cincuenta por ciento en ambos casos (tubería PVC y Galvanizado) el ablandamiento del agua no es del todo efectivo ya que sin lugar a dudas, remueve un cierto porcentaje de dureza total, tanto en la tubería de PVC y de galvanizado pero aun así, los resultados después del tratamiento mediante el filtro con fosfato sobrepasan aun el parámetro establecido en EL D.S 002 – 2008 MINAM de 500 mg/l  $\text{CaCO}_3$  como estándar nacional para la calidad ambiental del agua, obteniendo un resultado final para el agua de PVC de 853 mg/l  $\text{CaCO}_3$  y para el tubo galvanizado de 927 mg/l  $\text{CaCO}_3$ ; dichos resultados, aun así,

sobrepasan los rangos permitidos de dureza total por la OMS siendo mayor que 180 mg/l  $\text{CaCO}_3$  caracterizándola como agua muy dura.

Sin embargo, el tratamiento con fosfato resultaría efectivo en aguas donde la dureza total está concentrada en pocas cantidades o menos duras, de esta manera se podría considerar que dicho tratamiento obtendría resultados favorables para la calidad del agua.

### Recomendaciones

Por lo tanto se recomienda probar con otros medios como la calcita o resinas de intercambio catiónico, para aguas donde las concentraciones de iones calcio y iones magnesio presenten una característica muy dura.

Por otro lado, debido a que el ablandador mediante filtros con fosfato, es un filtro casero que debe desarrollarse en un mantenimiento permanente y un flujo del agua constante.

### Referencias

- Arnedo, A. (2007). Dureza del agua de consumo doméstico y prevalencia de eczema atópico en escolares de Castellón, España. Castellón, España.
- Bauder. (2005). Tesis. Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales , 1-2.
- Cardenas, P. (2005). Sistema de ablandamiento de agua para zonas residenciales e industriales. Northern Plains & Mountains.
- Donato. (2003). Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la facultad de ciencias - epoch. Riobamba - ecuador.
- Duque, G. (2000). Agua Subterránea. Recuperado el 18 de Abril de 2014, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/21/geo18.pdf>
- Galarraga, E. (2006). Química de alimentos, tomo II.
- Idrobo, M. (2012). Ablandamiento de agua mediante uso de Resinas de Intercambio Catiónico. Buenos aires: Prowater.
- Martinez, R. (2012). “diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la facultad de ciencias - epoch”. Rafael Martínez.
- McNally. (2003). Gran breña.
- Neira, M. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile. Tesis.
- Organización Mundial de la Salud. (2009). Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo\\_8.pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2009). Agua, saneamiento y salud (ASS). Recuperado el 13 de Mayo de 2014, de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/)
- Prowaterargentina. (2000). Ablandamiento del Agua. Recuperado el 25 de Mayo de 2014, de [http://www.prowaterargentina.com.ar/articulos/INFO\\_INT\\_IION\\_06.pdf](http://www.prowaterargentina.com.ar/articulos/INFO_INT_IION_06.pdf)
- Rodriguez, A. (2010). La dureza del agua. Recuperado el 18 de Abril de 2014, de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza\\_agua.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf)
- Silvia Aguinaga. (1996). Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. Dirección nacional del ambiente.
- Soto, J. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica.