



**Universidad
Norbert Wiener**

**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE FARMACIA
Y BIOQUÍMICA**

**“Determinación de plomo y dureza cálcica en agua de consumo humano
de Caja de Agua – San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017”**

Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico

Presentado por:

Br.: Karina Janet Carmona Castillo

Asesor

Q.F. Tox. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez

Lima – Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios por ser el hacedor de mi vida, quien cada día bendice mi camino y me ha permitido llegar a culminar mi anhelada carrera profesional.

A mis padres: Víctor Manuel y Lady Alejandrina por mostrarme y enseñarme los valores y principios.

A mis hermanas: Gabriela de quien recibí constante apoyo, y en especial a mi hermana Sandra por ser mi referente.

A mi abuelita Basílica Miranda en el cielo.

A mis amigas Carmen y Zoraya.

Y a todas las personas que de una forma u otra se han hecho parte de este triunfo.

Karina Janet Carmona Castillo

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas, que de una u otra manera, han contribuido a que este trabajo de investigación sea una realidad.

A mi asesor Q.F. Tox. Lizano Gutiérrez Jesús Víctor, quien con su conocimiento y experiencia supo guiarme en la realización de la investigación.

Asimismo al Q.F. Muñoz Jáuregui, Manuel por su apoyo en la búsqueda de información.

A mi alma mater Universidad Norbert Wiener en especial a la Facultad de Farmacia y Bioquímica y asimismo a mí jurado calificador:

- Presidente: Mg. Félix Veliz, Luis Miguel.
- Secretario: Mg. Llahuilla Quea, José Antonio.
- Vocal 1: QF. Ramos Jaco Antonio Guillermo.

Cuida tus pensamientos, ellos se convierten en palabras.

Cuida tus palabras, se convierten en acciones.

Cuida tus acciones, ellas se convierten en hábitos.

Cuida tus hábitos, ellos se convierten en carácter.

Cuida tu carácter, él se convierte en tu destino.

Lao Tzu.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

| | Pág. |
|---|-------------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema. | 2 |
| 1.2 Justificación del estudio | 2 |
| 1.3 Objetivos de la investigación..... | 3 |
| 1.4 Variables..... | 4 |
| 1.5 Hipótesis | 4 |
| | |
| II MARCO TEORICO | 5 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 5 |
| 2.2 Bases Teóricas..... | 11 |
| 2.2.1. Agua | 11 |
| 2.2.1.1. Ciclo Hidrológico | 11 |
| 2.2.2. Agua Subterránea | 12 |
| 2.2.2.1. Utilización del Agua Subterránea en la Antigüedad | 13 |
| 2.2.2.2. Importancia del agua subterránea | 14 |
| 2.2.2.3. Ventajas del abastecimiento del agua subterránea | 15 |
| 2.2.2.4. Formas de almacenamiento del agua subterránea en los acuíferos..... | 15 |
| 2.2.2.5. Protección del agua subterránea | 16 |
| 2.2.2.6. El agua subterránea y los efectos del cambio climático | 17 |
| 2.2.2.7. Uso regional del agua subterránea..... | 17 |
| 2.2.2.8. Contaminación del agua subterránea..... | 19 |
| 2.2.2.8.1. Contaminación del agua subterránea de origen urbano | 19 |
| 2.2.2.8.2. Contaminación del agua subterránea de origen industrial | 19 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2.8.3. Contaminación del agua subterránea de origen agrícola | 19 |
| 2.2.3. Función del Agua en el Organismo Humano | 20 |
| 2.2.4. Plomo | 20 |
| 2.2.4.1. Fuentes de exposición | 21 |
| 2.2.4.2. Toxicocinética | 21 |
| 2.2.4.3. Toxicodinámica | 21 |
| 2.2.4.4. Clínica en intoxicación aguda | 22 |
| 2.2.4.5. Clínica en intoxicación crónica | 22 |
| 2.2.5. Dureza Cálctica | 23 |
| 2.2.5.1. Causa y fuente de dureza..... | 25 |
| 2.2.5.2. Inconvenientes de la dureza de las aguas | 27 |
| 2.2.6. Historia de Caja de Agua | 28 |
| 2.2.7. Normativa sobre Plomo y Dureza Cálctica en aguas de Consumo Humano..... | 29 |
| 2.2.7.1. Antecedentes de la Normativa Vigente | 29 |
| 2.2.8. Reglamento de la calidad del Agua para Consumo Humano – DS N° 031-2010-SA – Lima. Perú. Ministerio de Salud | 30 |
| 2.2.8.1. Requisitos de calidad del agua para consumo humano | 31 |
| 2.2.9. Guías para la Calidad del Agua Potable sobre el plomo y dureza del agua según la Organización Mundial de la Salud. | 31 |

PARTE EXPERIMENTAL

| | |
|---|-----------|
| III. METODOLOGÍA DEL TRABAJO | 34 |
| 3.1 Tipo de investigación | 34 |
| 3.2 Muestra..... | 34 |
| 3.3. Métodos analíticos | 34 |
| 3.4. Técnicas, instrumentos | 34 |
| 3.5. Procedimientos de Recolección de Datos | 35 |
| 3.6. Materiales, equipos y reactivos | 37 |
| IV. RESULTADOS | 39 |
| V. DISCUSIÓN..... | 47 |
| VI. CONCLUSIONES | 49 |

| | |
|---|-----------|
| VII. RECOMENDACIONES..... | 50 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |
| IX. ANEXOS..... | 56 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | Pág. |
|-----------|--|------|
| Tabla 1. | Principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados a ellos. | 25 |
| Tabla 2. | Conversión de resultados a dureza cálcica. | 37 |
| Tabla 3. | Resultado general de la medición de plomo y dureza cálcica en agua de consumo humano de Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017. | 39 |
| Tabla 4. | Evaluación estadística de plomo y dureza cálcica en agua apta para consumo humano de la zona de Caja de Agua distrito de San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017. | 40 |
| Tabla 5. | Distribución de la concentración de plomo en agua de Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017. | 41 |
| Tabla 6. | Porcentaje de muestras que superan el límite máximo permisible de plomo según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031 – 2010 – SA. Ministerio de Salud. Perú. | 42 |
| Tabla 7. | Distribución de la dureza cálcica (CaCO_3/L) en el agua de consumo humano, Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017. | 43 |
| Tabla 8. | Porcentaje de muestras que superan el límite máximo permisible de dureza cálcica (CaCO_3/L) según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031 – 2010 – SA. Ministerio de Salud. Perú. | 44 |
| Tabla 9. | Prueba T para una muestra – plomo. | 45 |
| Tabla 10. | Prueba T para una muestra – dureza cálcica. | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Formas del almacenamiento del agua subterránea en los acuíferos. | 16 |
| Figura 2. Uso regional del agua subterránea. | 18 |
| Figura 3. Fuente de dióxido de carbono y la solución de sustancias que causan dureza. | 27 |
| Figura 4. Caja de Agua Distrito de San Juan de Lurigancho. | 29 |
| Figura 5. Concentración de plomo en Agua de Consumo Humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho. | 41 |
| Figura 6. Distribución de la Dureza Cálctica (CaCO_3/L) en agua de Consumo Humano, Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. Febrero- Marzo 2017. | 43 |

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la determinación de plomo y la dureza cálcica en 21 muestras de agua de consumo humano, en la zona de Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho, Febrero – Marzo 2017. El análisis se realizó por el método de la Espectrofotometría de Absorción Atómica con horno de grafito, encontrándose que la concentración promedio de plomo en agua presenta 0,0046 mg Pb/L, con valores que oscilan entre 0,001 y 0,019 mg Pb/L. El 19,0% de las muestras analizadas supero el límite máximo permisible (0,010 mg Pb/L), establecido para el plomo en agua de consumo humano según la OMS y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Lima - Perú

La dureza cálcica promedio presenta 370,86 mg CaCO₃/L con valores que oscilan entre 104,25 y 1173,25 mg CaCO₃/L. El 28,57% de muestras analizadas superaron el límite máximo permisible (500 mg CaCO₃/L), establecido para la dureza cálcica en agua de consumo humano según la OMS y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Lima - Perú

Palabras claves: Absorción atómica, agua, plomo, dureza cálcica, Ca.

ABSTRACT

In the present work, the determination of lead and calcium hardness was carried out in 21 samples of water for human consumption, in the Caja de Agua area of the district of San Juan de Lurigancho, February - March 2017. The analysis was performed by the method of the Atomic Absorption Spectrophotometry with graphite furnace, finding that the average concentration of lead in water presents 0,0046mg Pb/L, with values ranging between 0,001 and 0,019 mg Pb/L. 19,0% of the analyzed samples exceeded the maximum permissible limit (0,010 mg Pb/L), established for lead in water for human consumption according to WHO and the Regulation of Water Quality for Human Consumption DS No. 031- 2010-SA. Ministry of Health. Lima Peru

The average calcium hardness shows 370,86 mg CaCO₃/L with values ranging between 104,25 and 1173,25 CaCO₃/L. The 28,57% of samples analyzed exceeded the maximum permissible limit (500 mg CaCO₃/L), established for the calcium hardness in water for human consumption according to the WHO and the Regulation of Water Quality for Human Consumption DS N ° 031- 2010-SA. Ministry of Health. Lima Perú.

Key words: Atomic absorption, water, lead, calcium hardness, Ca.

I. INTRODUCCION

El agua potable para consumo humano tiene que ser clara, incolora e inodora. La vida animal y vegetal sería impensable sin agua; además, es el componente más abundante del cuerpo humano representando un 65 a 70 % del cuerpo humano, cuando se pierde el 10% de agua corporal se presentan los primeros trastornos funcionales, que ocasionaría la muerte del ser humano si se incrementara la pérdida en un 15%.¹

En los países europeos se extrae el agua a partir del agua subterránea y en menor proporción agua de manantial. En los países en vías de desarrollo como el Perú, la mayoría de los problemas del agua para consumo humano, están ligados a la contaminación microbiológica y contaminación química de las fuentes de aguas, que pueden ser causantes de varias enfermedades como sabemos el plomo es tóxico y como tal es peligroso para la salud. Nuestro cuerpo lo va absorbiendo en pequeñas cantidades su comportamiento subclínico y consecuencia es daño neurológico permanente e irreversible.^{3,4}

Cuando fluye el agua dentro de las tuberías a una presión determinada se produce la corrosión de estas, observándose depósitos de CaCO_3 como consecuencia de su aportación por el agua dura y su acumulación sobre las paredes del conducto hasta su posible obstrucción, también se produce depósitos en las incrustaciones de óxidos metálicos de las propias tuberías (de hierro, plomo o de cobre); producidas por la acción corrosiva del agua.²

La dureza de las aguas se debe principalmente, a las sales de calcio o magnesio. El carbonato de calcio sólido que se forma de esta manera es el principal componente de los depósitos que se acumulan en los calentadores de agua, tuberías y cafeteras. Una delgada capa de depósito reduce la transferencia de calor y la eficacia y durabilidad de los calentadores de agua, tuberías y aparatos.⁵

La formación de jabones insolubles de calcio, sin propiedades detergentes es el inconveniente del uso del agua dura. Esto obliga a consumos desmesurados de jabón, en el lavado, y a la deposición de esos jabones insolubles sobre telas u objetos, disminuyendo su durabilidad.⁶

1.1 Planteamiento del problema

El plomo es uno de los más peligrosos metales por su alto potencial de toxicidad cuando ingresa en el organismo vivo, causando una intoxicación aguda donde predominan los síntomas gastrointestinales o una intoxicación crónica ocasionada paulatinamente con el transcurrir del tiempo y se caracteriza por anemia y daño del sistema nervioso.³

En el Perú el consumo de agua potable tiene algunas características, una de ellas es que en algunos lugares se consumen agua de subsuelo (agua de pozo), lo que trae como consecuencia su ingesta contaminada con metales como el plomo, por tal motivo investigamos su presencia en el agua de consumo humano de la zona de Caja de agua, distrito de San Juan de Lurigancho; ya que el plomo se puede encontrar en el agua que proviene del subsuelo o del sistema de drenaje.

Por otra parte la piedra caliza (CaCO_3) y la dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) se encuentran en la superficie terrestre formando parte de los acuíferos donde se acumula el agua subterránea y esta agua es aprovechada a través de pozos, lo que traerían problemas para la salud de las personas que lo consumen.⁵

El agua que presenta iones de Ca^{+2} o Mg^{+2} se conoce como agua dura, y el agua que carece de estos iones se denomina agua blanda. El agua dura no es adecuada para consumo humano, usos domésticos ni industriale.⁶

Formulación del problema

¿Es apta para consumo humano el agua en esta zona de Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho en relación al plomo y dureza cálcica?

1.2 Justificación de estudio

El agua es indispensable para la vida del hombre, los animales y las plantas y por tal motivo se debe garantizar la calidad de este recurso natural, por ende, evitar su contaminación y escasez. El Ministerio de salud del Perú ha elaborado el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA, donde se establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos,

parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos. También se asigna responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano; además de fortalecer a la DIGESA, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.

El agua que consume la población en esta zona Caja de Agua, distrito de San Juan de Lurigancho proviene de fuentes superficiales y subterráneas extraídas de pozos. La corrosión de las tuberías por donde fluye el agua y la acumulación de los depósitos de CaCO_3 y plomo en las incrustaciones son producidas por la acción corrosiva del agua.

El agua dura posee inconvenientes para el lavado de prendas y aseo personal incrementando el uso de jabón, por ende, la formación de jabones insolubles de calcio sin propiedad detergente. El agua dura suele ser bastante pernicioso con los utensilios domésticos, especialmente las teteras, al estar en contacto directo con el agua se da la formación de sarro en sus paredes internas.⁷

Es necesario adoptar compromiso y la responsabilidad de cada uno de los trabajadores del sector Salud, para desarrollar acciones en forma conjunta cuyo fin sea la Salud de nuestras poblaciones.

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo general

- Evaluar la concentración promedio de plomo y dureza cálcica en el agua para consumo humano de la zona de Caja de Agua, distrito de San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017.

Objetivos específicos

- Determinar por absorción atómica la concentración promedio de Plomo en el agua de consumo humano en la zona de Caja de Agua, distrito de San Juan de Lurigancho.
- Comparar las concentraciones de Plomo encontrada con los valores permisibles establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

- Determinar la concentración promedio de dureza cálcica en el agua apta para el consumo humano en la zona de Caja de Agua, distrito de San Juan de Lurigancho.
- Comparar la concentración promedio de Dureza Cálcica encontrada con los valores permisibles establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para consumo Humano DS N°031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

1.4 Variable

Variable Dependiente

- Concentración de plomo y dureza cálcica de agua.

Variable Independiente

- Agua de consumo humano de la zona de Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. Febrero – Marzo 2017.

1.5 Hipótesis

Hipótesis General

- El agua para el consumo humano es apta en la zona de Caja de Agua - San Juan de Lurigancho en relación al plomo y dureza cálcica.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Antecedentes Nacionales

Calsin Ramírez K., (2016), en la tesis titulada Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno – 2016. Cuyo objetivo fueron determinar los parámetros físicos: conductividad, temperatura, sólidos totales disueltos, turbidez; los parámetros químicos: pH, dureza total. Cloruros, nitratos, y sulfatos; y determinar los parámetros bacteriológicos: coliformes fecales y bacterias heterotróficas en agua subterránea. Concluyendo: Los parámetros físicos y químicos de aguas de pozos de acuerdo a los resultados encontrados no exceden los límites máximos permitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Esto indicaría que las aguas de pozos son aptas para consumo humano. Los parámetros bacteriológicos, coliformes totales y coliformes fecales de aguas de pozos artesanales y tubulares exceden los límites máximos permitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Por este motivo a pesar que los parámetros físicos y químicos no exceden en su totalidad los LMP, se demostró que bacteriológicamente si hay presencia de coliformes, por lo tanto el agua de pozos artesanales y tubulares son considerados no aptos para el consumo humano⁸.

Salcedo Meza M., Quinte Villegas A., Zavaleta Sotelo D., Imán Mendoza J., Obispo Gabino J., Cadillo Huerta E., Dávalos Castañeda A., Escudero Marcos C., (2014), en el distrito de Huacho – Perú, realizó el estudio “Concentración de metales pesados en el agua de consumo del distrito de Huacho” con el objetivo de determinar el contenido de metales pesados como plomo, cadmio y mercurio, que podrían estar causando daño a la salud de los pobladores. Metodología: Estudio analítico y descriptivo. Se Tomaron muestras en las redes de distribución adyacentes a los ocho pozos tubulares y llevadas a laboratorio, donde se utilizó el método de espectrofotometría por absorción atómica. Concluyendo: Los análisis de metales pesados de Cd, Pb y Hg en el agua potable que abastece a la población del distrito de

Huacho muestran cantidades muy por debajo de lo establecido en los límites máximo permisibles dado por la Organización Mundial de Salud, por lo que se puede deducir que el agua que consume la población del distrito de Huacho no contiene Cadmio, Plomo ni Mercurio.⁹

Blanco Hernández A., Dionisio Alonso G., Jiménez de Blas O., Santiago Guervos M., Miguel Manzano B.,(1998), en la provincia de Salamanca – realizaron el estudio “Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca en el año 1998 con el objetivo de conocer el grado de contaminación por plomo, cadmio, cinc y arsénico de las aguas de la provincia de Salamanca y su relación con la zona de procedencia de las muestras y el punto de recogida de las mismas. Se han estudiado aguas procedentes de redes de abastecimiento, fuentes, manantiales, pozos, ríos, riveras y lagunas de la provincia de Salamanca, analizándose los contenidos de plomo, cadmio, zinc y arsénico de 180 muestras, mediante espectroscopía de absorción atómica. Concluyendo: Los resultados sugieren que las aguas de la provincia de Salamanca presentan de forma “natural” altos contenidos de cadmio y plomo, probablemente debido a las características geológicas del terreno¹⁰.

Antecedentes Internacionales

Ogunbode Timothy O., Akintunde E., (2016), con la investigación: Evaluación de la calidad del agua subterránea y fuentes de contaminación en un centro urbano de crecimiento en el estado de Osun Sur de Nigeria Occidental. Se han notificado casos de enfermedades y muertes relacionadas con el agua en todo el mundo, especialmente en los países en desarrollo. Por lo tanto, se realizó una investigación para evaluar la calidad de las fuentes subterráneas en un centro urbano en crecimiento, en el estado de Osun, Nigeria. Una muestra de agua de pozo, que cada uno fue recolectado de cada una de las 15 salas políticas en los cinco barrios de la ciudad. Los parámetros físico-químicos se determinaron y analizaron utilizando técnicas estándar de laboratorio. El análisis factorial se utilizó para determinar los parámetros dominantes de la calidad del agua. Los resultados revelaron que los niveles de nitrato, fosfato, sodio, potasio, calcio, sulfato, pH, alcalinidad total, sólidos suspendidos totales, dureza total y sólidos disueltos totales generalmente se encuentran dentro de los límites máximos

permisibles. La temperatura, la conductividad eléctrica y los recuentos de coliformes estuvieron generalmente por encima de los límites aceptables. Los resultados mostraron que las fuentes de agua subterránea son susceptibles a las contaminaciones. Se recomienda que el tratamiento adecuado del agua se lleve a cabo antes del consumo para salvaguardar la salud humana.¹¹

Bieranye Baya S., Asiedu Fosu S., Etsey Sebiawu G., (2016), con la investigación: Evaluación de la calidad del agua subterránea para beber en las regiones del Alto Oeste y Norte de Ghana. El estudio se llevó a cabo en seis de los once distritos administrativos de la región del Alto Oeste: Wa West, Wa Municipal, Wa East, Nadowli-Kaleo, Jirapa y Sissala West, así como el distrito Sawla-Tuna-Kalba en la región septentrional de Ghana. El área de estudio cubre un área geográfica de aproximadamente 18,478 kilómetros cuadrados. Se recolectó un total de 50 muestras de perforaciones entre julio de 2014 y abril de 2015 para el estudio. Todas las muestras de agua se recogieron en botellas de plástico esterilizadas de 500 ml. Las botellas se esterilizaron lavando con ácido nítrico al 5% y luego enjuagando varias veces con agua destilada. Esto se llevó a cabo para garantizar que las botellas de muestreo estuvieran libres de todas las formas de contaminantes. Como resultado la dureza total se expresa químicamente como la concentración total de Ca^{2+} y Mg^{2+} en miligramos por litro equivalente de CaCO_3 . Las mediciones de dureza total para todas las muestras estuvieron por debajo de los 500 mg/L recomendados por la OMS para el agua potable, lo que sugiere que todos cumplían con la guía de la OMS y también eran seguros para beber.¹²

Payes Hernández J., (2014), con la tesis titulada: Evaluación del riesgo de contaminación por plomo en agua subterránea en el Cantón Sitio del Niño, municipio de San Juan Opico, la investigación tiene como objetivo general: Evaluar el riesgo por contaminación por plomo del sistema de flujo del agua subterránea que subyace al sitio de estudio, y su finalidad es aportar información que puede ser útil a quienes deciden sobre las gestiones requeridas para atender sustentablemente el manejo del recurso hídrico subterráneo. Los resultados de los análisis en agua de pozos excavados no indican concentraciones de plomo superiores a los 0.005 mg de Pb/L de agua y, por tanto, no sobrepasan el valor de referencia de concentración de plomo de 0,01 mg Pb/L de agua, especificada en la Norma Salvadoreña Obligatoria vigente al momento

del estudio (NSO 13.07.01:08, AGUA. AGUA POTABLE, Segunda actualización.); sin embargo, mientras exista el riesgo de contaminación por plomo al agua subterránea, no puede concluirse que se mantendrán las características de calidad del agua en los pozos.¹³

López Álvarez B., Ramos Leal J., Moran Ramírez J., Cardona Benavides A., Hernández García G., (2013) en su estudio sobre: “Origen de la calidad del agua del acuífero colgado y su relación con los cambios de uso de suelo en el Valle de San Luis Potosí”, cuyo objetivo fue evaluar el impacto que ha generado la actividad antropogenica sobre el acuífero colgado del Valle de San Luis Potosí. Concluyendo: La presencia de metales (Hg, Ag, Ba, Sr, Cd, Pb, Zn y Li) en la zona agrícola se asocia a sitios cercanos a canales abiertos derivados del antiguo Tanque Tenorio. Otra fuente de aporte de metales pesados lo constituye el transporte aéreo de partículas de la zona industrial.¹⁴

Sánchez Sánchez J., Álvarez Legorreta T., Pacheco Ávila J., González Herrera R., Carrillo Bribiezca L., realizaron el estudio sobre: “Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México”, cuyo objetivo fue identificar los procesos que controlan la evolución geoquímica de las aguas subterráneas en la zona sur del estado de Quintana, Roo, en los meses de Octubre y Noviembre del 2012. Metodología: Se muestrearon 53 pozos de abastecimiento con una profundidad promedio de 29 m. El orden abundancia de los cationes mayores fue $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+$ y la de los aniones mayores fue $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$. Los valores máximos y mínimos de los cationes y aniones permiten mostrar la heterogeneidad espacial del medio acuífero debido al cambio dinámico entre los diferentes procesos hidrogeoquímicos presentes en el área de estudio.¹⁵

Julián Soto J., (2010), en su investigación sobre: “La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias”, cuyo objetivo fue representar los porcentajes en volumen de los fluidos procedentes de la zona alta del valle de Etna y de los pozos que se ubican en la zona aledaña a la ribera del río Atoyac. Metodología: Se trató de encontrar la mejor mezcla óptima de 2 corrientes de agua, la primera proveniente de la zona alta del Valle de Etna

y que aproximadamente representa el 30% del gasto total de agua en los Valles Centrales; y la otra corriente proveniente de los pozos profundos y que se estima de un gasto de 70 % de un consumo total de 360,796 m³ / día para evitar la corrosión en tuberías y accesorios sanitarios de uso en casas habitación y otras; para tal fin. Se utilizó como materiales: dos garrafones de 19 litros, dos bombas masterflex, cables de corriente eléctrica, recipiente de plástico, válvulas de control, tuberías, kit para dureza total, potenciómetro, bidones de (19L) de PET para el muestreo y caracterización del agua. Concluyendo: se encontró concentraciones muy elevadas de calcio, magnesio y carbonatos en las aguas provenientes de pozos profundos que se ubican en la periferia del río Atoyac, a diferencia del agua que proviene de las partes altas del valle de Etna, donde se tienen durezas máximas de 140 ppm.¹⁶

Arnedo Pena A., Bellido Blasco J., Puig Barbera J., Artero Civera A., Baptista Campos J., Villa Marín Vásquez J., Felis Dauder C., (2007), en su estudio sobre: “Dureza del agua de consumo doméstico y prevalencia de eczema atópico en escolares de Castellón, España”, cuyo objetivo fue estudiar la asociación entre la prevalencia de eczema atópico (EA) y la dureza del agua de uso doméstico. El estudio ISAAC (International Study of Asthma and Allergies in Childhood) estimó la prevalencia de EA en seis localidades de Castellón, España, en escolares de 6-7 y 13-14 años durante 2002. Se establecieron tres zonas de <200 mg/L, 200-250 mg/L, y >300 mg/L según la dureza del agua doméstica de esas localidades. Concluyendo: La dureza del agua podría tener alguna importancia en el desarrollo de la enfermedad en los escolares de 6-7 años.¹⁷

Mesa J., Bravo A., Morales J., Sánchez L., Valle P., Gutiérrez H., Ledo H., (2007), realizaron el estudio sobre: “Contenido de metales trazas en aguas subterráneas de la región occidental del Lago de Maracaibo, Venezuela”, con el objetivo de determinación de los niveles de algunos elementos traza (Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn) en muestras de aguas subterráneas de la región occidental del Lago de Maracaibo, con el propósito de establecer los valores correspondientes para cada analito en esta localidad. La evaluación del contenido de estos metales permitirá además evaluar la calidad de las aguas subterráneas en estudio, estableciendo el riesgo potencial de su consumo y utilización en varias actividades humanas. De acuerdo a los resultados obtenidos y a las condiciones bajo las cuales se realizó el presente estudio,

se puede concluir que los acuíferos subterráneos evaluados presentan alteraciones en el contenido de algunos metales trazas, en especial de los elementos más tóxicos (Cd, Pb, V), que los vuelven de calidad dudosa. Esta situación promueve la búsqueda de las fuentes de contaminación, a fin de iniciar labores para proteger las zonas más vulnerables de la región Occidental del Lago de Maracaibo.¹⁸

Pérez Moreno F., Prieto García F., Rojas Hernández C., Galán Vidal C., Marmolejo Santillán Y., Romo Gómez C., Castañeda Ovando A., Rodríguez Ávila J., Barrado Esteban E., (2003), con la investigación: Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapan, Estado de Hidalgo, México se llevó a cabo la caracterización de las aguas subterráneas que abastecen al distribuidor general de agua de la ciudad de Zimapán Hidalgo, México y del propio distribuidor. Para ello se seleccionaron 11 puntos de estado de Hidalgo. México. Muestreo en los que se determinaron 28 parámetros fisicoquímicos de las aguas colectadas durante 10 muestreos distribuidos a lo largo de un año (marzo de 1999-marzo de 2000). De forma general, estas aguas presentaron propiedades fisicoquímicas normales clasificadas como aguas bicarbonatadas-cálcicas y bicarbonatadas-mixtas con bajos niveles de sulfatos, cloruros, sodio y potasio.¹⁹

Medina Escobedo M., Mussaret Zaidi M., Real de León E., Orozco Rivadeneira S., (2002), realizaron el estudio sobre: “Prevalencia y factores de riesgo en Yucatán, México, para litiasis urinaria” cuyo objetivo fue determinar la prevalencia de urolitiasis en el estado de Yucatán, México, y una posible asociación de esta con antecedentes familiares de la enfermedad y la dureza del agua. Los sujetos se clasificaron como litiasis definitiva (LD), litiasis probable (LP) y sin litiasis (SL). Se determinó dureza total, dureza de calcio y dureza de magnesio a las muestras de agua empleadas para el consumo humano. Concluyendo: La prevalencia de litiasis urinaria en Yucatán es mayor a lo reportado en la literatura nacional e internacional. La dureza extrema del agua empleada para el consumo humano y el antecedente familiar de la enfermedad son factores de riesgo que requieren investigaciones futuras.²⁰

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua

El agua es el elemento más abundante y común en la tierra, el agua es un compuesto químico muy estable que se forma a partir de la unión, mediante enlaces covalentes, de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; su fórmula molecular es H₂O.²¹

Químicamente es un compuesto formado por dos elementos, hidrógeno y oxígeno, ambos gaseosos en su estado libre, que cuando se combinan en proporción de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, origina el agua. Henry Cavendish descubrió en forma accidental, la composición química del agua en 1781. Cuando el hidrógeno y oxígeno se mezclan en forma gaseosa, estos elementos no se combinan. Entonces produjo la combustión del hidrógeno en presencia de oxígeno para que se produzca la combinación, así consiguió que el hidrógeno ardiera. Cavendish utilizó una bujía eléctrica dentro de un recipiente que presentaba ambos gases, obteniendo como resultado varias gotas de agua que se adhirieron a la pared del recipiente.²²

2.2.1.1. Ciclo Hidrológico

Se llama ciclo hidrológico a las etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y de la atmósfera a la tierra es decir el agua de los ríos, mares, lagunas y aguas continentales que se evapora, para luego condensarse en las nubes que luego desciende a través de las precipitaciones y forma la escorrentía superficial y subterránea. Dos aspectos importantes, esta última es más lenta que la superficial, es la precipitación que se infiltra hasta el nivel freático; que le confiere la característica de mantener el caudal más tiempo de los ríos, después de las precipitaciones. Además las aguas subterráneas se deben explotar con precaución porque si no hay presencia de precipitaciones o escorrentías no se almacenara el agua subterránea en los acuíferos.^{23,24}

2.2.2. Agua Subterránea

Las aguas subterráneas son el agua situada por debajo de la superficie del suelo en los espacios porosos del suelo y en las fracturas de las formaciones rocosas. Una unidad de roca o un depósito no consolidado se denomina Acuífero cuando se puede producir una cantidad de agua utilizable. La profundidad a la que los espacios de los poros del suelo o las fracturas y los vacíos en la roca a ser completamente saturados de agua se llama Capa freática.²⁵

Cuando las lluvias caen al suelo, una parte se infiltrara en la tierra, mientras que otra parte de estas aguas serán absorbidas por las raíces de las plantas, y lo restante se infiltrara más profundamente gracias a la gravedad. Eventualmente, esta agua infiltrada se acumulara encima de una capa impermeable, saturando los poros del suelo y formando un reservorio subterráneo.²⁵

La dureza del agua procede del contacto con el suelo y las formaciones rocosas en conclusión las aguas duras se forman en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y presenta formaciones de piedra caliza. Las aguas blandas se forman donde la capa superior del suelo es delgada y las formaciones de piedra caliza están ausentes o dispersas.²⁶

La percolación del agua a través del suelo le permite a esta mantener en contacto prolongado con los minerales que constituyen la corteza terrestre. En menor o mayor grado estos minerales son solubles a tal manera de aumentar el contenido mineral conforme se desplaza, hasta obtener un balance o equilibrio de las sustancias en solución.²⁶

La utilidad del agua se ve afectada por el contenido de minerales disueltos si uno o dos minerales exceden de la cantidad que puede tolerarse, debe aplicarse al agua algún tratamiento que elimine el mineral en exceso y transformarlo en agua apta para el propósito al que se le va a destinar.²⁷

En la naturaleza podemos encontrar aguas subterráneas en distintas formaciones geológicas como los acuíferos, los acuicludos y los acuitardos. Los primeros son formaciones geológicas que contienen agua y permiten su circulación con facilidad. Pueden estar formados por arenas, gravas o también granito o roca fracturada. En este sentido, los acuíferos son formaciones geológicas que almacenan, filtran y liberan agua, transmitiendo el agua de manera que puede ser aprovechada como recurso.²⁵

2.2.2.1. Utilización del Agua Subterránea en la Antigüedad

Los antiguos Persas construyeron pozos y túneles con la finalidad de obtener agua subterránea. Los primitivos egipcios y los chinos eran capaces de perforar agujeros con el propósito de obtener agua subterránea.²⁸

En el año 2100 antes de Jesucristo (II a. Dinastía), Mentuhotep declaró haber perforado 14 pozos con la ayuda de su ejército de 3,000 hombres. Posteriormente cuatro siglos después, Sanacharib ya utilizaba poleas para ascender agua de pozos.²⁸

La biblia nos habla de Moisés que toco con su varita una roca y emano un afluente de agua. Además José tuvo la habilidad de construir un pozo de 90 metros perforado en roca y este es el más conocido en El Cairo.²⁸

En el siglo XII se despertó el interés por perforar y no por excavar pozos. En 1833 se inició la construcción del pozo en Grenelle (cerca de Paris) que fue considerado el más profundo del mundo por tener una profundidad total de 548 metros concluido el año 1841. Este pozo apporto muchas experiencias en su construcción.²⁸

Con el pozo de Passy (Paris) la tecnología de la perforación a gran profundidad se inicia, finalizándose en el año 1857. Este pozo tiene un diámetro de 71 m. Cuya profundidad es de 586 m. De esta obra emano un caudal de 21.150 m³ dando 881 m³/hora.²⁸

Francia fue productiva la perforación de pozos, luego Inglaterra y Alemania siguieron la perforación profunda de pozos, brindando a los geólogos la oportunidad de examinar la corteza terrestre.²⁸

En Estados Unidos, se encuentra uno de los más antiguos pozos desde que se tiene memoria y uno de los primeros pozos en este país para abastecer de agua a la población. Es un agujero excavado a mano en San Agustín en la Florida.²⁸

2.2.2.2. Importancia del agua subterránea

El agua subterránea representa cerca del 97% del agua dulce del planeta, el agua de los ríos y lagos solo representa menos del 3%. El agua subterránea se puede aprovechar de los manantiales donde el agua brota de forma espontánea, sin embargo, la construcción de pozos para la extracción del agua subterránea es necesaria. Por tal motivo las aguas subterráneas se usan para la vida humana y las actividades económicas.²⁸

Cerca del 97 por ciento de la disponibilidad de agua dulce fluida de nuestro planeta representa 1, 230 kilómetros cúbicos de agua y se encuentran en el subsuelo. Además, el agua subterránea se ha venido acumulando a través de varios siglos, y gracia a las precipitaciones aumenta ligeramente su volumen cada año.²⁸

2.2.2.3. Ventajas del abastecimiento del agua subterránea

El agua subterránea además forma parte de la reserva de agua potable en caso de desastres naturales o de guerras. El agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua potable para consumo humano tiene las siguientes ventajas:

- La calidad es adecuada sin mucho tratamiento para su uso.
- El costo del recurso es mucho menor.²⁸

2.2.2.4. Formas de almacenamiento del agua subterránea en los acuíferos

Los acuíferos tienen la capacidad de almacenar grandes volúmenes de agua subterránea y además tienen la capacidad de poder transportarla. Además se presenta en forma de un solo cuerpo continuo o también en estratos separados.²⁸

Sin embargo los acuíferos no son iguales, ver **Figura 1**:

- (A) Los sedimentos granulares no consolidados, como la arena, contienen poros entre los granos y por consiguiente el contenido de agua puede exceder el 30% de su volumen total.
- (B) Aglutinaciones caso contrario a los sedimentos granulares no consolidados.
- (C) En rocas altamente compactas, el agua subterránea se encuentra en las fracturas, en proporción del 1% del volumen de la masa de roca.
- (D) En rocas calizas las fracturas se agrandan por solución para dar formación a las fisuras y cavernas.

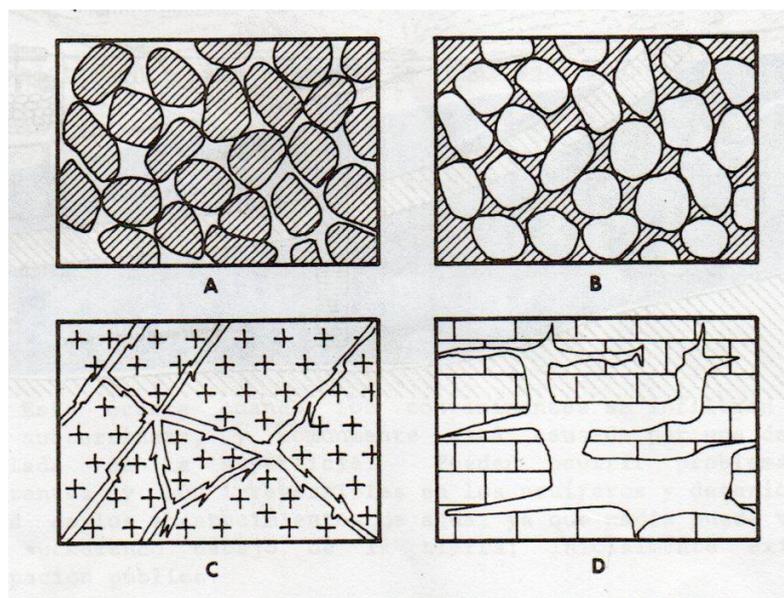


Figura 1: Formas del almacenamiento del agua subterránea en los acuíferos: (A) los sedimentos granulares no consolidados. (B) Aglutinaciones, (C) En rocas altamente compactas, (D) En rocas calizas

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Las aguas subterráneas un valioso recurso que requiere protección. Perú: Organización Mundial de la Salud; 1986. ²⁸

2.2.2.5. Protección del agua subterránea

Primer paso para la protección del agua subterránea es asegurarse que la contaminación no suceda para proteger el agua como recurso valioso, este principio se aprobó en una reunión de ministros en materia ambiental de la Comunidad Europea (La Haya, noviembre de 1991), por lo tanto se debe de disminuir las actividades que causen peligro a este recurso natural y consecuentemente disminuir el riesgo de que estos causen contaminación.²⁸

También es importante considerar la forma en la que el agua subterránea está presente dentro del acuífero. En un acuífero confinado, debajo de una capa gruesa de arcilla es relativamente impermeable, será menos vulnerable a la contaminación en comparación con un acuífero fracturado y libre, donde la roca es caliza fracturada.²⁸

Las diversas actividades que se pudieran realizar arriba de un acuífero fracturado y libre, presentan un riesgo de contaminación. La vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, se puede decidir las actividades que se podrán permitir en estas áreas particulares, así como también los requisitos que se imponga para reducir el riesgo que deriva de otras actividades.²⁸

2.2.2.6. El agua subterránea y los efectos del cambio climático

El cambio climático se caracterizará por presentar mayores precipitaciones y aumento de la temperatura, entonces nos hacemos la interrogante como va a influir esos factores en la generación del agua de lluvia que circula en la superficie terrestre y la infiltración del agua en los acuíferos que posean un nivel freático próximo a la superficie terrestre.²⁹

Además la demanda hídrica será mayor, debido al incremento de la temperatura, habrá mayor evaporación y por ende menor agua superficial subterránea, además habrá mayor evapotranspiración. Otro punto sería las crecientes precipitaciones más concentradas a lo largo del año y por ende mayor cantidad de agua que circule por la corteza terrestre produciéndose menor infiltración provocando menos agua superficial subterránea.²⁹

2.2.2.7. Uso regional del agua subterránea

En la región de Latinoamérica y el Caribe se ha incrementado en los últimos 20 años, la explotación del agua subterránea como consecuencia del crecimiento de la demanda de agua y la disminución en la calidad de muchos ríos debido al incremento de la carga de desagües y de los efluentes industriales y agrícolas.²⁸ **ver Figura 2**

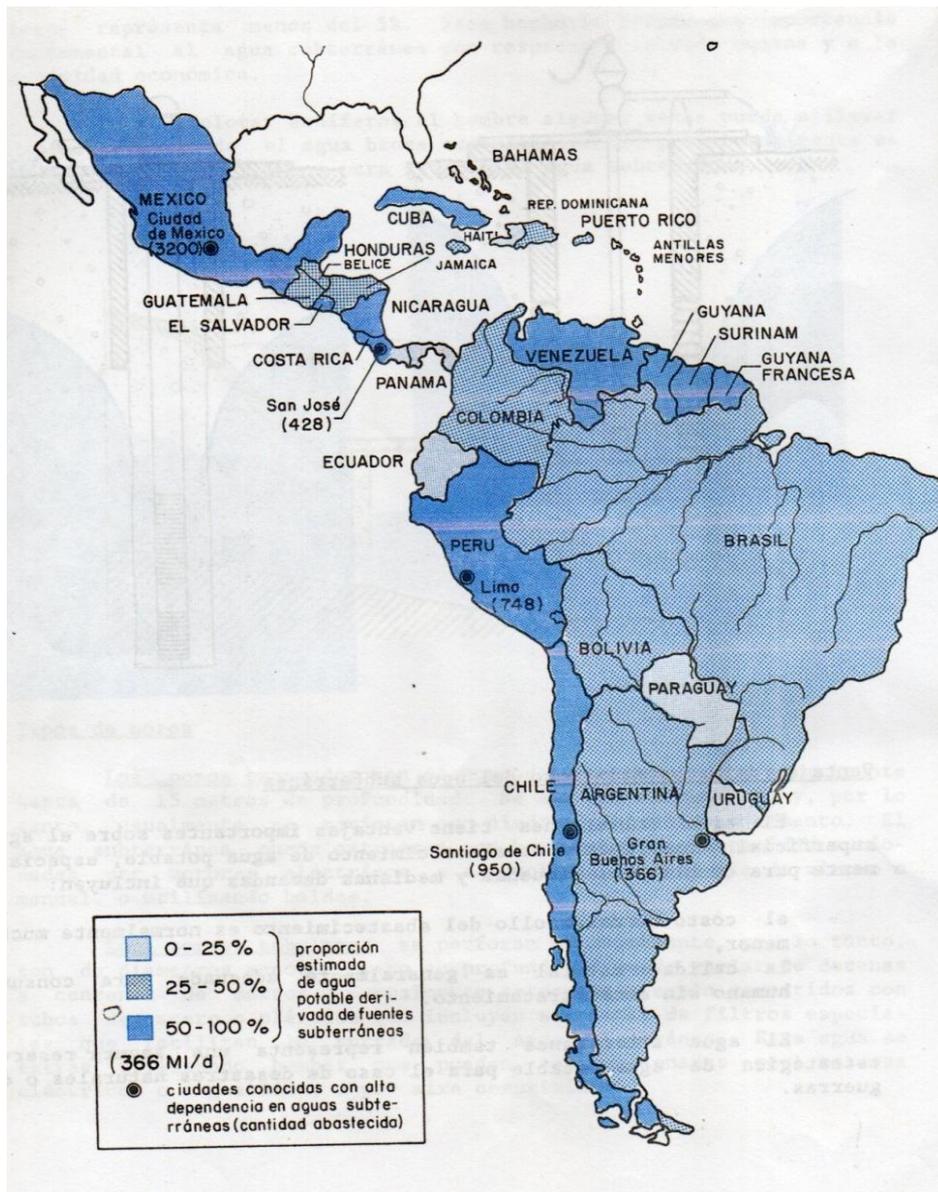


Figura 2: Uso regional del agua subterránea

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Las aguas subterráneas un valioso recurso que requiere protección. Perú: Organización Mundial de la Salud; 1986. ²⁸

2.2.2.8. Contaminación del agua subterránea

Se produce cuando los contaminantes se infiltran hasta las aguas subterráneas, causado principalmente por la liberación no controlada de contaminantes en la superficie de los acuíferos. Los daños pueden ser irreversibles y por lo tanto disminuiría la calidad del agua.²⁸

2.2.2.8.1. Contaminación del agua subterránea de origen urbano

Las aguas residuales domésticas y los desechos sólidos contienen altas concentraciones de organismos fecales, además de materia orgánica y de compuestos de nitrógeno. Si se infiltran al subsuelo, puede contaminarse el agua subterránea convirtiéndola en no potable.²⁸

- Cuando se urbaniza sin alcantarillado en acuíferos vulnerables
- Con napas freáticas poco profundas
- Con infiltración de aguas residuales y de ríos contaminados por descarga de desagües
- Con lixiviación de desechos domésticos

2.2.2.8.2. Contaminación del agua subterránea de origen industrial

Las industrias producen desechos líquidos a los que se les llama efluentes, que contienen altas concentraciones de compuestos orgánicos que son peligrosos y metales pesados. Dichas sustancias a mínimas concentraciones son tóxicas, carcinogénicas o mutagénicas. La minería es un caso especial de industria que puede interferir en la calidad del agua subterránea.²⁸

2.2.2.8.3. Contaminación del agua subterránea de origen agrícola

Las prácticas agrícolas ejercen una influencia sobre la calidad del agua subterránea que pueden causar problemas serios ya que su influencia es grande porque se realiza sobre áreas de recarga de acuíferos. La utilización de fertilizantes

químicos y pesticidas en las plantaciones y la irrigación excesiva que resulta en la lixiviación de sales, nutrientes y pesticidas. Además, la cría de ganado origina una descarga de efluentes que puede provocar la contaminación orgánica y significativa del agua subterránea.²⁸

2.2.3. Función del agua en el organismo humano

El agua cumple una función fisiológica dentro del organismo vivo la cual es imprescindible para la vida humana, las cantidades que requiere el cuerpo humano para subsistir es aproximadamente 2,50 litros por día en una persona activa y en un clima templado. El agua que ingresa al organismo a través de los alimentos y líquidos es eliminada por medio de la orina, transpiración y en una menor proporción por la heces y vapor de agua exhalado por los pulmones. Debe de existir un equilibrio entre el ingreso y salida del agua para el buen funcionamiento del organismo vivo.³⁰

Funciones del agua:

- Posibilita el transporte de nutrientes a las células
- Contribuye a la regulación de la temperatura corporal
- Colabora en el proceso digestivo
- Es el medio de disolución de todos los líquidos corporales.

2.2.4 Plomo

El plomo pertenece al grupo de elementos metálicos conocido como metal tóxico, es pesado de color azulado, que adquiere un color grisáceo cuando se moja. Es muy flexible, elástico y se funde con gran facilidad. El plomo rara vez se encuentra en su estado natural es común encontrarlo en forma de sulfuros.³¹

El plomo pertenece al grupo de los metales del bloque p. El número atómico del plomo es 82. El símbolo químico del plomo es Pb. El plomo es también una sustancia oxidante por lo que puede afectar diferentes órganos del cuerpo produciendo estrés oxidativo. En el tracto reproductivo, se ha demostrado un efecto negativo en la espermatogénesis³²

2.2.4.1. Fuentes de exposición

En el trabajo de la industria metalurgia donde sueldan, pulen o reciclan objetos de plomo o con aleación de este metal, en la industria del vidrio, pinturas, petroquímicas, cerámica, plásticos, imprentas, en la fabricación de baterías, productos químicos; exposición ambiental en estos lugares. Por contaminación de aguas donde pasa el agua por tuberías de plomo o por mantener los alimentos en contacto con recipientes de cerámica vidriada o pintura con plomo; el maquillaje con plomo de los artistas de circo o teatro. La toxicidad de los alimentos con restos de plomo aumenta cuando tiene reacción acida que facilita la disolución del metal.³³

2.2.4.2. Toxicocinética

Las vías: respiratoria y la digestiva son las principales vías de entrada del plomo inorgánico al organismo humano. Con la absorción del 30 y 10% respectivamente. Luego en el organismo se distribuye unido a los eritrocitos acumulándose en el hueso, riñón, hígado, musculo y cerebro.³³

Los compuestos orgánicos son biotransformados y como mecanismo defensivo, se forman inclusiones intranucleares, la eliminación se lleva a cabo de forma renal (76%) y gastrointestinal, pero también por pelos, uñas y leche. Su vida media es de cinco años.³³

2.2.4.3. Toxicodinámica

El plomo altera numerosas vías metabólicas, por su capacidad de producir complejos, por unión a grupos sulfhídrico, carboxílicos y fosfatos, además interactúa con metales esenciales, inhibe la ATPasa, la síntesis de ADN, ARN y proteínas, el consumo de glucosa y la respiración celular. Además interfiere en numerosos procesos neuronales.³³

En el Saturnismo se produce anemia debido a la crisis hemolítica, que destruyen los hematíes, como la inhibición de la

síntesis del grupo hemo de la hemoglobina y a la alteración del metabolismo de las porfirinas, con acumulación de metabolitos tóxicos.³³

2.2.4.4. Clínica en intoxicación aguda

Las formas organometálicas del plomo causan mayor toxicidad aguda, tras la ingestión de plomo son frecuentes los síntomas gastrointestinales, como irritación de mucosas digestivas, náuseas, vómitos blanquecinos por formación de cloruro de plomo, diarrea negruzcas, por formación de sulfuro plúmbico o, bien melenicas por hemorragias gastrointestinales. Las diarreas son seguidas por estreñimiento. Además, puede originar anemia, por la existencia de crisis hemolíticas. El daño hepático e insuficiencia renal aguda con necrosis de los túbulos proximales, aminoaciduria, glucosuria y fosfaturia. Puede producirse también daño cerebral permanente, convulsiones, trastornos cardiorrespiratorios, bradicardia, colapso y muerte por parálisis cardíaca.³³

2.2.4.5. Clínica en intoxicación crónica

La intoxicación crónica se llama Saturnismo que se caracteriza por anorexia, debilidad y pérdida de peso. Predomina el cólico saturnino, que es un cuadro de abdomen agudo, con dolor intenso y difuso, abdomen retraído y estreñimiento.³³

Los pacientes manifiestan un sabor metálico en la boca, por el paso del plomo a la saliva. Algunas personas presentan el típico ribete de Burton que es producto de la precipitación de sulfuro de plomo, creando una pigmentación grisácea en el borde gingival de los dientes.³³

Predomina la anemia y el punteado en los basófilo de los glóbulos rojos por el depósito de ácidos nucleicos. La nefropatía tubular reversible se presenta en niños mas no en adultos, porque se destruye en forma progresiva las células tubulares renales, y una nefropatía intersticial irreversible que se produce solo en adultos.³³

El plomo y sus compuestos son neurotóxicos que afectan al sistema nervioso central y al sistema nervioso periférico. La encefalopatía plúmbica predomina en niños y se manifiesta con irritación, cefaleas persistentes, insomnio, alteración de la memoria y del carácter, llegando hasta convulsiones, estupor, coma y muerte.³³

Se produce hipertensión craneana y neuritis óptica. La alteración periférica del sistema nervioso se manifiesta en forma de polineuritis, con parestesias y parálisis, principalmente de los nervios peroneos laterales y radiales. Existe dolor en músculos y articulaciones por acumulo de plomo en los huesos. A veces también afectan el sistema hormonal como la tiroidea y corticoideas, etc. En niños puede producir disminución de la estatura por disminución de secreción de la hormona del crecimiento.³³

Las evidencias de estudios toxicológicos, epidemiológicos, bioquímicos y fisiológicos, demuestran que el plomo tiene efectos adversos en la salud humana de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a diferentes concentraciones pudiendo causar infertilidad masculina.³³

2.2.5. Dureza Cálcica

El término dureza se refiere al contenido total de iones alcalinotérreos que hay en el agua. Como la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} , es normalmente, mucho mayor que la del resto de iones alcalinotérreos, la dureza es

prácticamente igual a la suma de las concentraciones de estos dos iones. La dureza, por lo general, se expresa como el número equivalente de miligramos de carbonato de calcio (CaCO_3) por litro. Es decir, si la concentración total de Ca^{2+} y Mg^{2+} es 1 mM, se dice que la dureza es 100 mg L^{-1} de CaCO_3 ($= 1 \text{ mM}$ de CaCO_3). Un agua de dureza inferior a 60 mg L^{-1} de CaCO_3 se considera blanda. Si la dureza es superior a 270 mg L^{-1} de CaCO_3 , el agua se considera dura. La dureza específica indica la concentración individual de cada ion alcalinotérreo.³⁴

“Los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} se combinan fácilmente con los carbonatos y bicarbonatos (dureza temporal) y con los sulfatos, cloruros y otros aniones de ácidos minerales, de lo cual resulta la dureza permanente. La dureza por carbonatos puede ser removida por calentamiento: se usa la precipitación del CaCO_3 y la fracción de Ca^{+2} y Mg^{+2} queda en solución como sulfatos, cloruros y nitratos. Después del calentamiento constituyen la dureza residual, no debida a carbonatos”.³³ La dureza del agua se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua.³⁵

La variación de dureza de las agua varía de acuerdo al lugar donde se encuentre. En general, las aguas superficiales son más blandas que las aguas profundas. El agua dura refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto. La piedra caliza (CaCO_3) y la dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{Mg CO}_3$), se encuentra dispersa en la superficie de la tierra, con frecuencia ingresan a los acuíferos. El carbonato de calcio es insoluble en agua, en presencia del dióxido de carbono disuelto (atmósfera), el carbonato de calcio se transforma en bicarbonato de calcio soluble ($\text{Ca (HCO}_3)_2$).³⁵

El agua dura posee una alta concentración de minerales, el agua blanda posee un bajo contenido. En lugares donde hay agua dura se dificulta la formación de espuma con el jabón en el baño o al hacer labores cotidianas de limpieza, También debido al contenido de dureza alta en el agua se encuentran depósitos minerales en bañeras, utensilios de cocina o anillos de jabón insolubles en las superficies.³⁶

Estos son signos que el agua es dura. El agua dura que contiene altos niveles de calcio, hierro o magnesio no constituyen ningún riesgo para la salud, a menos que se encuentren en muy altas concentraciones, causando reacciones químicas que dejan depósitos de minerales insolubles formando costras duras, los que pueden bloquear las tuberías y reduce la vida útil de prácticamente todos los aparatos que se utilizan en el hogar, especialmente aquellos que usan agua caliente como ollas y jarras hervidoras de agua.³⁶

2.2.5.1. Causa y fuente de dureza

La dureza es causada por cationes metálicos polivalentes, **tabla 1** muestra los principales cationes que causan la dureza del agua y los principales aniones asociados a ellos. Estos iones pueden reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar costras. Los principales cationes causantes de dureza son los iones bivalentes de calcio, magnesio, estroncio, hierro ferroso e ion manganoso.⁷

| Cationes que causan dureza | Aniones |
|----------------------------|--------------|
| Ca^{2+} | HCO_3^- |
| Mg^{2+} | SO_4^{2-} |
| Sr^{2+} | Cl^- |
| Fe^{2+} | NO_3^- |
| Mn^{2+} | SiO_2^{2-} |

Tabla 1: Principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos

Fuente: Blasco J. Análisis de aguas y desagües.⁷

El agua dura se debe principalmente al contacto con el suelo y las formaciones rocosas. El agua de la lluvia al caer sobre la superficie terrestre no es suficiente para disolver las excesivas cantidades de sólidos que se encuentra en las aguas naturales. El suelo posee la capacidad disolvente donde la acción bacteriana libera dióxido de carbono y esta agua queda muy cargada de dióxido de carbono, el cual, desde luego, está en equilibrio con el ácido carbónico.³⁶

La condición del bajo pH inducido por el dióxido de carbono es la que disuelve los materiales básicos, en especial las formaciones de piedra caliza. La figura 3 muestra las zonas donde se origina el dióxido de carbono y la forma en que ataca los carbonatos insolubles en el suelo y en las incrustaciones de piedra caliza para convertirlos en bicarbonatos solubles. La piedra caliza aparte de no ser carbonato puro sino que contiene impurezas como sulfatos, cloruros y silicatos, estos materiales quedan expuestos a la acción solvente del agua a medida que los carbonatos se disuelven, y también pasan a la solución.³⁶

La dureza del agua está controlada, principalmente, por factores geológicos. Las fuentes minerales principales de la dureza provienen del suelo y de acuerdo a la composición de éste, el agua será más o menos dura. Las aguas duras, aguas con elevado contenido de calcio y magnesio, se asocian con cuencas de captación de rocas sedimentarias, de las cuales las más comunes son las de piedra caliza y creta. Las aguas blandas, aguas con bajo contenido de calcio y magnesio, suelen haber estado en contacto con rocas impermeables como el granito. Las aguas superficiales en general, suelen ser más blandas que las aguas subterráneas.³⁶

En conclusión las aguas duras se originan en áreas donde la capa superior del suelo es grueso y contiene formaciones de piedra caliza. Las aguas blandas se forman donde la capa superior del suelo es delgada y las formaciones de piedra caliza están dispersas o ausentes.³⁶



Figura 3: Fuente de dióxido de carbono y la solución de sustancias que causan

Fuente: Sawyer C, Mc Carty P, Parkin G. Química para ingeniería ambiental. 2001.²⁵

2.2.5.2. Inconvenientes de la dureza de las aguas

- La formación de incrustaciones a la temperatura ambiente, en tuberías y ductos, llegando a obturarlos o cancelarlos.
- La formación de incrustaciones en las tuberías de las calderas de agua caliente o de generación de vapor, alterando las características de conductividad térmica y provocando peligrosos sobrecalentamientos con la producción de dilataciones y de esfuerzos mecánicos impropios.
- La formación de jabones insolubles, de calcio y magnesio, sin propiedad detergentes, esto implica mayor consumo inusual del jabón en el lavado y aseo personal. Además, la degradación de esos jabones insolubles sobre las telas u objetos traerá la disminución de su durabilidad.
- En las operaciones y productos industriales en los que el exceso de Ca y Mg constituyen serios inconvenientes, afectando los acabados o inhibiendo o alterando las reacciones.

- Fisiológicamente, los excesos de magnesio (mayores de 125 ppm. En términos del ion Mg ++) puede tener cierto efecto catártico sobre la salud del hombre. 25

2.2.6. Historia de Caja de Agua

Entre Octubre de 1965 hasta Junio de 1966, se inició la migración a las urbanizaciones del distrito de San Juan de Lurigancho: Caja de Agua, Chacarilla de Otero y Canto Chico. La gente de Canta Gallo migraba a dichas urbanizaciones Chacarilla de Otero y especialmente a Caja de Agua ya que poseía todos sus servicios: agua, desagüe, luz, pistas y veredas.³⁷

La plaza de Acho estuvo ocupada por la barriada Canto Gallo que fue desalojada para la construcción de la Vía de Evitamiento, esto ocurrió durante el gobierno del Arquitecto Fernando Belaunde Terri, quien daba facilidades para la compra del terreno en Caja de Agua. Al surgir nuevas necesidades que satisfacer debido al aumento de la población, el distrito ira transformándose gracias al esfuerzo y trabajo y compromiso de los vecinos.³⁷

Se formó la Asociación de Pobladores APUPCA que hoy tiene más de 50 años de fundación. Además una particularidad es que se formó la primera parroquia San Juan Bautista, actualmente lo conforman 13 parroquias en esta zona.³⁷

El agua provenía de 2 pozos subterráneos, la gente podía poner el oído en el suelo y lograba escuchar el movimiento del agua. Además, brotaba manantiales brindando agua cristalina para el consumo humano, que con el transcurrir del tiempo la población creó la leyenda que las aguas eran curativas, actualmente un pozo está seco y el otro sigue en producción.³⁷

Se organizaron la construcción de los colegios con los materiales que ponía el Estado. Los colegios más antiguos que la población construyó son: Cesar Vallejo y Javier de Heraud, **ver figura 6.** Mapa de Caja de Agua.³⁷

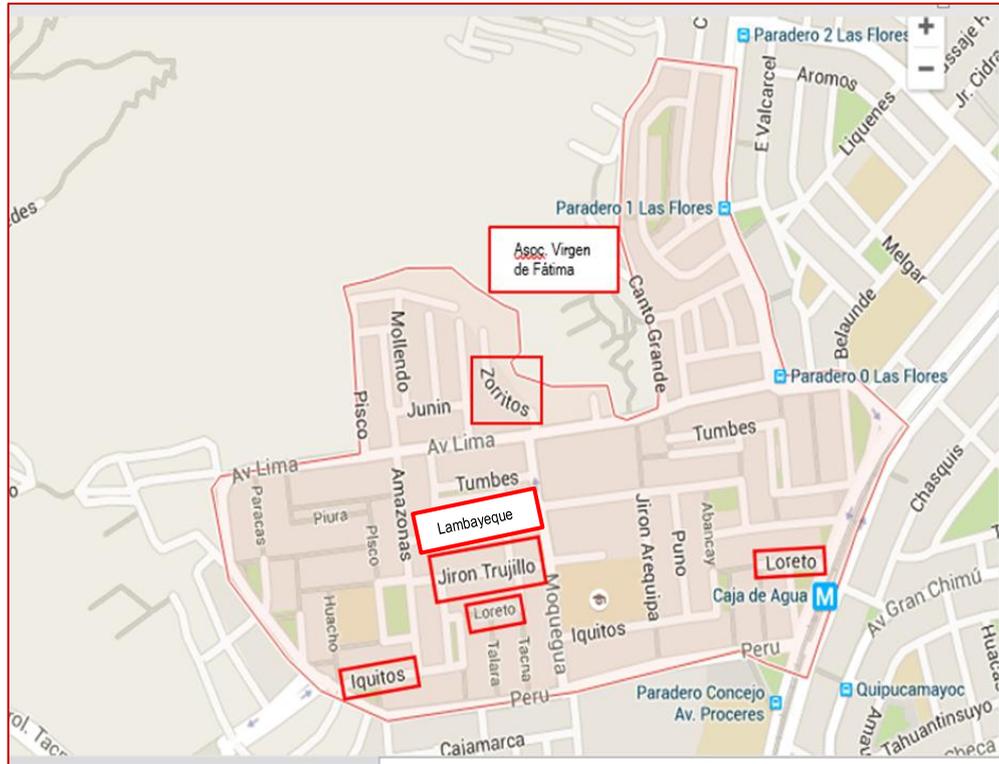


Figura 4.: Caja de Agua distrito de San Juan de Lurigancho

Fuente: Caja de Agua, distrito de San Juan de Lurigancho.³⁸

2.2.7. Normativa sobre Plomo y Dureza Cálctica en aguas de Consumo Humano

2.2.7.1. Antecedentes de la Normativa Vigente

La calidad del agua potable es de gran importancia para la salud de la población, por tal motivo la mayoría de los países tienen legislaciones internas relacionadas con las aguas de consumo humano. Cuyas normas sirven para determinar la responsabilidad de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable.⁴¹

Cada país cuenta con reglamentaciones que rigen el agua potable y los patrones que se deben seguir para que el agua sea inocua para la salud humana. En nuestro país en el año 2000 la Dirección General de Salud Ambiental, asume la tarea de elaborar el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA, se vio finalmente culminada el 26 de setiembre de 2010.³⁹

Donde se establece qué sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles que no significan riesgo para la salud, Todos los países que establecen este tipo de normas nacionales utilizan como parámetro principal de comparación las Guías de la OMS para la Calidad del Agua Potable.³⁹

Es necesario aclarar que en algunos países no existe una directriz para la dureza, el calcio o el magnesio. Esto se puede explicar porque no existen suficientes estudios relativos a los efectos de esta sustancia en el organismo y, por tanto, no es posible definir un valor límite. Neira⁴⁰ hizo una publicación sobre La dureza, el calcio y el magnesio y se agrupan entre las sustancias que pueden producir quejas en los usuarios del agua potable. La dureza particularmente puede causar incrustaciones, formación de costras (mayor a 200 mg/L) o posibles corrosiones en el sistema de distribución (menor a 100 mg/L).

2.2.8. Reglamento de la calidad del Agua para Consumo Humano – DS N° 031-2010-SA – Lima. Perú. Ministerio de Salud

Este reglamento, a través de sus 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias y finales y 5 anexos; no solo establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos, se refiere; sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la DIGESA, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.⁴⁰

Queda pues ahora el compromiso y la responsabilidad de cada uno de los trabajadores del sector Salud, para desarrollar acciones en forma conjunta y multisectorialmente, a efectos de poder implementar en los plazos previstos, este nuevo reglamento, para bien de la salud de nuestras poblaciones, que son el fin de nuestro trabajo.⁴⁰

2.2.8.1. Requisitos de calidad del agua para consumo humano

Artículo 61°.- Parámetros de calidad organoléptica

El noventa por ciento (90%) de las muestras tomadas en la red de distribución en cada monitoreo establecido en el plan de control, correspondientes a los parámetros químicos que afectan la calidad estética y organoléptica del agua para consumo humano, no deben exceder las concentraciones o valores señalados en el Anexo I. Del diez por ciento (10%) restante, el proveedor evaluará las causas que originaron el incumplimiento y tomará medidas para cumplir con los valores establecidos en el presente Reglamento.⁴⁰

Artículo 62°.- Parámetros inorgánicos y orgánicos

Toda agua destinada para el consumo humano no deberá exceder los límites máximos permisibles para los parámetros inorgánicos y orgánicos señalados en el Anexo II del presente Reglamento.⁴⁰

2.2.9. Guías para la Calidad del Agua Potable sobre el plomo y dureza del agua según la Organización Mundial de la Salud.

Plomo

Plomo La corrosión del plomo es un problema particularmente importante. Todavía hay, en algunos países, muchas casas antiguas con fontanería de plomo y se han utilizado muchas soldaduras de plomo para unir tuberías de cobre. La solubilidad del plomo está dirigida por la formación de precipitados de carbonatos de plomo en las tuberías. Siempre que sea factible, las tuberías de plomo deben sustituirse por tuberías de otros materiales. La solubilidad del plomo aumenta pronunciadamente al reducirse el pH hasta valores menores que 8 debido a la acusada disminución de la concentración de carbonatos de equilibrio. Por consiguiente, la capacidad del agua de disolver el plomo (plumbosolvency) alcanza valores máximos en aguas con pH bajo y alcalinidad baja, de modo que un procedimiento de control provisional útil, en tanto no se cambien las tuberías de plomo, es aumentar el pH hasta un valor de 8,0 a 8,5 tras la cloración y, posiblemente, añadir ortofosfato.³

La corrosión del plomo puede ser más rápida en presencia de cobre. La velocidad de esta corrosión galvánica es mayor que la de la simple corrosión por oxidación, y las concentraciones de plomo no están limitadas por la solubilidad de los productos de corrosión. La velocidad de la corrosión galvánica depende principalmente de la concentración de cloruro. La corrosión galvánica es más difícil de controlar, pero puede reducirse añadiendo cinc y ortofosfato, y ajustando el pH. El tratamiento para reducir la capacidad del agua de disolver el plomo consiste habitualmente en ajustar el pH. Cuando el agua es muy blanda (menos de 50 mg/l de carbonato cálcico), el pH óptimo es alrededor de 8,0 a 8,5. Por el contrario, la adición de ácido ortofosfórico o de ortofosfato sódico puede ser más eficaz, particularmente para combatir la disolución del plomo en aguas no ácidas.³

Valor de referencia correspondiente a sustancias químicas usadas en el tratamiento del agua o procedente de materiales en contacto con el agua cuya presencia en el agua de consumo puede afectar a la salud Valor de referencia para el plomo 0.010 mg/L.³

Dureza

La dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disuelto. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato cálcico.³

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las Normas Internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 y 1963 no hicieron referencia a la dureza. Las Normas internacionales de 1971 señalaron que el grado máximo permisible de dureza del agua de consumo era de 10 mEq/L (500 mg de carbonato cálcico por litro), basado en la aceptabilidad del agua para uso doméstico. La primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, concluyó que no existían pruebas sólidas de que el consumo de agua dura provocara efectos adversos en la salud de las personas y que, por tanto, no era necesaria ninguna recomendación relativa a la restricción del ablandamiento de las aguas municipales ni al mantenimiento de una concentración residual mínima de calcio o magnesio. Se estableció el valor

de referencia de 500 mg/L (como carbonato cálcico) para la dureza, basado en consideraciones sobre el sabor y el uso doméstico. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza aunque, si esta se encontraba por encima de 200 mg/L aproximadamente, podía provocar la formación de incrustaciones en el sistema de distribución. La aceptabilidad por parte de la población del grado de dureza puede variar considerablemente de una comunidad a otra, según las consideraciones locales; los consumidores toleran, en algunos casos, el sabor del agua con una dureza mayor que 500 mg/L.³

III. METODOLOGIA DEL TRABAJO

3.1. Tipo de Investigación

Descriptivo, observacional, transversal y prospectivo.

3.2. Muestra

Se realizó la recolección de manera aleatoria dentro de la zona de Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho, durante los meses de febrero y marzo del 2017, para esto se recolectó agua para consumo humano en 21 frascos de polietileno de 500 mL, tomados de las viviendas.

3.3. Método analítico

Para la determinación de plomo y dureza cálcica se utilizaron los métodos de espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito

Fundamento del Método

La espectrofotometría de absorción atómica se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos libres en su estado fundamental. Para que esto ocurra la muestra pasa por un proceso de atomización electrotermia utilizando una resistencia eléctrica. Estos átomos libres formados a partir de un estado energético inferior que otro superior, absorben una radiación de energía de onda específica emitida por una lámpara que contiene un cátodo y la diferencia entre energía incidente y la transmitida se recoge en un detector, permitiendo realizar la determinación cuantitativa del elemento.⁴¹

3.4. Técnicas, instrumentos

Técnica:

Para el análisis de plomo total mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

Instrumentos:

- Balanza analítica, de sensibilidad igual o mayor a 0,1 mg.
- Campana, con sistema de extracción de gases.
- Plancha calefactora, con regulación de temperatura o digestor microondas

- Material de uso habitual en laboratorio, vasos de precipitado, matraces, pipetas y otros.

3.5. Procedimiento de Recolección de Datos

Obtención de muestras

Se usaron 21 envases estables de polietileno, con capacidad de 500 mL, lavados, químicamente primeramente con detergente, seguido de dos enjuagues con agua corriente en forma abundante, luego con ácido nítrico 0,2M y finalmente con agua desionizada y secado posteriormente.

Antes de coger la muestra se enjuagaron los frascos por lo menos dos veces con agua de muestra. La muestras fueron obtenidas aleatoriamente directamente del caño en la zona de Caja de Agua–San Juan de Lurigancho y posteriormente almacenadas en un cooler para su respectiva conservación y transporte a una temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. El análisis se realizó en el Laboratorio de Agua, suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina

Determinación de plomo por Espectrofotometría de Absorción atómica:

- Se Transfirió 200 mL. de la muestra a un vaso de precipitado de 250 mL.
- Adicionar 5 mL. de HNO_3 calentar en plancha calefactora hasta desprendimiento de vapores rojizos. Continuar el calentamiento a temperatura controlada hasta asegurarse el desprendimiento del exceso de HNO_3 (estado pastoso). Evitar que la muestra se seque.
- Enfriar y disgregar las sales con 2,5 mL. de HCl .
- Transferir cuantitativamente a un matraz aforado de 25 mL. y aforar con agua para análisis grado reactivo exenta de Pb.
- Llevar junto a las muestras, por cada set de análisis, un blanco reactivo con la cantidad de ácidos y agua utilizados en el análisis de las muestras
- Llevar, por cada set de análisis, un estándar a través de toda la marcha analítica a fin de evaluar la recuperabilidad, en el procedimiento.⁴²

Determinación de Calcio por Espectrofotometría de Absorción Atómica:

- Preparar varias disoluciones de Ca, entre 1 y 5 ppm, en matraces de 50 mL, conteniendo todas ellas un 0,25% de Lantano. Para este fin utilizar una disolución intermedia de calcio de 50 ppm, preparada a partir de la de 500 ppm. Enrasar con agua libre de Ca. Preparar un blanco de la misma forma.
- En un matraz de 50 mL. pipetear 4 mL. de agua del grifo, los volúmenes necesarios de disolución de Lantano para que al final la concentración de los mismos sea la misma que en los patrones y completar hasta el enrase con agua libre de Calcio. Preparar tres réplicas.
- Encender el espectrofotómetro de Absorción atómica e introducir los parámetros de trabajo para medir en condiciones óptimas, ajustar el cero de absorbancia con agua libre de Calcio. Aspirar las disoluciones patrón y la muestra problema, y medir sus absorbancias.⁴²

Determinación de Magnesio por Espectrofotometría de Absorción Atómica:

- En matraces de 50 mL. y a partir de una disolución de 10 ppm de Mg preparar varias disoluciones patrón de este metal, entre 0,1 y 0,5 ppm, de igual forma que con el calcio. Preparar así mismo un blanco.
- En un matraz de 50 mL. pipetear 1 mL. de agua de grifo, añadir la disolución de Lantano y a continuación enrasar con agua libre de magnesio. Preparar tres réplicas.
- Después de colocar la lámpara de Mg en el espectrofotómetro y una vez establecido las condiciones óptimas medir las absorbancias de los patrones y de la muestra problema, después de ajustar el cero de absorbancia con agua libre de magnesio.⁴²

Conversión de resultados

| Calcio | Magnesio |
|--|---|
| Equipo lectura: X | Equipo lectura: Z |
| Dilución: Y | Dilución: W |
| $\frac{\text{meq Ca}}{\text{L}} = \frac{\text{XY}}{20} = A$ | $\frac{\text{meq Mg}}{\text{L}} = \frac{\text{ZW}}{12} = B$ |
| Dureza Cálctica $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-3} = [(A (20) (2,5) + B (12) (4,12))] \times (10)$ | |

Tabla 2: Conversión de resultados a dureza cálcica.

Fuente: APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Mary Ann H Franson.⁴²

3.6. Materiales, Equipos y Reactivos

Materiales

- 21 frascos de policarbonato de capacidad de 500 mL. con sus respectivas tapas y contratapas.
- Cooler: marca Rubbermaid
- Pipetas de 5 y 10 mL.
- Vasos de precipitado 250 mL
- Balanza analítica: marca Sartorius
- Bagueta
- Matraz de 50 mL.
- Fiolas 250 mL.

Equipo utilizado

- Equipo de absorción atómica Analytik Jena AG NovAA 300 s/n: BU3150169 con horno de grafito.

Reactivos:

Reactivos Todos los reactivos deben ser de calidad para análisis.

- Plomo – solución patrón – Laboratorio: Merck KGaA – Lote: HC43285076
- Plomo standard solution – Laboratorio: Merck KGaA – Lote: HC43285075

- Ácido clorhídrico, HCl 36,5-38,0% - Laboratorio: Merck KGaA – Lote: UN 1789
- Magnesium estándar solution Laboratorio: Merck KGaA – Lote: HCA2991788
- Calcium estándar solution Laboratorio: Merck KGaA – Lote: HCA1977805
- Lanthanum Laboratorio: Merck KGaA – Lote: S7103319615

IV. RESULTADOS

Tabla 3: Resultado General de la medición de plomo y dureza cálcica en agua de consumo humano de Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. Febrero - Marzo 2017.

| Muestra | Procedencia | [] de plomo mg Pb/L | V.M.P mg Pb/L | [] de dureza cálcica en mg CaCO ₃ /L | V.M.P mg CaCO ₃ /L |
|---------|--------------------------------------|-------------------------|---------------|---|-------------------------------|
| M-1 | Iquitos – 456 | 0,018 | 0,01 | 645,25 | 500 |
| M-2 | Iquitos – 459 | 0,011 | 0,01 | 163,45 | 500 |
| M-3 | Iquitos – 201 | 0,019 | 0,01 | 656,00 | 500 |
| M-4 | Iquitos – 249 | 0,005 | 0,01 | 837,75 | 500 |
| M-5 | Lambayeque – 174 | 0,006 | 0,01 | 1173,25 | 500 |
| M-6 | Trujillo – 157 | 0,008 | 0,01 | 954,25 | 500 |
| M-7 | Trujillo – 129 | 0,015 | 0,01 | 1133,75 | 500 |
| M-8 | Zorritos – 333 | < 0,001 | 0,01 | 181,85 | 500 |
| M-9 | Zorritos – 399 | < 0,001 | 0,01 | 104,25 | 500 |
| M-10 | Zorritos – 325 | < 0,001 | 0,01 | 167,13 | 500 |
| M-11 | Loreto – 431 | < 0,001 | 0,01 | 153,43 | 500 |
| M-12 | Loreto – 455 | < 0,001 | 0,01 | 159,38 | 500 |
| M-13 | Loreto – 471 | < 0,001 | 0,01 | 158,18 | 500 |
| M-14 | Loreto – 491 | < 0,001 | 0,01 | 133,70 | 500 |
| M-15 | As. Virgen de Fátima Mz. E Lte. 1 | < 0,001 | 0,01 | 175,05 | 500 |
| M-16 | As. Virgen de Fátima Mz. E Lte. 2 | < 0,001 | 0,01 | 153,60 | 500 |
| M-17 | As. Virgen de Fátima Mz. L Lte. 5 | < 0,001 | 0,01 | 166,88 | 500 |
| M-18 | As. Virgen de Fátima Mz. G Lte. 4 | < 0,001 | 0,01 | 177,48 | 500 |
| M-19 | As. Virgen de Fátima Mz. F Lte. 4 | < 0,001 | 0,01 | 154,63 | 500 |
| M-20 | As. Virgen de Fátima Mz. S Lte. 6 | < 0,001 | 0,01 | 196,15 | 500 |
| M-21 | As. Virgen de Fátima Mz. T Lte. 5 | < 0,001 | 0,01 | 142,75 | 500 |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017

Concentración de plomo mg Pb/L, valor máximo permisible mg Pb/L según Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA. Perú

Concentración de Dureza Cálcica mg CaCO₃/L, valor máximo permisible mg CaCO₃/L según Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA. Perú.

Tabla 4: Evaluación estadística de plomo y dureza cálcica en agua apta para Consumo Humano de la zona de Caja de Agua, distrito de San Juan de Lurigancho. Febrero-Marzo 2017

| | N | Media | Desviación típ. | Mínimo | Máximo | Coef. Variación | 95% Intervalo de confianza | |
|--|----|--------|--------------------|--------|---------|--------------------|-------------------------------|----------|
| | | | | | | | Inferior | Superior |
| Concentración de Plomo mg Pb/L | 21 | 0,0046 | 0,0060 | 0,001 | 0,019 | 132% | 0,0018 | 0,0073 |
| Dureza Cálcica mg CaCO ₃ /L | 21 | 370,86 | 361,90 | 104,25 | 1173,25 | 98% | 206,13 | 535,60 |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

La Tabla 4: Podemos observar que la concentración promedio de plomo en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho es de 0,0046 mg Pb/L, con un desviación estándar de 0,006 mg Pb/L; La distribución de la concentración de plomo es heterogénea (132,26%); encontrándose valores observados en la muestra de 0,001 a 0,019 mg Pb/L. La tabla también indica que la concentración estimada de promedio de plomo en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho esta entre 0,0018 y 0,0073 mg Pb/L con un nivel de confianza del 95%

También podemos observar que la dureza cálcica promedio en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho es igual a 370,86 mg CaCO₃/L, con un desviación estándar de 361,90 mg CaCO₃/L; La distribución de la dureza cálcica es heterogénea (C.V = 97,58%); observándose valores muestrales entre 104,25 y 1173,25 mg CaCO₃/L. También se muestra que la dureza cálcica promedio estimada en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho esta entre 206,13 y 535,60 mg CaCO₃/L.

Tabla 5: Distribución de la concentración de Plomo en agua en Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. Febrero - Marzo 2017

| Concentración de Plomo | | | |
|------------------------|-----------------------|------------|------------|
| Nivel | mg Pb L ⁻¹ | Frecuencia | Porcentaje |
| Normal | 0,001-0,005 | 15 | 71,4% |
| Normal | 0,006-0,010 | 2 | 9,5% |
| Supera valor | 0,011-0,015 | 2 | 9,5% |
| Supera valor | 0,016-0,020 | 2 | 9,5% |
| Total | | 21 | 100% |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

La Tabla 5: presenta los valores hallados en la tabla 3 agrupados en 4 grupos, las dos primeras con valores normales y las dos últimas con valores superiores a la concentración máximo permitida.

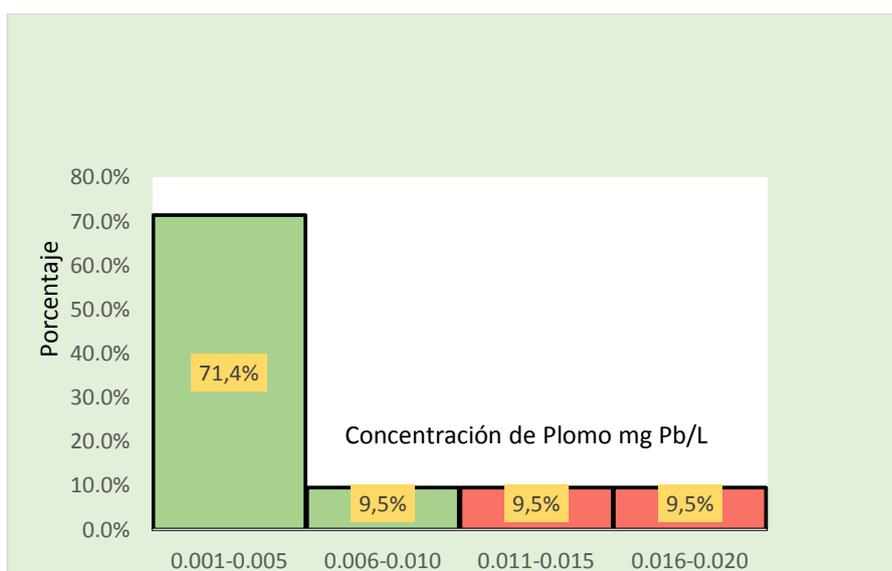


Figura 5: Concentración de plomo en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

La figura 5: Las barras verdes presentan los porcentajes de los casos normales y las rojas los porcentajes de valores superiores al máximo permitido, según los valores permisibles establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N°031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

Tabla 6: Porcentaje de muestras que superan el límite máximo permisible de plomo según Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031 – 2010 – SA. Ministerio de Salud. Perú

| N° muestras | LMP de plomo mg Pb/L | Supera % | No supera % |
|-------------|-------------------------|-------------|----------------|
| 21 | 0,010 | 19% | 81% |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

La Tabla 6: Observamos que el 19,0% de las muestras analizadas superan el límite permisible establecido de plomo en agua de consumo humano (0,010 mg Pb/L). Según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031 – 2010 – SA. Ministerio de Salud. Perú.

Tabla 7: Distribución de la Dureza Cálctica (CaCO₃/L) en agua de consumo humano de Caja de Agua - San Juan de Lurigancho. Febrero - Marzo 2017.

| Dureza Cálctica mg CaCO ₃ /L | | | |
|---|-------------------------|------------|------------|
| Nivel | mg CaCO ₃ /L | Frecuencia | Porcentaje |
| Normal | 100-250 | 15 | 71,4% |
| Normal | 251-500 | 0 | 0,0% |
| Supera valor | 501-750 | 2 | 9,5% |
| Supera valor | 751-1000 | 2 | 9,5% |
| Supera valor | 1000-1250 | 2 | 9,5% |
| Total | | 21 | 100% |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

La Tabla 7: Presenta los valores hallados en la **tabla 3** agrupados en 4 clases las dos primeras con valores normales y las tres últimas con valores superiores al permisible según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano DS N° 031- 2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

Estos valores son presentados en **figura 6**, en la cual las barras verdes presentan los porcentajes de los casos normales y las rojas los porcentajes de valores superiores al máximo permitido según el Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano DS N° 031- 2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

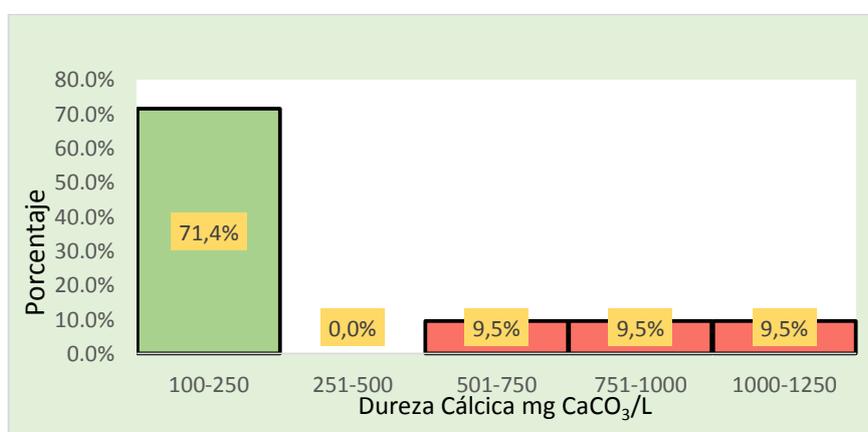


Figura 6: Distribución de la Dureza Cálctica (CaCO₃/L) en agua de Consumo Humano de Caja de Agua, San Juan de Lurigancho - Febrero - Marzo 2017.

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

Tabla 8: Porcentaje de muestras que superan el límite máximo permisible de Dureza Cálctica (CaCO_3/L) según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

| N° muestras | LMP de Dureza Cálctica mg CaCO_3/L | Supera % | No supera % |
|-------------|---|-------------|----------------|
| 21 | 500 | 28,57% | 71,43% |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

Tabla 8: Nos muestra que el 28,57% de muestras superan el valor máximo permisible de dureza cálcica (500 mg CaCO_3/L), según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031 – 2010 – SA. Ministerio de Salud. Perú.

Contrastación de Hipótesis

Para el plomo

- Ho: la concentración promedio de plomo en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho es menor o igual a 0,010 mg Pb/L
- H1: la concentración promedio de plomo en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho es mayor a 0,010 mg Pb/L

Tabla 9: Prueba t para una muestra – Plomo

| | Valor de prueba = 0,010 | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|----|-----------------|----------------------|---|----------|
| | T | gl | Sig. unilateral | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Concentración de Plomo mg Pb/L | -4,114 | 20 | ,999 | -,005429 | -,00818 | -,00268 |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilizante de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

Tabla 9: Dado que la significancia de la prueba T es mayor al 0,05 (0,999) no podemos rechazar la hipótesis nula Ho, por lo que concluimos que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la concentración promedio de plomo en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho supera el límite permisible según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

Para la dureza cálcica

- H_0 : La dureza cálcica promedio en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho es menor o igual a 500 mg CaCO_3/L
- H_1 : La dureza cálcica promedio en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho es mayor a 500 mg CaCO_3/L

Tabla 10: Prueba t para una muestra- Dureza Cálcica

| | Valor de prueba = 500 | | | | | |
|--|-----------------------|----|--------------------|-------------------------|---|----------|
| | T | Gl | Sig. unilateral | Diferencia de medias | 95% Intervalo de confianza para la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| Dureza Cálcica mg CaCO_3/L | -1,635 | 20 | ,941 | -129,1352 | -293,8699 | 35,5994 |

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017.

Tabla 10: Dado que la significancia de la prueba T es mayor al 0,05 (0,941) no podemos rechazar la hipótesis nula H_0 , por lo que concluimos que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la dureza cálcica promedio en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho supera el límite máximo permisible según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú.

V. DISCUSIONES

De acuerdo a nuestro resultado (**tabla 3**), correspondiente a la muestra de estudio para el plomo, presenta solo en algunas zonas de Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho valores por debajo a 0.01 mg Pb/L establecido según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú. Lo reportado por Salcedo⁶ en el año 2014, encontró resultados similares por debajo a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (0,01 mg Pb/L); por lo que se deduce que el agua que consume la población del distrito de Huacho (Perú), presenta cantidades muy por debajo de lo establecido en los límites máximos permisibles dado por la Organización Mundial de la Salud. También Payes¹¹, en el 2014, reporto el análisis en agua de pozos excavados cuyos resultados no indican concentraciones de plomo superiores a los 0,005 mg de Pb/L en agua y, por lo tanto, no sobrepasan el valor de referencia de concentración de plomo de 0,01 mg Pb/L, en agua especificada en la Norma Salvadoreña; Que son similares a lo reportado en nuestros resultados ya que presenta algunas zonas que no sobrepasan el valor de referencia.

De acuerdo a nuestro estudio correspondiente a la **tabla 7** de la nuestra de estudio dureza cálcica, se encontró valores el 71,4% por debajo a lo establecido en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031- 2010-SA. Ministerio de Salud. Perú. También Calsin⁵ reporto valores trazas para la dureza que no exceden los límites máximos permitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031- 2010-SA. Sin embargo, excede los parámetros bacteriológicos, por lo tanto el agua de pozos artesanales y tubulares es considerada no aptos para el consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca-Puno. 2016.

De acuerdo a nuestro resultado (**tabla 8**), correspondiente a la muestra de estudio de dureza cálcica, se encontró el 28,57% de las muestras analizadas superan el límite máximo permisible de 500 mg CaCO₃/L establecido para la dureza cálcica en agua de consumo Humano según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú. En las aguas naturales, la concentración de calcio y magnesio es habitualmente muy superior a la del resto de alcalinotérreos. Los valores máximos y mínimos de los cationes y aniones nos muestran heterogeneidad de 132,26% (**tabla 4**) del medio acuífero. Lo reportado por Sánchez, Álvarez y Pacheco¹², en

el año 2012, cuya cantidad del catión calcio representa mayor abundancia $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}$ y la de los aniones mayores fue $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl} > \text{NO}_3^-$, permiten mostrar la heterogeneidad espacial del medio del acuífero.

De acuerdo a nuestro estudio se recolecto 21 muestras recolecto 21 muestras del agua del caño de las casas de la zona de Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho, en frasco de polietileno de 500 mL., lavados con detergente, seguido de dos enjuagues con agua corriente en forma abundante, luego con ácido nítrico 0,2M y finalmente con agua desionizada y secado al aire libre, se recolecto la muestra entre los meses de febrero y marzo del 2017. Los valores de dureza cálcica registrados oscilaron entre 104,25 y 1173,25mg/L (**tabla N°3**) para todas las muestras analizada. Las mediciones de dureza cálcica el 71,43% (**tabla N°8**) estuvo por debajo los límites máximos permisible recomendados por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo de Agua permitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031- 2010-SA. Ministerio de Salud. Perú. En comparación con lo reportado por Bieranye Baya S., Asiedu Fosu S., Etsey Sebiawu G⁹, (2016), con la investigación: Evaluación de la calidad del agua subterránea para beber en las regiones del Alto Oeste y Norte de Ghana. Se recolectó un total de 50 muestras de perforaciones entre julio de 2014 y abril de 2015 para el estudio. Todas las muestras de agua se recogieron en botellas de plástico esterilizadas de 500 mL. Las botellas se esterilizaron lavando con ácido nítrico al 5% y luego enjuagando varias veces con agua destilada. Esto se llevó a cabo para garantizar que las botellas de muestreo estuvieran libres de todas las formas de contaminantes; Las mediciones de dureza total para todas las muestras estuvieron por debajo de los 500 mg/L recomendados por la OMS para el agua potable, lo que sugiere que todos cumplían con la guía de la OMS y también eran seguros para beber. Los valores de dureza total registrados oscilaron entre 22 y 337,5 mg/L para todas las muestras analizada. Las mediciones de dureza total para todas las muestras estuvieron por debajo de los 500 mg/L recomendados por la OMS para el agua potable, lo que sugiere que todos cumplían con la guía de la OMS y también eran seguros para beber.

VI. CONCLUSIONES

Se realizó por absorción atómica la determinación de plomo y dureza cálcica en agua de consumo humano de Caja de Agua, distrito de San Juan de Lurigancho durante el periodo de febrero y marzo 2017, cuyas conclusiones son:

- a) La concentración promedio de plomo en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho, es de 0,0046 mg Pb/L con cifras extremas de 0,001 a 0,019 mg Pb/L.
- b) Comparando con el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú; el 19% de las muestras analizadas superan el límite máximo permisible establecido para el plomo (0,01 mg Pb/L).
- c) La concentración promedio de dureza cálcica en agua de consumo humano en Caja de Agua del distrito de San Juan de Lurigancho, es de 370,86 mg CaCO₃/L con cifras extremas de 104,25 y 1173,25 mg CaCO₃/L
- d) Comparando con el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano DS N°031-2010-SA. Ministerio de Salud. Perú; el 28,57% de las muestras analizadas superan el límite máximo permisible establecido para el dureza cálcica (500 mg CaCO₃/L)

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar el seguimiento correspondiente a los lugares que representan el 19%, donde se encontró que la concentración de plomo sobrepasa el límite máximo permisible (0,010 mg Pb/L) según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N°031-2010- SA, ya que el plomo es un metal que se acumula en el organismo de manera gradual con el transcurrir del tiempo a fin de tomar las medidas correspondientes y evitar daños futuros.
- Realizar el seguimiento correspondiente en los lugares que representan el 28,57%, donde se encontró que la concentración de dureza del agua sobrepasa el límite máximo permisible (500mg CaCO₃/L) según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N°031-2010- SA, ya que la dureza cálcica podría traer inconvenientes en las tuberías de agua y especialmente en calderas formando incrustaciones. Además, disminuiría el poder detergente de los jabones lo que dificultaría el aseo personal y el lavado de ropa
- Educar a la población con charlas vivenciales que representa el 28,57% de los hogares que se abastece con agua dura; sobre el peligro de ingerir agua dura, indicándole que a través de hervir el agua como medida inmediata sobre cómo hacer uso del agua proveniente de pozos en hogares domésticos.
- Fomentar este tipo de estudios en otros distritos de Lima Metropolitana para hacer un seguimiento de calidad del agua de consumo humano.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Baltes W. Química de los alimentos. España: Ed. Acribia; 2007. Pág. 18.
2. Arroyo R. Corrosión en tuberías metálicas de suministro de agua; Patología en instalaciones de fontanería. Artículos temarios formativo profesionales. Artículo. 2013, n.5 [Citado 28 de Noviembre 2017]. Disponible de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2013/12/corrosion-en-conducciones-de-agua.pdf>
3. Organización Mundial de la Salud. Guías para la Calidad del Agua Potable: Recomendaciones. 2006. Vol. 1 [Citado 03 de Diciembre 2017], pp. 312-313. Disponible de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
4. Johnson E. El agua subterránea y los pozos. Minnesota: Ed. Johnson División; 1975. Pág. 2.
5. Raymond Ch. Química en acción; Una reacción de precipitación indeseable. 9na ed. Colombia. Ed. McGraw-Hill, Pág. 126 – 130.
6. Dirección de Obras Sanitarias del Ministerio de Obras Públicas. Calidad del Agua Potable; Su relación con el tratamiento químico y las normas actualmente en uso, Chile: 2005. Ed. Planeta. Pág. 56.
7. Blasco J. Análisis de aguas y desagües; Dureza. Ed Banco. Perú; 1998. Ed. Banco de libros. Pág. 56.
8. Calsin K. Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno; Perú; [Internet] [Tesis para obtener el Licenciado de Biología]. Perú; Universidad Nacional del Altiplano; 2016. [Citado 22 de febrero 2017]. Disponible http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4187/Calsin_Ramirez_Katherine_Vanessa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
9. Salcedo M, Quinte A, Zavaleta D, Imán J, Obispo J. Cadillo E. et al, Concentración de metales pesados en el agua de consumo del distrito de Huacho. Perú. Artículo científico. Universidad José Faustino Sánchez Carrión, 2013, [Citado 22 de febrero 2017]. Vol. 1; n.9, Disponible de: <https://es.scribd.com/document/339954272/Salcedo-CONCENTRACION-DE-METALES-PESADOS-EN-EL-AGUA-pdf>
10. Blanco A, Dionisio G, Jiménez de Blas O, Santiago M, Miguel M. Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca. Rev.

- Perú med. Exp. Salud pública [online]. 1998, vol. 1, n.13 [Citado 22 de febrero 2017]. Disponible de <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v72n1/plomo.pdf>
11. Ogunbode Timothy O., Akintunde E., Evaluación de la calidad del agua subterránea y fuentes de contaminación en un centro urbano de crecimiento en el estado de Osun Sur de Nigeria Occidental. Rev. Pubmed, EE.UU. 2016. [Citado 6 de Febrero 2018]. Disponible de <https://www.ncbi.nih.gov/pubmed>
 12. Bieranye Baya S., Asiedu Fosu S., Etsey Sebiawu G., Evaluación de la calidad del agua subterránea para beber en las regiones del Alto Oeste y Norte de Ghana. . Rev. Pubmed, EE.UU. 2016 [Citado 6 febrero 2018]. Disponible en <https://www.ncbi.nih.gov/pubmed>
 13. Payes J. Evaluación del riesgo de contaminación por plomo en agua subterránea en el Cantón Sitio del Niño, Municipio de San Juan Opico, Tesis de maestría. El Salvador. 2014 [Citado 22 de febrero 2017] Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/7371/1/Evaluaci%C3%B3n%20del%20riesgo%20de%20contaminaci%C3%B3n%20por%20plomo%20en%20agua%20subterr%C3%A1nea%20en%20el%20cant%C3%B3n%20Sitio%20del%20Ni%C3%B1o%20municipio%20de%20San%20Juan%20Opico.pdf>
 14. López B, Ramos J, Moran J, Cardona A, Hernández G. Origen de la calidad del agua del acuífero colgado y su relación con los cambios de uso de suelo en el Valle de San Luis Potosí. Rev. Artículo. México. 2013, vol. 65, 2013. [Citado 22 de febrero 2017]. Disponible de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222013000100003
 15. Sánchez J, Álvarez T, Pacheco González R, Carrillo L, Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, Rev, Mexicana de ciencias geológicas. México. Artículo científico. 2012. Vol. 32. n. 16. [Citado 22 de febrero 2017], pp. 62-76. Disponible de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57237105006>
 16. Julián J. La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones domesticas sanitarias. Artículo. México, 2010. Vol. 11, n.2. [Citado 22 de febrero 2017] Disponible de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200004
 17. Arnedo A, Bellido J, Puig J, Artero A, Baptista J., Villamarin J, felis C. Dureza del agua de consumo doméstico y prevalencia de eczema atópico en escolares de

- Castellón, España. Artículo. Salud pública. Mex. vol.49, n.4. Cuernavaca jul/ago. 2007. [Citado 18 de febrero 2017]. Disponible de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342007000400009e
18. Mesa J, Bravo A, Morales J, Sánchez L, Valle P, Gutiérrez H, Ledo H. Contenido de metales trazas en aguas subterráneas de la región occidental del Lago de Maracaibo, Artículo científico. Venezuela. Rev. Téc. ing. Univ. Zulia. Vol. 30, 2007. [citado 23 de febrero 2017]. Disponible de <file:///C:/Users/KARINA/Downloads/publicacionJohanMesametalespesados2007.pdf>
 19. Hidrología. Pérez Moreno F., Prieto García F., Rojas Hernández C., Galán Vidal C., Marmolejo Santillán Y., Romo Gómez C., et al. Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapan, Estado de Hidalgo. México. [Artículo científico]. 2003. [Citado 12 de enero 2018]. Disponible de <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v13n2/v13n2a1.pdf>
 20. Medina EM, Mussaret Z, Real de León E, Orozco S. Prevalencia y factores de riesgo en Yucatán, México, para litiasis urinaria. México, [Artículo científico]. Rev. Salud Pública de México. Vol. 44, n.6, 2002. [Citado 21 de febrero 2017]. Disponible de <http://www.scielosp.org/pdf/spm/v44n6/14043.pdf>
 21. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. Agua. México, Programa Agua. 2017. [Citado 12 de junio 2017]. Disponible de <https://agua.org.mx/que-es/>
 22. Vera C. Concepto. Definición de ciclo del agua. [Citado 28 de marzo 2017]. Disponible de <http://conceptodefinicion.de/ciclo-del-agua/>
 23. Escolero FO, Domínguez ME, Martínez ES. Atlas de la Cuenca Lerma – Chapala, Ciclo Hidrológico. Atlas. México. [Citado 02 de febrero 2017]. Disponible de http://www.emapas.inecc.gob.mx/download/lch_ciclo_hidrologico.pdf
 24. Ordoñez J. Ecología Hoy. Aguas Subterráneas. 2011. Artículo científico. [Citado 04 de febrero 2017]. Disponible de <http://www.ecologiahoy.com/aguas-subterraneas>
 25. Sawyer C, Mc Carty P, Parkin G. Química para ingeniería ambiental. Cuarta edición. Nueva York: Ed. Mc Graw-Hill; 2001. Pág. 523- 525.
 26. Fuentes J. Aguas Subterráneas. Madrid. 1993. [Citado 04 de Enero 2018]. Disponible de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_01.pdf
 27. Mc Junkin. Agua y Salud Humana. Organización Panamericana de la Salud. México. Ed. Limusa. 1998. Pág. 133-135.

28. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Las aguas Subterráneas un Valioso Recurso que requiere protección. Perú; Organización Mundial de la Salud, 2002. Pág. 15-28
29. Pernia J, Fornes J. Cambio climático y agua subterránea. España: Instituto Geológico y Minero de España; 2009. Pág. 25-32.
30. Marine A. Funciones del Agua Corporal y su Equilibrio en el Organismo. Abel Mariné Font Catedrático de Nutrición y Bromatología Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona Zaragoza, 10 de Julio de 2008. [Citado 02 de enero 2018]. Disponible en http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/Funciones%20del%20agua%20corporal%20y%20su%20equilibrio%20en%20el%20organismo_Abel%20Marin%C3%A9.pdf
31. Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. El plomo. [Citado 02 de enero 2018]. Disponible http://www.confiep.org.pe/facipub/upload/publicaciones/1/962/informe_plomo_snmpe.pdf
32. Yucra S, Gasco M, Rubio J y Gonzales G. Exposición ocupacional a plomo y pesticidas órganofosforados: efecto sobre la salud reproductiva masculina. Rev. perú. med. exp. salud pública [online]. 2008, vol.25, n.4 [citado 02 de marzo 2017], pp. 394-402. Disponible de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000400009
33. Mencias E, Mayero L. Manual de toxicología Básica. España: Ed. Díaz de Santos; 2013. Pág. 636- 643
34. Universidad Complutense de Madrid. La dureza total del agua. [citado 02 de marzo 2017]. Disponible [de http://pendientedemigracion.ucm.es/info/analitic/Asociencia/DurezaAgua.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/analitic/Asociencia/DurezaAgua.pdf)
35. Contreras F. Manual de técnicas Hidrobiológicas. México: Ed. Trillas; 2012. Pág. 53-56.
36. Ramírez GM. Estandarización y verificación de los métodos de dureza total y conductividad en aguas tratadas para el laboratorio de la Asociación Municipal de Acueductos Comunitarios (AMAC) en el Municipio de Dosquebradas. [Internet]. [Tesis para obtener el título de Tecnóloga en Química]. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira; 2014. [Citado 14 de marzo 2017]. Disponible de <http://studylib.es/doc/7787980/estandarizaci%C3%B3n-verificaci%C3%B3n-de-los-m%C3%A9todos-de-dureza-t...>

37. Roca Tineo, Juan. Historia de Caja de Agua, San Juan de Lurigancho. 2017, Octubre 15. Perú
38. Caja de Agua. [Citado 21 de Junio 2017]. Disponible de <https://www.google.com.pe/maps/place/Caja+De+Agua,+Cercado+de+Lima/@12.0252442,77.0194639,16z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x9105cf596e6da229:0x686dd1feb60f2125!8m2!3d-12.027406!4d-77.014704>
39. Neira GM. Dureza en aguas de Consumo Humano y uso Industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso; Chile [Internet] [Memoria para obtener el título de Ingeniero Civil]. Chile; Universidad de Chile; 2008. [Citado 22 de marzo 2017]. Disponible de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
40. Ministerio de Salud. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. Lima – Perú: Dirección General de Salud Ambiental. Ministerio de Salud; Ed. Grafic. 2011. Pág. 8-44
41. Bender G. Métodos instrumentales de análisis en química clínica. Zaragoza, Ed. Acribia SA 1992. Pág. 203
42. Franson M. APHA. AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. España, Ed. Díaz de Santos .Año:1992. Pág. 200-210

IX. ANEXO

ANEXO I
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD
ORGANOLEPTICA

| Parámetros inorgánicos | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| 1. Olor | ---- | Aceptable |
| 2. Sabor | ---- | Aceptable |
| 3. Color | UCV escala Pt/Co | 15 |
| 4. Turbiedad | UNT | 5 |
| 5. pH | Valor de pH | 6,5 a 8,5 |
| 6. Conductividad (25°C) | µmho/cm | 1 500 |
| 7. Sólidos totales disueltos | mgL ⁻¹ | 1 000 |
| 8. Cloruros | mg Cl - l ⁻¹ | 250 |
| 9. Sulfatos | mg SO ₄ = l ⁻¹ | 250 |
| 10. Dureza total | mg CaCO₃ l⁻¹ | 500 |
| 11. Amoniaco | mg N l ⁻¹ | 1,5 |
| 12. Hierro | mg Fe l ⁻¹ | 0,3 |
| 13. Manganeseo | mg Mn l ⁻¹ | 0,4 |
| 14. Aluminio | mg Al l ⁻¹ | 0,2 |
| 15. Cobre | mg Cu l ⁻¹ | 2,0 |
| 16. Zinc | mg Zn l ⁻¹ | 3,0 |
| 17. Sodio | mg Na l ⁻¹ | 200 |

Fuente: Ministerio de Salud. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031- 2010 – SA.³⁹

ANEXO II
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS
QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

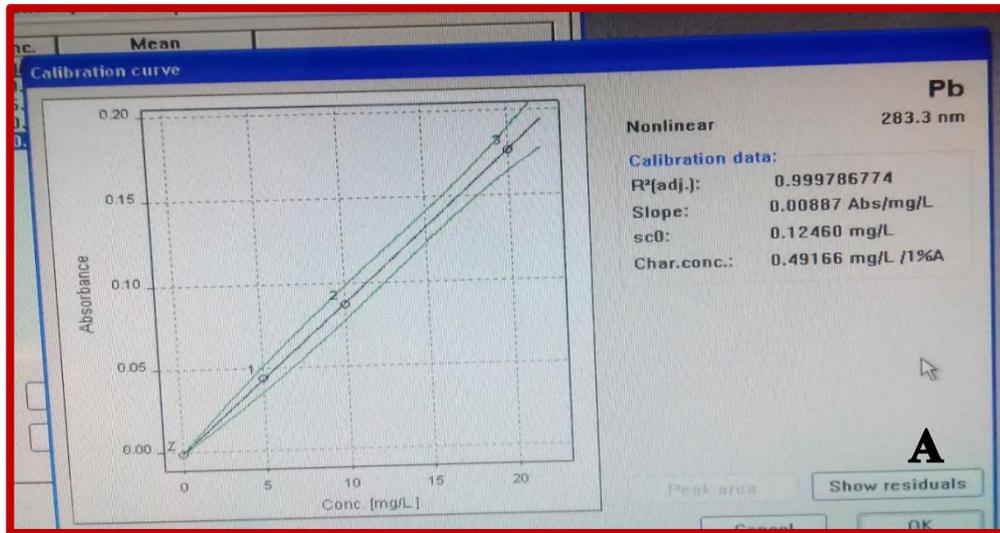
| Parámetros inorgánicos | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|------------------------|------------------------------------|--|
| 1. Antimonio | mg Sb L ⁻¹ | 0,020 |
| 2. Arsénico (nota 1) | mg As L ⁻¹ | 0,010 |
| 3. Bario | mg Ba L ⁻¹ | 0,700 |
| 4. Boro | mg B L ⁻¹ | 1,500 |
| 5. Cadmio | mg Cd L ⁻¹ | 0,003 |
| 6. Cianuro | mg CN ⁻ L ⁻¹ | 0,070 |
| 7. Cloro (nota 2) | mg L ⁻¹ | 5 |
| 8. Clorito | mg L ⁻¹ | 0,7 |
| 9. Clorato | mg L ⁻¹ | 0,7 |
| 10. Cromo total | mg Cr L ⁻¹ | 0,050 |
| 11. Flúor | mg F ⁻ L ⁻¹ | 1,000 |
| 12. Mercurio | mg Hg L ⁻¹ | 0,001 |
| 13. Níquel | mg Ni L ⁻¹ | 0,020 |
| 14. Nitratos | mg NO ₃ L ⁻¹ | 50,00 |
| 15. Nitritos | mg NO ₂ L ⁻¹ | 3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga |
| 16. Plomo | mg Pb L ⁻¹ | 0,010 |
| 17. Selenio | mg Se L ⁻¹ | 0,010 |
| 18. Molibdeno | mg Mo L ⁻¹ | 0,07 |
| 19. Uranio | mg U L ⁻¹ | 0,015 |

| Parámetros inorgánicos | Unidad de medida | Límite máximo permisible |
|--|-------------------|--------------------------|
| 1. Trihalometanos totales (nota 3) | mgL ⁻¹ | 1.00 |
| 2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral | mgL ⁻¹ | 0,01 |
| 3. Aceites y grasas | mgL ⁻¹ | 0,5 |

| | | | |
|-----|--------------------------------|-------------------|---------|
| 4. | Alaclora | mgL ⁻¹ | 0,020 |
| 5. | Aldicarb | mgL ⁻¹ | 0,010 |
| 6. | Aldrín y dieldrín | mgL ⁻¹ | 0,00003 |
| 7. | Benceno | mgL ⁻¹ | 0,010 |
| 8. | Clordano (total de isómeros) | mgL ⁻¹ | 0,0002 |
| 9. | DDT (total de isómeros) | mgL ⁻¹ | 0,001 |
| 10. | Endrin | mgL ⁻¹ | 0,0006 |
| 11. | Gamma HCH (lindano) | mgL ⁻¹ | 0,002 |
| 12. | Hexaclorobenceno | mgL ⁻¹ | 0,001 |
| 13. | Heptacloro y heptacloroepóxido | mgL ⁻¹ | 0,00003 |
| 14. | Metoxicloro | mgL ⁻¹ | 0,020 |
| 15. | Pentaclorofenol | mgL ⁻¹ | 0,009 |
| 16. | 2,4-D | mgL ⁻¹ | 0,030 |
| 17. | Acilamida | mgL ⁻¹ | 0,0005 |
| 18. | Epicloridrina | mgL ⁻¹ | 0,0004 |
| 19. | Cloruro de vinilo | mgL ⁻¹ | 0,0003 |
| 20. | Benzopireno | mgL ⁻¹ | 0,0007 |
| 21. | 1,2-dicloroetano | mgL ⁻¹ | 0,03 |
| 22. | Tetracloroetano | mgL ⁻¹ | 0,04 |

Fuente: Ministerio de Salud. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031- 2010 – SA. ³⁹

ANEXO III



WinAAS Ver: 3.22.0 - Development AAS novAA 300 Tech: Flame - [meth: plomo]

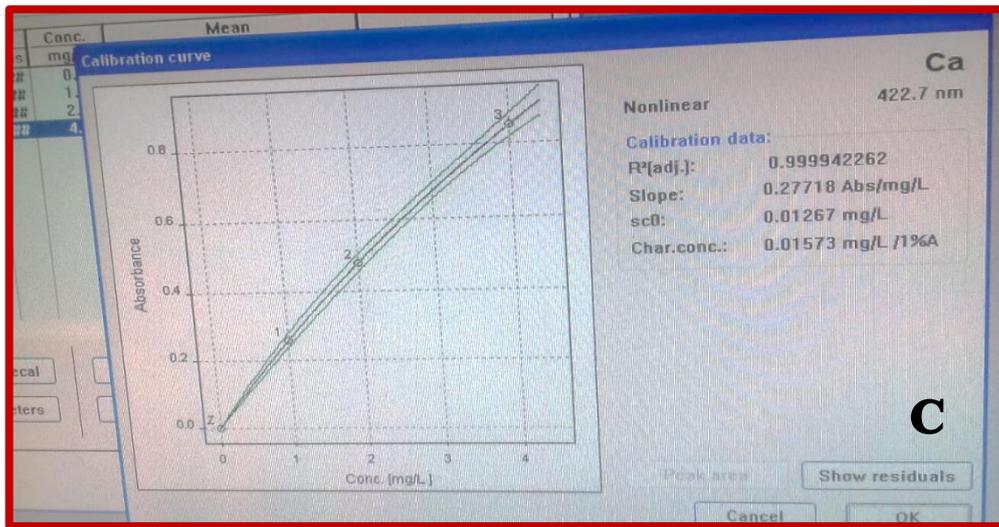
Calibration

Calibration mode | Conditions | Statistics | Conc. input Table | Curve parameters | Recall

| No | Name | State | Pos | Conc. mg/L | Mean | |
|----|------------|-------|-----|---------------|----------|----------|
| | | | | | Abs | SD |
| 1 | Cal-Zero | (-) | ### | 0.000 | -0.00121 | 0.000480 |
| 2 | Cal-Std1 | (-) | ### | 5.000 | 0.04407 | 0.000715 |
| 3 | Cal-Std2 | (-) | ### | 10.000 | 0.08702 | 0.000939 |
| 4 | Cal-Std3 * | (-) | ### | 20.000 | 0.1771 | 0.000809 |

A: Curva de calibración para el plomo. **B:** Lectura de las absorbancias para determinar plomo

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertiliriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017



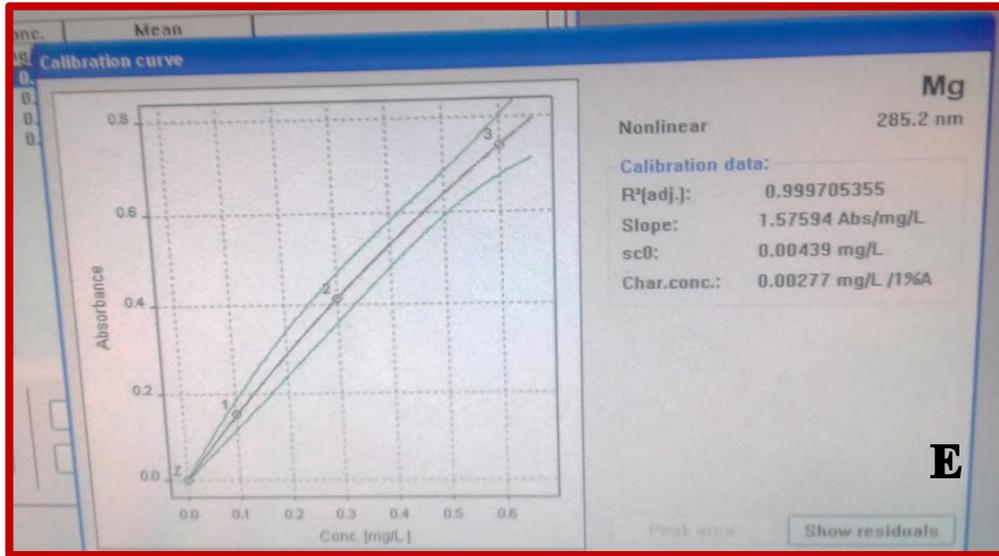
C

| Standards: | | | | Conc. | Mean | | |
|------------|------------|-------|-----|-------|----------|----------|-------|
| No | Name | State | Pos | mg/L | Abs | SD | RSD % |
| 1 | Cal-Zero | (-) | ### | 0.000 | 0.000155 | 0.000362 | 233.9 |
| 2 | Cal-Std1 | (-) | ### | 1.000 | 0.260 | 0.00220 | 0.848 |
| 3 | Cal-Std2 | (-) | ### | 2.000 | 0.479 | 0.00386 | 0.805 |
| 4 | Cal-Std3 * | (-) | ### | 4.000 | 0.848 | 0.0123 | 1.452 |

D

C: Curva de calibración para el calcio. **D:** Lectura de las absorbancias para determinar la dureza cálcica

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017



E

INAAS Ver. 3.22.0 - Development

Calibration

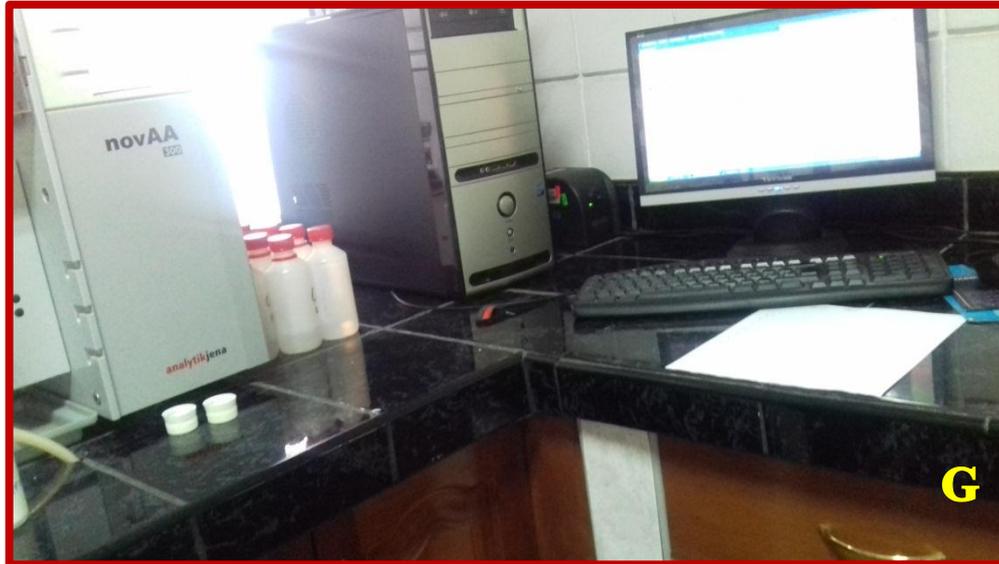
Calibration mode | Conditions | Statistics | Conc. input | Table | Curve parameters | Recalib

| No | Standards: | | | Conc. mg/L | Mean | |
|----|------------|-------|-----|---------------|----------|----------|
| | Name | State | Pos | | Abs | SD |
| 1 | Cal-Zero | (-) | ### | 0.000 | -0.00057 | 0.000301 |
| 2 | Cal-Std1 | (-) | ### | 0.100 | 0.1550 | 0.000204 |
| 3 | Cal-Std2 | (-) | ### | 0.300 | 0.4123 | 0.000855 |
| 4 | Cal-Std3 * | (-) | ### | 0.600 | 0.7413 | 0.002873 |

F

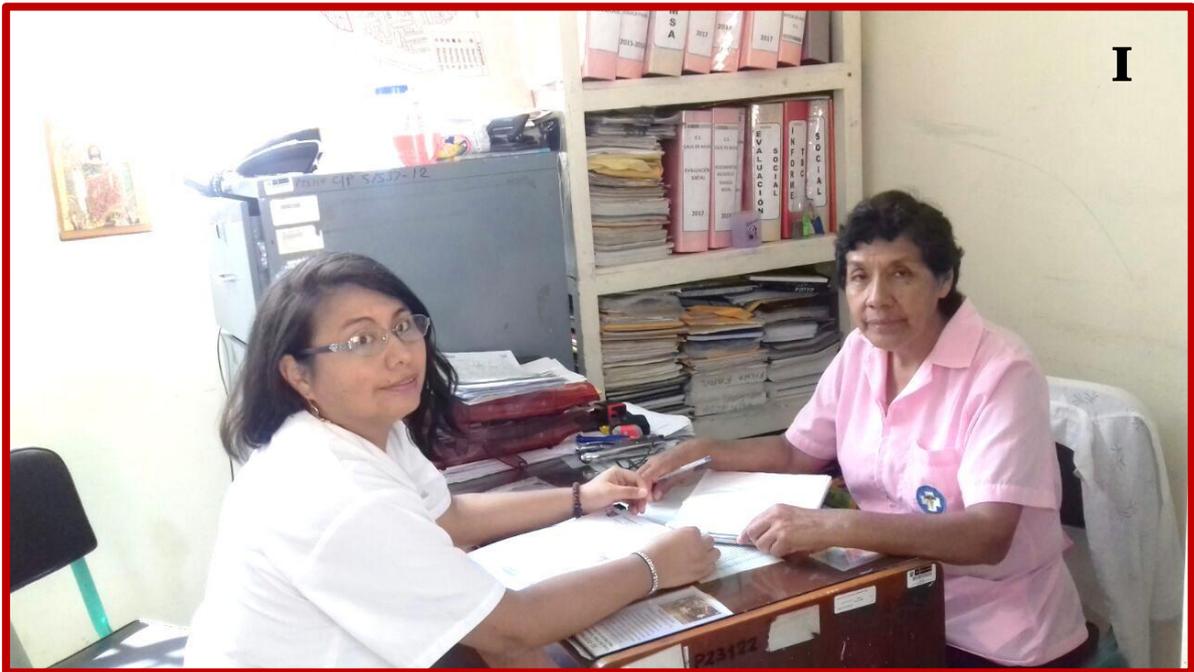
E: Curva de calibración para el magnesio. **F:** Lectura de las absorbancias para determinar la dureza cálcica

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017



G: Equipo de Absorción atómica Analytik Jena AG NovAA 300 s/n BU3150169 con horno de grafito. **H:** Medición de los estándares por espectrofotometría de absorción atómica

Fuente: Resultados emitidos por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Febrero – Marzo 2017



I: Conversando con la Lic. Sonia Santos Maguiña. Asistente Social.

Fuente: Centro de Salud Caja de Agua. DIRIS Lima – Centro