

# Uso de la electrólisis de salmuera como técnica para la desinfección de agua y alimentos domiciliarios en Panamá

O. Melgar<sup>1</sup> | N. Barranco<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>1</sup>Centro de Investigación e Innovación, Eléctrica, Mecánica y de la Industria,

<sup>2</sup>Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales

{orlando.melgar, nelson.barranco}@utp.ac.pa

**Resumen:** *el presente trabajo describe, principalmente, el uso de la electrólisis con sal común como alternativa para la desinfección de agua de consumo en comunidades marginadas. El autor hace una breve descripción sobre la calidad del agua potable y su situación en Panamá. Presenta una revisión de los diferentes métodos de tratamiento existentes. Discute los fundamentos, procedimiento, ventajas y desventajas de la desinfección por electrólisis de salmuera. Y finalmente, se concluye que este tipo de tecnología es una alternativa perfectamente viable en la desinfección del agua para comunidades que carecen de energía eléctrica y no cuentan con el servicio público de agua potable.*

**Palabras claves:** *tecnología, desinfección de agua, agua potable, electrólisis de salmuera.*

**Title:** *Using the electrolysis of brine as a technique for disinfecting water and household food in Panama*

**Abstract:** *this work describes the use of salt electrolysis as an alternative for the disinfection of drinking water in underserved areas. The author makes a brief description of the quality of drinking water and its situation in Panama. This paper presents a review of the various existing treatment methods. Also, it discusses the basis, procedures, advantages and disadvantages of disinfection by electrolysis of brine. Finally, this research concluded that this technology is a viable alternative for water disinfection in communities without grid connection and public drinking water system.*

**Key words:** *technology, water disinfection, drinking water, brine electrolysis.*

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 7 de abril de 2016

Fecha de aceptación: 16 de noviembre de 2016

## 1. Introducción

El agua es esencia de vida, recurso limitado y un derecho natural para todo ser humano [1]. La Organización Mundial de la

Salud (OMS) establece que el agua potable no debe implicar riesgos significativos a la salud del consumidor durante toda su vida. A su vez, debe disponer de características microbianas, químicas y físicas mínimas, fundamentadas con estudios de calidad y pruebas a nivel de laboratorio que garanticen la calidad de la misma [2]. Mediante controles de purificación adecuados, el agua potable debe ser inodora, incolora e insípida.

La naturaleza característica, y la transformación de los ecosistemas acuáticos y del entorno causan alteraciones particulares en los parámetros de calidad del agua. En consideración, se deben establecer controles que permitan evaluar los requerimientos mínimos permisibles para el agua y sus diferentes usos (industria, agricultura, recreación, consumo, etc.) [3].

Cada país tiene la responsabilidad de establecer o adoptar normas y directrices que fijen los niveles de seguridad requeridos, basados en estrictos criterios de evaluación de las distintas fuentes empleadas [3].

Un importante número de informes y reportes técnicos elaborados por agencias nacionales e internacionales posiciona a Panamá como un país con una excelente disponibilidad hídrica. Según datos del Banco Mundial para 2014, Panamá ocupa el quinto lugar en la lista mundial de países con mayor precipitación pluvial, y la segunda posición en Centroamérica con la mayor disponibilidad hídrica de la región posterior a Nicaragua. No obstante, menos del 10 % del potencial hídrico disponible es aprovechado en actividades como navegación, generación hidroeléctrica, riego y abastecimiento humano [4], [5].

La información presentada en el Censo 2010 señala que el 92.9% de la población en el área urbana, y el 73% de la población en el área rural, tienen acceso al agua a través de suministros construidos, mejorados e improvisados [6]. Los matices de esta cifra son importantes, pues se observa que el 98.2% de la población en las zonas urbanas tiene acceso a agua potable pero con deficiencias en las áreas periurbanas.

En contraste, tenemos que en zonas rurales y comarcales menos del 48.6% y 45.9% de la población respectiva reciben el agua a través de acueductos rurales. Un porcentaje considerable de estas zonas solo dispone de las aguas de lluvia y fuentes naturales para abastecer sus necesidades [6].

Nuestros sistemas de abastecimiento de agua potable actuales presentan muchas deficiencias en la forma de manejo, tratamiento, monitoreo de la calidad y cobertura [6].

Con la finalidad de promover y desarrollar tecnologías económicas y técnicamente viables para beneficio de comunidades marginadas, se realizó el presente estudio enfocado en el uso de la electrólisis de salmuera como alternativa para potabilizar el agua de consumo residencial. La investigación se basó en el diseño, construcción y caracterización de un equipo que utiliza sal común para producir Hipoclorito de Sodio y potabilizar agua de consumo domiciliario.

## 2. Breve reseña histórica de la electrólisis

Con la invención de la pila eléctrica en 1800 por el físico Italiano Alessandro Volta, se impulsó inmediatamente el estudio de los efectos químicos de la corriente eléctrica en diferentes ámbitos. Por ejemplo,

los ingleses William Nicholson y Anthony Carlisle descubrieron el fenómeno de descomponer el agua en Hidrogeno y Oxígeno, mientras estudiaban el funcionamiento de la pila de Volta [7]. Entre 1806 y 1808 el científico británico Humphry Davy interesado por el estudio de la pila eléctrica, logró descubrir el proceso de la electrolisis y separó elementos como el Magnesio, Bario, Estroncio, Calcio, Sodio, Potasio y Boro. Sus descubrimientos lo llevaron a estudiar las fuerzas envueltas en la separación de los elementos, dando paso al desarrollo de un nuevo campo de estudio conocido como electroquímica. En 1833, Michael Faraday logra demostrar matemáticamente las leyes de la electrólisis que llevan su nombre [8].

### 3. Planteamiento de la problemática

A lo largo de la historia del desarrollo comunitario, el acceso al agua potable ha sido proscrito a las comunidades pobres de las zonas rurales donde se asienta la población con mayores niveles de vulnerabilidad. En Panamá, las fuentes naturales de agua subterráneas, superficiales y pluviales constituyen muchas veces la alternativa disponible a la red pública de abastecimiento.

Sin embargo, el agua que nos proporciona la naturaleza no reúne los requisitos para ser consumida directamente por el ser humano. A través de su paso por el suelo, el agua se mezcla con minerales, materia orgánica, microorganismos, químicos, gases, sustancias radiactivas, entre otros elementos que tienden a contaminarla. Generalmente, estas fuentes de agua disponen de un control analítico de calidad escaso o inexistente que suponen riesgos para la salud del consumidor [9], [10].

La calidad del agua se compromete con la presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos que provienen de fuentes naturales y/o por actividades humanas. Siempre se recomienda la aplicación de procesos o métodos de tratamiento para la purificación del agua de consumo.

Existen un número de técnicas aprobadas para el tratamiento de agua de consumo en pequeña y a gran escala. En la siguiente tabla se observa un listado con los métodos físicos y químicos empleados para el tratamiento del agua de consumo [2], [11].

Tabla 1. Metodologías de tratamiento de agua

MÉTODOS FÍSICOS	MÉTODOS QUÍMICOS
Ebullición (Destilación)	Coagulación-floculación y precipitación
Calentamiento (solar o combustibles)	Intercambio iónico
Filtración (Micro, Ultra y Nano)	Desinfección química
Sedimentación	Adsorción
Radiación UV	Ablandadores de agua
Osmosis inversa	
Fotocatálisis	

Ninguna de las técnicas o métodos existentes para el tratamiento de agua representa una solución óptima. Normalmente, la combinación simultánea o secuencial de algunos de estos métodos promete resultados más eficaces en el proceso de potabilización.

El estudio de la electrólisis de salmuera como técnica propuesta para la desinfección de agua de consumo se debió principalmente al bajo costo de operación y de mantenimiento del sistema, y a su relativa facilidad en el manejo. Esta tecnología requiere como materia prima sal común (sal de cocina) o agua de mar, y opera con un pequeño sistema de paneles solares que produce la energía requerida en el proceso. Resulta útil su aplicación en lugares de difícil acceso, carentes de servicios de electricidad y agua potable, o en situaciones de desastre naturales.

### 4. Aspectos teóricos de la electrólisis

Conceptualmente, la electrólisis consiste en la descomposición de una sustancia iónica (electrolito) en elementos más simples, utilizando un conjunto llamado celda electrolítica. Se trata de un proceso químico no espontáneo donde se utiliza energía eléctrica para que suceda una reacción llamada reacción electroquímica.

La celda electrolítica consta de dos elementos importantes: el electrolito y el par de electrodos (ver figura 1). Cuando se aplica un voltaje externo entre el par de electrodos, los iones libres del electrolito, con carga opuesta, son atraídos al ánodo y cátodo provocando estados de oxidación y reducción, respectivamente.

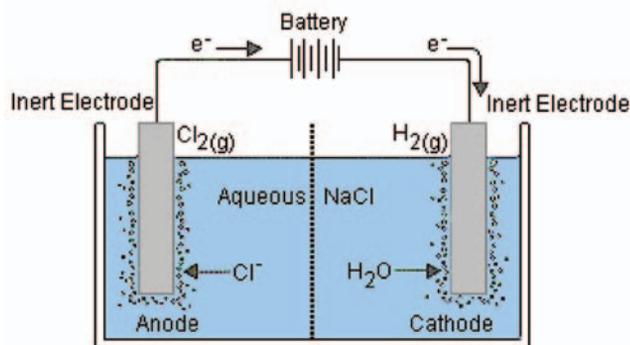


Figura 1. Celda Electrolítica. Fuente [12].

Hoy en día, la electrolisis forma parte del proceso de un sinnúmero de aplicaciones con fines industriales, comerciales y estéticos. Por ejemplo, se usa en la extracción (electrowinning) de algunos metales como el Cobre, Oro, Plata, Zinc, Aluminio, Cromo, Cobalto y Manganeseo [13]. Se emplea como técnica de recubrimiento (electroplating) para proporcionarle al material mejores propiedades mecánicas o acabados estéticos específicos, de uso en la fabricación de automóviles, aviones, joyería, juguetería, electrónica, etc. [14]. También se utiliza para incrementar la pureza (electrorefining) de metales extraídos como el Plomo, Estaño, Cobre, Níquel, Oro y Plata [14]. Se aplica en la producción industrial de Hidrógeno, Oxígeno, Cloro e Hidróxido de Sodio. Además, se emplea con fines estéticos en la remoción de vellosidades, y como herramienta con fines de investigación.

Al descomponer una solución diluida de Cloruro de Sodio (NaCl)

o sal común, se obtienen compuestos y radicales libres como el ácido Hipocloroso e Hipoclorito, que actúan como agentes oxidantes y bactericidas.

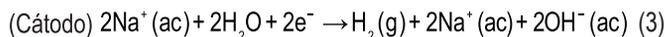
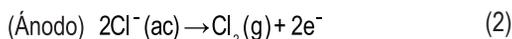
Este proceso viene a conformar un tipo de desinfección electroquímica, donde los elementos desinfectantes no son añadidos al agua, sino que son producidos naturalmente por el proceso de electrólisis.

Las reacciones químicas de la electrólisis suceden como se presenta a continuación y podrá verificarse en [15].

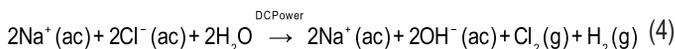
Al combinar agua y sal común se produce una reacción física donde los cristales de la sal se rompen para formar iones de Sodio ( $\text{Na}^+$ ) y Cloro ( $\text{Cl}^-$ ) acuosos por separados.



Cuando la solución salina entra en contacto con el potencial eléctrico de los electrodos, el ánodo y cátodo reaccionan de la siguiente forma:



La reacción química resultante de la solución electrolizada es:

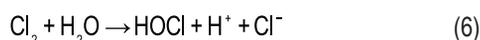


Otras reacciones resultantes suceden de la siguiente manera:

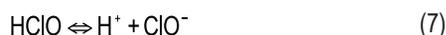


Las reacciones consecuentes se desarrollan hasta lograr un punto de equilibrio donde se obtienen concentraciones estables de cada sustancia, momentáneamente. Transcurrido el tiempo, el Cloro generado tiende a evaporarse progresivamente del agua.

El Cloro liberado en el ánodo tiende hacia una rápida desproporción, y produce Ácido Hipocloroso, Cloruro e Iones Hidronio:



El Ácido Hipocloroso de la reacción anterior entra en equilibrio químico y la proporción de cada uno de ellos va a depender del valor PH en el agua:



Adicionalmente, en el proceso de la electrólisis ocurren otras reacciones secundarias que afectan de una manera u otra la tasa de producción de Hipoclorito, pero que serán omitidas en este contenido para su posterior publicación.

Durante las distintas reacciones químicas, una parte de la energía producida se consume en la producción del Cloro, ya sea en forma de Ácido Hipocloroso (HClO) o ión Hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ). Otra parte, se consume en la transformación del Cloro en Cloratos y Cloruros. Y adicionalmente, parte de la energía se disipa en forma de energía calórica durante las reacciones.

La electrólisis nos permite realizar la transformación de un compuesto abundante y económicamente asequible, sal común, en productos básicos que poseen gran demanda a nivel industrial como el Cloro, Hidróxido de Sodio e Hidrógeno.

## 5. Ciencia contra la pobreza

La información presentada en este artículo deriva de la participación en el proyecto "Introducción de la electrólisis de salmuera para el suministro de agua potable a una población marginada," desarrollado por personal científico del Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Panamá; en colaboración con otros centros de investigación (CIHH, CEPIA y CINEMI). El proyecto fue especialmente diseñado para una comunidad rural carente de servicios básicos de energía eléctrica y agua potable.

### 5.1 Descripción del sistema instalado

El objetivo fundamental del proyecto consistió en la adecuación de una planta de desinfección de agua potable mediante la electrólisis de salmuera para ser utilizado en el sistema de acueducto rural de la comunidad de Ipetí Emberá Chocó en la República de Panamá.

Para efectos de diseño, se consideraron datos importantes como la cantidad de población, la demanda de agua y la capacidad del sistema de acueducto de la comunidad.

El equipo instalado está conformado por un equipo electrolizador que opera con energía eléctrica continua o DC. Se diseñó un pequeño sistema fotovoltaico el cual genera, almacena y proporciona la energía eléctrica que utiliza el electrodo en la celda electrolítica. (Ver figura 2).

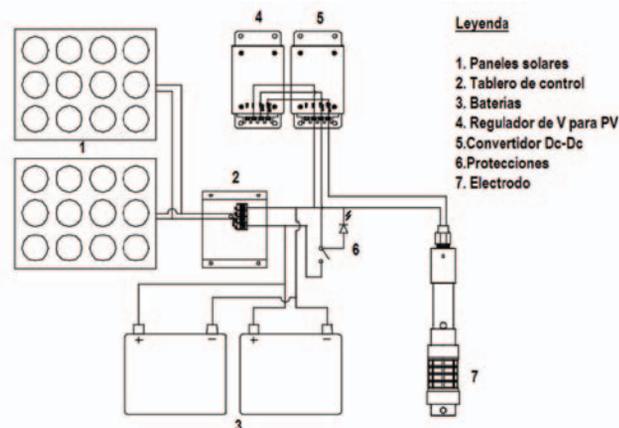


Figura 2. Esquema del equipo de electrólisis instalado.

El equipo de electrólisis dispone de baterías que almacenan la energía eléctrica producida por los paneles solares para ser utilizada en periodos nocturnos o de baja radiación solar.

Algunos elementos electrónicos como reguladores, convertidores y sistemas de protección están conectados con la finalidad de proporcionar la energía eléctrica de operación adecuada y conservar la integridad del equipo.

Para efectos de instalación se recomienda tener especial cuidado al momento de ubicar los paneles solares, ya que se deben considerar

aspectos importantes como la radiación, inclinación y la incidencia de sombras. Adicionalmente, se recomienda que estos tipos de sistemas se ubiquen lo más cercano posible al sistema de distribución de agua para que se puedan efectuar las tareas de mantenimiento y de cuidados requeridos.

## 5.2 Funcionamiento

El equipo instalado en la comunidad funciona de una manera muy sencilla. Se requiere preparar una solución de salmuera diluyendo sal común en agua (a razón de 1 kg de sal / 5 gal de agua); o bien, emplearse agua de mar. El electrodo es el elemento generador de cloro y debe estar inmerso en la salmuera preparada. Mediante un convertidor DC-DC y un dispositivo temporizador ubicado en el tablero de control, se establecerá el tiempo por ciclo requerido para preparar la solución con el Hipoclorito de Sodio. Para el equipo de electrólisis instalado en la comunidad se estableció un tiempo de operación de 4 horas por ciclo, con un valor de corriente de operación de 10 amperios.

Una vez finalizado el ciclo, el equipo se apaga. Se procede a remover el electrodo, y se coloca en un recipiente para la limpieza. En esta etapa, la salmuera se ha convertido en una solución de por lo menos 0.6% gramos de Cloro/litro de salmuera preparada.

Para finalizar con el proceso, la solución preparada se debe verter al sistema de acueducto rural a través de un recipiente hipoclorador el cual regula la dosis de cloro necesaria, basada en la estimación de demanda de agua diaria por la comunidad.

## 6. Efectos del punto de cloración

La gran mayoría de los problemas de salud ocasionados por el consumo de agua contaminada se deben a la presencia de enfermedades bacterianas, virales y parasitarias. De aquí a que la desinfección mediante cloro o compuestos clorados constituyen el método mayormente empleado para garantizar la inocuidad microbiana, con un alto porcentaje de efectividad [2].

La cloración del agua actúa con una eficacia limitada frente a algunos virus como el *Cryptosporidium*, entre otros [16]. Se vuelve ineficaz frente a patógenos presentes en flóculos o partículas orgánicas; ya que esto actúa como barrera ante la acción del desinfectante, estimulando a la proliferación de las bacterias, y generando una demanda significativa de cloro innecesaria.

## 7. Conclusiones

La investigación nos permitió evaluar el impacto que tiene la tecnología de la electrólisis de salmuera como técnica de desinfección de agua de consumo y alimentos domiciliarios. El estudio se realizó en una comunidad indígena que cuenta con 73 hogares y 600 habitantes censados en junio del 2011. El procedimiento aplicado para el estudio, diseño e instalación de la planta de producción de la electrólisis de salmuera en Ipetí Emberá Chocó fue exitoso.

La OMS establece que los niveles de cloro deben oscilar entre 0.5 y 0.2 mg/L de Cloro, a una distancia comprendida entre el punto de cloración y el sitio de entrega más cercano. Basados en este criterio, el proyecto logró obtener concentraciones próximas a 0.38 mg/L de Cloro aproximadamente. Estos resultados deben validarse con mediciones posteriores para asegurar que la cloración se mantenga

dentro de los límites permisibles.

Los potenciales beneficios en la salud de los usuarios podrán ser apreciados en el futuro a medida que la comunidad: se comprometa con el proyecto; apliquen el seguimiento adecuado de desinfección; y ejecuten las tareas de mantenimiento para prolongar el funcionamiento del sistema entregado.

## Agradecimientos

Se agradece a la Secretaria Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación el apoyo, el financiamiento y la confianza depositada bajo el acuerdo CVP10-009. Así como también a los diferentes colaboradores que se vieron involucrados en el logro del proyecto.

## Referencias

- [1] (2002). The Human Right to Water and Sanitation. Resolution 64/292. [Online]. Available on: <http://www.un.org/>
- [2] (2005). Water Quality Assessments. [Online]. Available on: <http://www.who.int/>
- [3] (2004). Índices Globales de Calidad de las Aguas. [Online]. Disponible en: <http://www.miliarium.com/prontuario/Indices>
- [4] F. Tábora, Et al., Asociación Mundial para el Agua. Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: Hacia una gestión integrada. Tegucigalpa, Honduras, 2011, p. 27-29.
- [5] (2011). Recursos Hídricos en América Latina. [Online]. Disponible en: <http://conocimiento.incae.edu/>
- [6] L. Tejada. Ministerio de Economía y Finanzas. Atlas Social de Panamá: Desigualdades en el Acceso y uso el agua potable en Panamá. [Online]. Disponible en: <http://www.mef.gob.pa/es/informes/Paginas/Atlas-Social.aspx>
- [7] E. Zoulias, E. Varkarakí, N. Lymberopoulos, "A Review on Water Electrolysis," Centre for Renewable Energy Sources (CRES). [Online]. Disponible en: <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/jorna1/docs/zoulias.pdf>
- [8] E. Gene, I. Aaron, "Faraday's Electrochemical Laws and the Determination of Equivalent Weights," *Journal of Chemical Education*, Vol. 31, 226-231, 1954.
- [9] J. Gallo, "Análisis de la Calidad de Agua de los Manantiales del Cerro Uyuca," Tesis de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras, Abril 1997. Disponible en: <http://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/2966>
- [10] R. García, C. Muñoz, D. Vizcaino, J. Veguillas, M. L. Acevedo, "Calidad de Agua de Fuentes de Manantial en la Zona Básica de Salud de Sigüenza," *Revista Española de Salud Pública*, v. 77, n.º 3, Madrid 2003.
- [11] P. J. Parr, R. Shaw, "Choosing an appropriate technology," *Loughborough University, Leicestershire, Waterlines*; 15(1):15-8, 1996.
- [12] Nakhleh Research Group (2004), Division of Chemical Education Department of Chemistry Purdue University. [Online]. Disponible en: <http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch20/faraday.php>
- [13] E. Mostad, S. Rolseth, J. Thonstad, "Electrowinning of Iron from Sulphate Solutions," *Journal of Hydrometallurgy*, Vol. 90, 213-220, 2008.
- [14] Kanani, N. *Electroplating: Basic Principles, Processes and Practice*; Elsevier Advanced Technology: Oxford, U.K., 2004.
- [15] G. Morris, R. Alkire, R. Varjian. "Industrial Electrolysis and Electrochemical Engineering." *Electrochemical Society Interface* (2006): 53.
- [16] EPA (2013). Basic Information about Disinfection Byproducts in Drinking Water. [Online]. Disponible en: <http://water.epa.gov/drink/contaminants>