

# Aqua plantae: Sistema prototipo sostenible de desalinización de agua de mar, y aplicación a cultivos mediante riego subterráneo

## Aqua plantae: Sustainable prototype seawater desalination system and application to crops through underground irrigation

Alberto Atencio<sup>1</sup>, Alexandra Mojica<sup>1</sup>, Juan Osorio<sup>1</sup>, Viccelda Domínguez de Franco<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá,

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

\*Autor de correspondencia: [viccelda.dominguez@utp.ac.pa](mailto:viccelda.dominguez@utp.ac.pa)

**Resumen.** En los últimos años, la problemática principal en el mundo es sin lugar a duda el inminente cambio climático acompañado de los fenómenos del Niño y la Niña que traen consigo, sequías extremas de un lado e inundaciones por el otro. A esto se le suma la contaminación del planeta y específicamente la de los ríos, lagos y otras fuentes de agua dulce que precisamente son las fuentes de agua que necesitan los seres vivos para su supervivencia. Esta investigación tiene como propósito adaptar un método de desalinización del agua de mar, a través de un procedimiento de destilación para la obtención de agua dulce, usando como fuente de energía, la solar. Por otra parte, se demuestra la eficiencia del producto de la desalinizadora, simulando microsistemas de crecimiento de plantas en función de la adición de agua de mar tratada, usando como caso de estudio muestras de suelo degradado del arco seco en la región de Los Santos. La metodología incluyó: i. Adaptar los métodos de Nicholas Grimshaw (Teatro del Agua) y Charlie Paton (Invernadero de Agua de Mar) sobre la utilización del agua de mar, ii. La aplicación de agua desalinizada, agua de mar, agua de lluvia y agua potable, a terrarios sembrados con maíz, frijol, lenteja y guandú en triplicado a escala de laboratorio. La tecnología es bastante sencilla y efectiva en la disminución de los niveles de salinidad en el agua de 34.39 g/L a 0.01 g/L; además, implica el uso de energía solar, la cual lo hace auto gestionable. Este estudio demuestra que sí es posible obtener agua de buena calidad por desalinización y de manera sostenible utilizando energía no convencional. Y que puede ser de grandes proporciones para el futuro del país beneficiando directamente a las regiones secas del país.

**Palabras clave.** Agua, desalinizadora, destilación, microsistema.

**Abstract.** In recent years, the main problem in the world is undoubtedly the imminent climate change accompanied by the El Niño and La Niña phenomena that bring with them extreme droughts on the one hand and floods on the other. Added to this is the pollution of the planet and specifically that of rivers, lakes, and other sources of fresh water, which are precisely the sources of water that living beings need for their survival. The purpose of this research is to adapt a seawater desalination method, through a distillation process to obtain fresh water, using solar energy as a source of energy. On the other hand, the efficiency of the desalination product is demonstrated by simulating plant growth microsystems as a function of the addition of treated seawater, using as a case study degraded soil samples from the dry arc in the Los Santos region. The methodology included: i. Adapting the methods of Nicholas Grimshaw (Water Theater) and Charlie Paton (Seawater Greenhouse) on the utilization of seawater, ii. The application of desalinated water, seawater, rainwater, and potable water, to terrariums planted with corn, beans, lentils and pigeon pea in triplicate at laboratory scale. The technology is quite simple and effective in decreasing salinity levels in the water from 34.39 g/L to 0.01 g/L; it also involves the use of solar energy, which makes it self-managing. This study demonstrates that it is possible to obtain good quality water by desalination in a sustainable manner using non-conventional energy. And that it can be of great proportions for the future of the country, directly benefiting the dry regions of the country.

Keywords. Water. Desalination, distillation, microsystem.

## 1. Introducción

Actualmente el cambio climático está afectando el planeta, y parte de esta problemática se está reflejando en las fuentes del vital líquido. Teniendo en cuenta que el planeta está formado en un 97% por agua de los mares, y apenas un 2.5% por agua dulce del cual solo el 0.007% puede ser utilizado, datos que sirven de apoyo para proyectar una inminente escasez conforme avance el tiempo [1]. Tanto es así que el Informe del Estado del Ambiente GEO 6 [2], en su análisis de vulnerabilidad e impacto al cambio climático en la subregión mesoamericana, muestran que un aumento en temperatura media y disminución de la precipitación se esperan en el 2030, con impactos significativos en la agricultura en todos los países de esta subregión. Como resultado, áreas adecuadas para cultivos que sostienen las exportaciones agrícolas y la seguridad alimentaria rural cambiarán [3].

Dichos cambios ya se presentan en casos de familias panameñas que subsisten de la producción de cultivos, quienes se están viendo afectados al no lograr realizar sus labores por la pérdida de suelos. Parte de este problema radica en la pérdida de las cuencas y efluentes como consecuencia de la ganadería extensiva y mal uso de agroquímicos, entre otras prácticas que ha causado la degradación del 28.7% de los suelos en Panamá, del cual el 51% pertenece a la Región Central [4]. Mientras que la otra parte de las afectaciones es producto de la inminente sequía y la disminución de lluvias [5].

Durante los últimos cinco años se ha visto como ríos, riachuelos y pozos se secan en la provincia de Los Santos, uno de ellos el Río Mensabé, hasta el año pasado era uno de los ríos más disfrutados por familias, hoy en día la situación es distinta, un cauce de casi 20 metros de ancho solamente muestra un camino de rocas. Esto lleva a la conclusión de si se estará o no preparado realmente en temas de conservación del agua dulce, la reserva y la obtención de esta por medios como la desalinización del agua del mar. Entonces, aún se está a tiempo de crear técnicas que permitan aplicar métodos físicos o químicos para la obtención de agua y subsistencia los seres humanos, animales y plantas que requieren del agua dulce para sobrevivir.

El propósito de esta investigación es proponer un nuevo método de desalinización del agua de mar, a través de un sistema de destilación para la obtención de agua dulce, usando como fuente de energía, la solar. Por otra parte, se demostrará la eficiencia del producto de la desalinizadora, simulando microsistemas de crecimiento de plantas en función de la adición de agua de mar tratada, logrando replicar así mediante procedimientos experimentales, como podría ser comportamiento de este una vez aplicado en la Península de Azuero.

## 2. Marco teórico

La idea de obtener agua dulce a partir de agua de mar es realmente una técnica ya estudiada y es conocida como desalinización.

### 2.1 Factores generales y ambientales de la Región Central

Actualmente Panamá presenta un incremento en la sequía en la Región Central comprendida por una superficie de 20.787,57 km<sup>2</sup> [6]. El arco seco es caracterizado desde el punto de vista climático y socioeconómico como un área crítica, afectada por la sequía [7]. Según datos del sector agro de la Península de Azuero entre los años 2015-2016 presento un descenso en la producción de maíz, esto debido a que la mayoría de los productores no poseen un sistema de riego y solo dependen de la lluvia [6].

#### 2.1.1 Capacidad de uso de suelo y demografía

La capacidad del uso del suelo no es más que el potencial para satisfacer las necesidades de producción vegetativa. Existen ciertas regiones que presentan un límite por poseer un rango de clase No Arable (suelos tipo v, vi, vii, viii) (figura 1) que es necesario darle una debida atención y cuidado en el manejo del suelo ya sea por la ganadería o por cultivo [8].

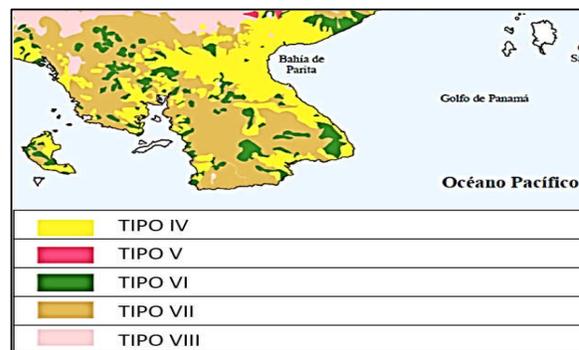


Figura 1. Capacidad de uso del suelo.

Fuente: Senacyt-CECOMRO, síntesis preliminar visión 2040.

Según datos confirmados estadísticamente, en años anteriores los productores de la región central cultivaban alrededor de 1.5 y 2 millones de quintales de maíz, en el año 2017 se vieron preocupados la gran mayoría porque no llegaron ni a los 600.000 quintales, porque solo lograron sembrar en la mitad de las hectáreas que poseen a causa de que el suelo se ha vuelto no cultivable [9]. Aparte que la cantidad de lluvia no era suficiente (entre 2000-1500 mm, años 1998-2008; 104.2mm, año 2015; 128.6mm, año 2016; y 1054 mm, año 2017) comparado con el rango normal de precipitaciones (2000mm-7000mm).

El crecimiento demográfico es hoy en día uno de los principales factores para la degradación de los suelos. Ejemplo de este hecho es la pérdida de la fertilidad en los suelos visto en la región central del país, donde se encuentra la mayor población, misma que se dedica a la ganadería y producción agrícola del país. Según el censo del 2010 la población creció en estas tres áreas: en un 0.21% en Herrera, 0.15% en Los Santos, 0.36% en Veraguas [10].

### 2.1.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial de Panamá según datos de años anteriores los contornos variaban entre 400 y 600 mm [5].

La evapotranspiración depende en su mayoría de los casos de una reserva de agua en el suelo; si los límites de esta están bajos, menor será la cantidad de agua evapotranspirada, por ejemplo, en la provincia de Los Santos el nivel se encuentra en 900 mm, en comparación a otras zonas de Panamá (1350 mm) [11] [12].

### 2.1.3 Clima y precipitaciones de la zona

Se encuentran tres tipos de clima, los cuales son clima tropical muy húmedo, clima tropical de sabana y clima tropical húmedo con influencia del monzón. Los primeros dos tipos son predominantes y se distribuyen en las provincias de Veraguas, Herrera, Los Santos y Coclé, mientras que el último, se limita a una pequeña franja de la parte norte (alta) de las cuencas San Pablo y Santa María (Santiago y San Francisco, Veraguas) [5], [6], [13]. Mientras que el este de la Península de Azuero (área de Los Santos) y el sur de la provincia de Coclé, se caracterizan por presentar totales anuales de lluvia muy bajos, con registros ligeramente inferiores a 1500 mm [5], [6], [14], [13], [12].

## 2.2 Agua desalinizada

El agua desalinizada en una definición sencilla no es más que el producto resultante de la reducción del contenido de sal en el agua.

### 2.2.1 Antecedentes de desalinizadoras en el mundo

Históricamente la primera referencia a desalinización que se conoce data de la época de Tales de Mileto y Demócrito quienes comentaron que el agua dulce se obtenía por filtración del agua de mar a través de la tierra. Aristóteles hablaba en sus obras de la desalación y fabricó el primer evaporador conocido. Plinio en su enciclopedia sobre historia natural describe varios métodos para desalar agua. A mitad del siglo XIX algunos barcos llevaban instalados destiladores para potabilizar agua marina. En los años 60 se produce el descubrimiento de la ósmosis inversa, técnica que, por su eficacia y alto rendimiento, es el más usado en el mundo. Posteriormente se

estableció la primera planta desaladora del mundo en Las Islas Canarias, España, en el año 1964 [15].

### 2.2.2 Conceptos de proyectos idea: teatro del agua e invernadero de agua de mar

El teatro del agua, considerado como la principal iniciativa para el borde costero de la ciudad de Las Palmas, en las Islas Canarias, España, fue desarrollado por la oficina de arquitectura de Nicholas Grimshaw transformándose en una de las obras emblemáticas de producción sustentable de recursos naturales (en este caso, agua potable), a través de la destilación pasiva de agua de mar, utilizando como fuentes de generación el calor del viento, y el frío del agua. En él que se conjugan el espacio público con las necesidades actuales de aprovechamiento energético y del agua [16].

El invernadero de agua de mar es un sistema que produce grandes cantidades de agua de mar destilada a través de múltiples paneles con sistemas combinados de evaporación y condensación de agua de mar, ubicada en el Sahara, creada por el programa de reforestación, encabezada por el ingeniero Charlie Paton. El agua de mar es calentada hasta transformarla en vapor, y luego condensada, posteriormente envía el producto al riego de múltiples cultivos que allí se concentran [17].

### 2.2.3 Proyecto Aqua plantae

El proyecto aqua plantae (Sistema sostenible de desalinización y riego subterráneo de agua de mar) se compone de una mezcla de diversos temas de estudios, conjugados en la desalinización del agua de mar y la debida aplicación del producto a los cultivos. Todo esto enfocado al mejoramiento de las condiciones actuales y a futuro de la península de Azuero. El diseño de este fue en base a la fusión de conceptos analizados del mecanismo de proyectos ya existentes, con las nuevas ideas propuestas comprobadas mediante experimentación, convirtiéndose así en un nuevo proyecto de desarrollo sostenible.

El microsistema tiene un diseño volumétricamente cerrado, con la finalidad de evitar que el vapor que este produzca se pierda en el ambiente exterior, el mismo cuenta con unas tuberías que transportaran el agua desalinizada (ver metodología, procedimiento desalinizador detallado) al área de cultivo. El transporte del agua por las tuberías es efectuado por gravedad [18], teniendo como destino el suelo subterráneo para su debido riego. El riego subterráneo es una técnica que favorece con la disminución del uso de agua en los cultivos [19] y esto se planifico pensando en la situación degradada del suelo y el alto nivel de calor los cuales provocan una evaporación más anticipada del agua.

### 3. Metodología

El modelo de este experimento se basó en una fusión de dos proyectos ya conocidos, la obra arquitectónica de Nicholas Grimshaw (Teatro del Agua) y la idea de Charlie Paton (Invernadero de Agua de Mar), [20], [21], [22] los cuales crearon métodos para la utilización del agua de mar.

El experimento se realizó en tres etapas, las cuales comprenden:

#### 3.1 Etapa I. Proceso de desalinización

Para el proceso de desalinización se creó un microsistema cerrado (figura 2) para evitar la pérdida de vapor de agua. Su funcionamiento se inicia vertiendo el agua de mar en una bandeja de aluminio (cuya conductividad térmica es 237 W/Km) para acelerar la conducción de calor, posteriormente el microsistema es colocado en el sol a temperatura ambiental de 26°C o menos. Una vez que el agua comience a evaporar las partículas del agua de mar entran en contacto con las paredes internas del microsistema (vidrio con una conductividad térmica de 0.6-1.0 W/Km) [23], debido al calor que genera el sol, una vez las partículas de agua se condensan en la parte superior descenderán por efecto gravedad gracias a una pequeña inclinación de aproximadamente 45°, hacia unos tubos y de estos a una bandeja recolectora. Mientras que el agua condensada en las paredes descenderá y también pasará a la bandeja recolectora, para que posteriormente se dé su utilización.



Figura 2. Microsistema de desalinización.

#### 3.2 Etapa II. Área de estudio, análisis de muestras de agua y suelo

Como se explicó anteriormente en la introducción, se considera importante la aplicación del sistema innovador de generación de agua dulce en zonas con extrema necesidad como lo es el arco seco. Para ello fue necesario analizar las muestras del suelo de la zona de aplicación, y el producto (agua

desalinizada) obtenido del sistema cuyo mecanismo fue anteriormente explicado.

#### 3.3 Área de estudio de selección del suelo y agua

Se seleccionó, como zonas de estudio el área de Los Ángeles (corregimiento de El Espinal, distrito de Guararé) (figura 3) la cual posee un suelo con característica áridas, y la playa La Enea (corregimiento y distrito de Pedasí) en Los Santos, península de Azuero, Panamá (figura 4).



Figura 3. Mapa del sitio de extracción de muestras de tierra. República de Panamá, península de Azuero, distrito de Guararé, comunidad de Los Ángeles coordenadas UTM 7.8742280 N, UTM-80.3610510 W.

La muestra de suelo se tomó en las coordenadas UTM 7.8742280 N, UTM-80.3610510 W. La muestra de agua se tomó en las coordenadas UTM7.4500259, UTM-80.0466224.



Figura 4. Mapa del sitio de toma de muestras de agua. República de Panamá península de Azuero, distrito de Pedasí, playa La Enea coordenadas UTM UTM7.4500259, UTM-80.0466224.

### 3.3.1 Análisis de muestras de agua

Se analizaron cuatro muestras de agua y se verificaron los niveles de pH, salinidad y conductividad (figura 5) [24]. Utilizando como equipo para realizar los análisis, el multiparámetro YIS, cumpliendo con el debido cuidado y limpieza luego de analizar cada muestra.



Figura 5. Análisis de muestras de aguas.

Una vez extraídas las muestras de suelo (figura 6), se procedió a analizar las muestras.



Figura 6. Extracción de muestras de suelo.

Se procedió a utilizar el método de tamizaje para calcular el porcentaje de arena en una arcilla pasándose por un lavado y secado con anterioridad (figura 7) [25].



Figura 7. Procedimiento del tamizado y secado de la muestra.

Las muestras tomadas fueron pesadas antes de realizar el secado, y luego pesadas nuevamente para así determinar el porcentaje de humedad de el suelo por capas [25].

### 3.4 Etapa 3. Aplicación del agua desalinizada a los cultivos

Cuando se dispuso a utilizar el agua, se pensó que esta dañaría inmediatamente a las plantas y por ello se ideó aplicar el método de riego subterráneo. Con la idea de que a partir de esta forma se logre minimizar aún más el nivel de salinidad del agua, se realizó un diseño experimental mediante un microsistema de riego (figura 8), utilizando muestras de suelo procedentes de la región de Azuero, Los Santos. Utilizando agua de lluvia, agua de mar, agua de mar desalinizada (por el microsistema) y agua potable. Con una dosis de 300 mililitros (solo el primer día) y 100 mililitros (diariamente los próximos días), de cada tipo de agua. El primer día se roció la superficie para estimular el proceso de germinación, mientras que los días siguientes se aplicó por medio del segmento de tubería sobresaliente en la superficie del terrario, para que esta por medio de gravedad llegara al interior del suelo y cumplir así con el proceso de riego subterráneo (figura 10), lo que posteriormente llegaría a las raíces de los cultivos por medio de evapotranspiración.

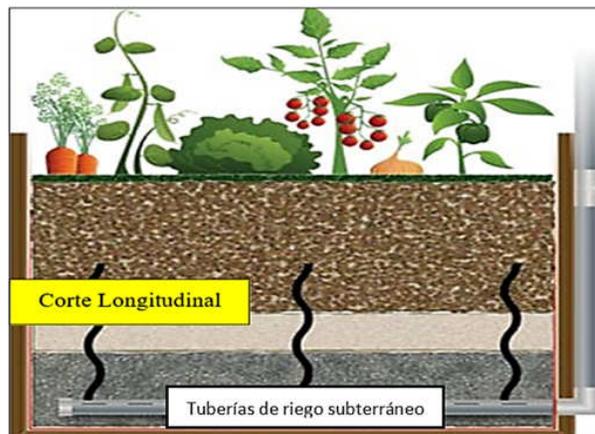


Figura 8. Esquema de corte longitudinal del terrario. Proceso de evapotranspiración por medio del riego subterráneo.

Las semillas sembradas fueron: frijol, maíz, lentejas y guandú. En la figura 9 se muestra la conformación de los bioensayos, realizados en triplicado.

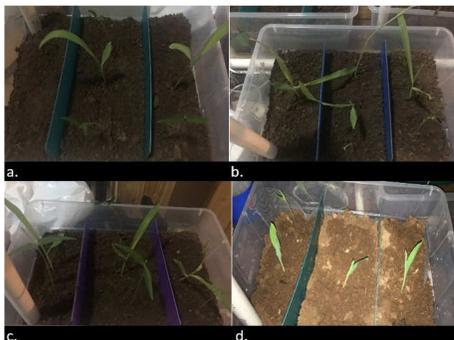


Figura 9. Terrario regado con: a. agua de lluvia, b. agua de mar, c. agua desalinizada, d. agua potable.

El terrario fue dividido en cuatro capas, cada una con cuatro centímetros de grosor. Las semillas seleccionadas se sembraron en la capa superior. Una vez que germinaron las diferentes plantas se inició la revisión visual en cambios de color en las plantas, marchitación, etc.

Se observaron las plantas para notar si se daban posibles cambios y si había algún elemento físico destacable.

#### 4. Resultados y discusión

El proyecto posee dos divisiones, siendo el funcionamiento del sistema para la desalinización del agua de mar y posteriormente la debida aplicación de forma subterránea del producto a los cultivos.

##### 4.1 Rentabilidad del sistema desalinizador

Ya se conocía de antemano, que uno de los principales problemas para la desalinización del agua de mar, es cómo obtener la energía necesaria para llevar a cabo la operación, sin incurrir en altos costos. Por esta razón se diseñó el sistema de tal forma que sea capaz de cumplir con el mínimo impacto ambiental. Sin el requerimiento de engranajes, ni de la intervención de materiales que puedan afectarse por acción de la salinidad, y que su mantenimiento o funcionamiento no puedan afectar a los seres vivos que la rodean.

Presenta adaptabilidad ante cambios ambientales siendo capaz de seguir funcionando durante la noche, pues se tomó la iniciativa de prevenir la posible debilidad, usando el mecanismo del escarabajo de Namibia, quien recoge agua condensada (procedente del sereno) entre sus alas para poder sobrevivir [26], técnica analizada en estudios ya existentes, con la cual es posible la obtención de agua dulce sin intervención de métodos mecánicos, hidráulicos u otros procedentes de energías convencionales. Siendo posible la no detención del proceso de evaporación y condensación, día y noche, respectivamente [27].

##### 4.2 Resultados en análisis de suelo y agua desalinizada

Es necesario observar los datos en la tabla 1 y tabla 2, donde se presentan los resultados de los análisis de suelo y agua, los cuales sirvieron para comprobar el nivel de salinidad del agua desalinizada, y su comparación con otras muestras de agua.

Tabla 1. Datos de análisis de suelo

Suelos			
CAPAS	Clasificación de la muestra	Peso de la muestra (kg)	Cantidad de finos (kg)
1	Arcillo Arenoso	2	138.65
2	Arcillo Arenoso	2	136.55
3	Arcillo Arenoso	2	120.04
4	Arcillo Arenoso	2	118.57

Tabla 2. Datos de análisis de agua

Agua				
Tipo de muestra	Cantidad (ml)	PH	Conductividad (S/m) (durante 30s)	Salinidad (sal-g/l)
Agua desalinizada	175	6.74	0.18	0.01
Agua de mar	175	8.17	5.26	34.39
Agua de lluvia	175	6.11	0.05	0.02
Agua potable	175	7.01	0.06	0.40

En cuanto al suelo en todas sus capas es de textura arcillo arenosa [28]. Por otra parte, los resultados de los parámetros de calidad del agua mostraron que hubo una efectividad en el proceso de desalinización, ya que el agua desalinizada redujo su nivel de salinidad a 0.01 g/L, puesto que el agua de mar para el mismo parámetro muestra un valor de 34.39 g/L, incluso siendo menor al agua potable que mostró un valor 0.40 g/L y el agua de lluvia con un valor de 0.02 g/l.

Otro cambio importante fue el valor de pH de agua de mar de 8.17 en el agua desalinizada a 6.74, paso de un valor alcalino a ligeramente ácido, el agua potable se mantuvo en 7.01 neutro y el agua de lluvia ácido en 6.11.

Por otra parte, los valores de conductividad en los diferentes tipos de agua se mantuvieron en el rango de 0.05 S/m para el agua de lluvia hasta 5.26 S/m para el agua de mar [24].

La cantidad de arena con respecto a otros elementos es mayoritaria (tabla 3) siendo el segundo componente del suelo de la región, siendo 81.13% arcilla y 18.87% de arena convirtiéndose esta última en uno de los principales factores

por el cual el suelo está deteriorándose con el paso del tiempo, agregado a ello el inadecuado tratamiento que se le da a la hora de cultivar [28].

La tabla 3 muestra el porcentaje de finos en la capa 2. Capa con mayor cantidad de arena M. muestra, M+TARAS.H. muestra de tara de suelo húmedo, M+TARAS.S. muestra de tara de suelo seco, M.W. peso de la muestra, M.S.S muestra de suelo seco, W% porcentaje de peso,  $\bar{x}$  promedio del peso de las muestras.

El análisis de humedad en suelo dio como resultado que la cantidad de humedad por capa va descendiendo según sea la profundidad que tenga el mismo en otras palabras de un 100% de humedad en el suelo 28.63% será de la capa superficial, 24.52% capa 2, 23.89% capa 3 y un 22.96% en la capa 4, lo que coincide con valores obtenidos en el Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe [3]. Asimismo, la humedad con una buena técnica de riego se dará en aumento.

El presente estudio muestra un nivel bajo de humedad en relación con otros suelos de Panamá, esto se debe al manejo incorrecto que se les da a los suelos y además los factores de cambio climático [5].

Al realizar estudios a pequeña escala utilizando terrarios para proyectar como es y sería el suelo de la región, y utilizando tres tipos de agua a parte del agua desalinizada (producto de este estudio), se tomaron datos que demuestran que el utilizar agua desalinizada le proporciona al suelo un apoyo y que ha futuro, este suelo [25], puede restablecer el equilibrio de sus propiedades físico químicas productivas (i.e. pH=7) y favorecer el cultivo de la región, coincidiendo con [18].

El agua desalinizada tiene un nivel de pH aproximadamente neutro (6.74), nivel de salinidad (2.61g/L) y una conductividad (0.18 S/m) la cual da como resultado que está dentro del rango de agua apta para el riego (0-3) S/m [29], a causa de que la cantidad de sal es la suficiente para que el cultivo sobreviva y se desarrolle óptimamente.

### 4.3 Resultados de la implementación de riego subterráneo en cultivos

De acuerdo con los resultados se logró observar que en aquellos cultivos donde se aplicó el agua desalinizada, se produjo un mayor desarrollo en el cultivo principalmente en plantaciones de frijoles (figura 10) y maíz (figura 11), ambos al décimo día de estudio.

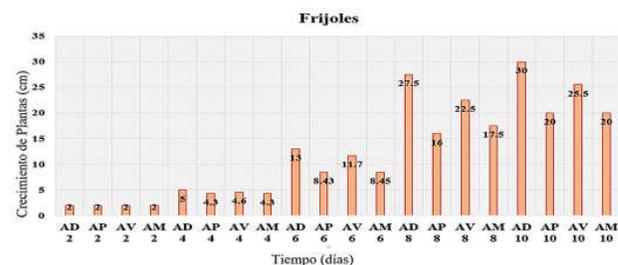


Figura 10. Crecimiento de frijoles. AD. agua desalinizada, AP. agua potable, AV. agua de lluvia, AM. agua de mar.

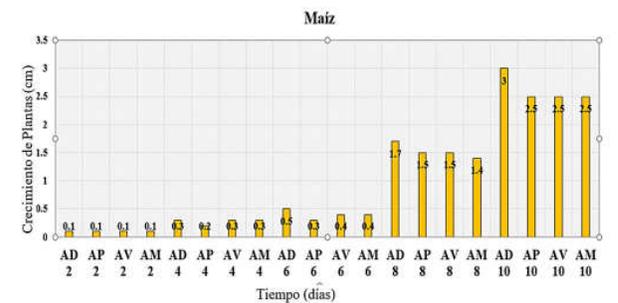


Figura 11. Crecimiento de maíz. AD. agua desalinizada, AP. agua potable, AV. agua de lluvia, AM. agua de mar.

Los desniveles que se generaron son relacionados a diversos factores abióticos no estudiados.

Tabla 3. Porcentaje de finos en la capa 2

Porcentaje de humedad								
Capas	Capa 1		Capa 2		Capa 3		Capa 4	
Muestras	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
MTara (kg)	9.42	9.37	9.52	9.47	9.33	9.40	9.58	9.34
M+TaraSH (kg)	116.88	127.35	137.92	142.88	141.70	141.11	148.07	145.01
M+TaraSS (kg)	97.34	105.25	115.77	120.40	121.34	120.04	126.56	124.17
MW (kg)	19.54	22.10	22.15	22.48	21.36	21.07	21.72	20.84
MSS (kg)	87.92	95.88	106.25	110.93	112.01	110.64	116.77	114.48
W (%)	22.2	23.05	20.85	20.26	19.07	19.04	18.60	18.20
$\bar{x}$	22.63		20.55		19.06		18.40	

En forma general el agua desalinizada fue aquella que mostró los mayores resultados en crecimiento de las plantas estudiadas (con una diferencia en el día 10 de 0.5 cm con respecto a los resultados de otras aplicaciones de agua), el agua de mar o agua salada mostró un incremento de manera lenta, pero posterior al día veinte de estudio, las plantas lograron un desarrollo con un crecimiento similar al de las plantas de agua desalinizada (incremento de 1.1cm). En el agua potable y el agua de lluvia el desarrollo fue constante y no produjo cambios repentinos de crecimiento.

El crecimiento de plantas en forma general mostró un desarrollo más rápido en frijoles durante los primeros cinco días (3cm/por día) posteriormente fueron disminuyendo la velocidad (aproximadamente 1.5 cm/por día) (figura 12).

El análisis de crecimiento de las plantas en función del tipo de agua proveída (figura 12) determinó que el agua desalinizada aportaba un beneficio extra en crecimiento con respecto a las plantas a las cuales se le aplicó agua de mar, de lluvia, y potable; ya que crecían significativamente. Esto se puede explicar entre otros factores, ya que el agua desalinizada cumplía el rango de conductividad que poseen los cultivos [29]. Y por otra parte el agua desalinizada cuenta un pH casi neutro (6.74), salinidad baja (0.01 g/L), y posee una característica importante, no cuenta con cloro añadido, como el caso del agua potable.

## 5. Conclusiones

La desalinización del agua de mar en las grandes empresas desalinizadoras acarrea varios problemas, entre los que destacan: el alto costo de su proceso, contaminación, los requerimientos de energía a gran escala, una dependencia aún mayor de las conocidas energías fósiles. Aplicar el riego subterráneo es una forma de mayor aprovechamiento del agua en el tema del cultivo de plantas.

El sistema que se propone posee un método simple de obtención del agua dulce a partir del agua de mar que no requiere combustible para ser transformada. En su lugar, se basará en el mar, el sol y el viento para producir la energía necesaria que requiere el proceso, lo cual lo hace auto gestionable. La tecnología es bastante sencilla y efectiva en la disminución de los niveles de salinidad en el agua de 34.39 g/L a 0.01 g/L.

La propuesta apoyada en los datos obtenidos por revisión literaria y experimentación, logra conjugar una serie de factores relacionados con el sistema, desde los ambientales, los cuales son parte esencial en el funcionamiento del mismo, como también el estado actual de la zona de aplicación, siendo este último aspecto relevante a la hora de determinar la sostenibilidad

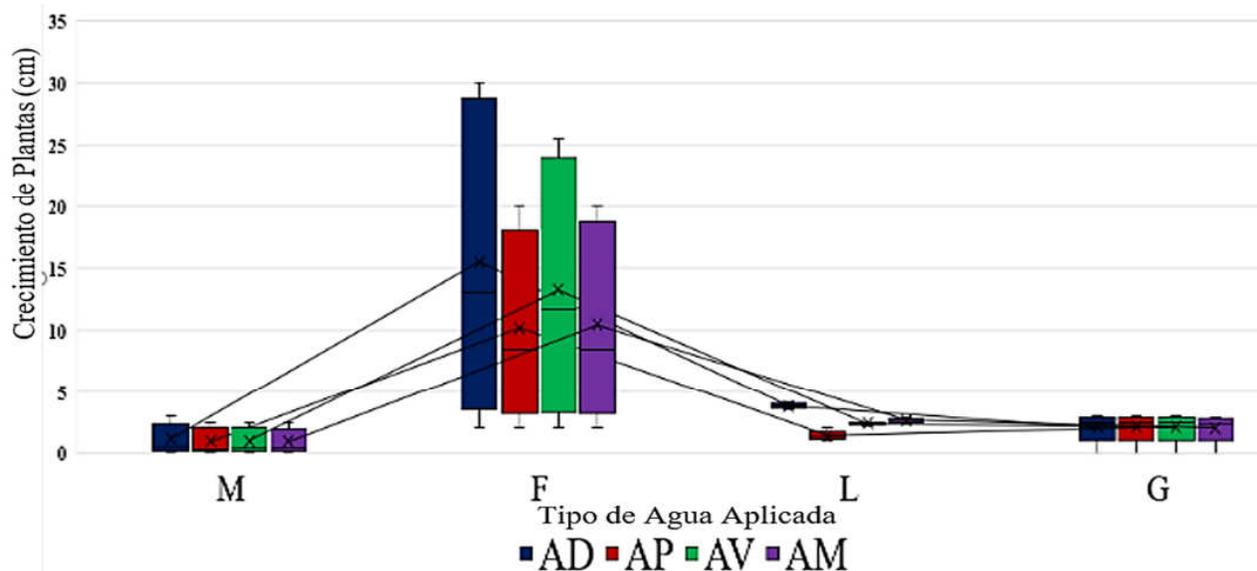


Figura 12. Crecimiento de plantas. AD. agua desalinizada, AP. agua potable, AV. agua de lluvia, AM. agua de mar, M. maíz, F. frijoles, L. lentejas, G. guandú

del sistema, sin causar una mayor afectación ambiental, y así servir como medida alternativa para sobrellevar la problemática que hoy en día es una de las mayores preocupaciones no solo de la región sino a nivel mundial

Este estudio demuestra que sí es posible obtener agua de buena calidad por desalinización y de manera sostenible utilizando energía solar en vez de métodos convencionales de producción de energía eléctrica. Por otra parte, se sientan las bases para que se considere replicar Aqua plantae a gran escala, y de esta forma brindar agua a lugares del país que lo necesiten con urgencia, y sobre todo en períodos de sequía en los que se pone en riesgo la producción de alimentos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing., J. J. Candanedo especialista en suelos, Ing., Miguel Rudas por brindarnos sus ideas técnicas en cuanto al montaje del microsistema de agua salada, al Dr. José Villarreal, Investigador Agrícola Ing. Jhon Alexander Villalaz Pérez, y a la Lic. Leyda Aguilar por sus aportes en ideas sobre salinidad en suelos y cultivos.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Fundación Aqueae, «Fundación Aqueae,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaqueae.org/wiki-aqueae/datos-del-agua/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>. [Último acceso: 6 abril 2018].
- [2] UNEP, «UNEP LIVE,» 2016. [En línea]. Available: <http://content.yudu.com/web/2y3n2/0A2y3n3/GEO6-LAC/html/index.html>. [Último acceso: 3 mayo 2018].
- [3] C. A. M. B. S. C. J. C. G. C. E. R. A. J. A. K. P. M. S. B. M. M. L. M. U. O. S. P. V. R. M. V. Gardi, «Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea,» 2014. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/260511837\\_Soil\\_Atlas\\_of\\_Latin\\_America\\_and\\_Caribbean](https://www.researchgate.net/publication/260511837_Soil_Atlas_of_Latin_America_and_Caribbean). [Último acceso: 15 mayo 2018].
- [4] ANAM-SENACYT, «Mi Ambiente,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES\\_DE\\_SEQUIA\\_Y\\_DEGRADACION.pdf](http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES_DE_SEQUIA_Y_DEGRADACION.pdf). [Último acceso: 25 abril 2018].
- [5] Mi Ambiente, «Atlas de las Tierras Secas y Degradadas de Panamá,» 21 mayo 2017. [En línea]. Available: [http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/atlas\\_tierras\\_secas.pdf](http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/atlas_tierras_secas.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [6] ANAM-SENACYT, «Mi Ambiente,» [En línea]. Available: [http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES\\_DE\\_SEQUIA\\_Y\\_DEGRADACION.pdf](http://www.miambiente.gob.pa/images/stories/BibliotecaVirtual/Img/CambioClimatico/INDICADORES_DE_SEQUIA_Y_DEGRADACION.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [7] La Estrella de Panamá, «Panamá,» Durante el 2016 la sequía se extenderá por 7 meses, p. 1, 21 septiembre 2015.
- [8] D. R. Tejeira, «Universidad de Panamá Facultad de Ciencias Agropecuarias,» mayo 2016. [En línea]. Available: [http://www.up.ac.pa/ftp/2010/f\\_agropecuaria/documentos/SU\\_ELO.pdf](http://www.up.ac.pa/ftp/2010/f_agropecuaria/documentos/SU_ELO.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [9] El Comercio, «Panamá sufre una de las peores sequías de los últimos 100 años,» El sol abrasador y escasez de agua golpea a la provincia de Los Santos, p. 1, 29 enero 2016.
- [10] La Estrella de Panamá, «Economía,» Población estimada de Panamá es de 4,058,372, según el INEC, p. 1, 2 noviembre 2016.
- [11] F. F. Pliego, «Blog La Calidad Ambiental,» Fernando Follos Pliego, 1 junio 2013. [En línea]. Available: <http://ferfollos.blogspot.com/2013/06/oasis-artificiales-con-agua-de-mar.html>. [Último acceso: 5 abril 2018].
- [12] ETESA, «ETESA S.A.,» [En línea]. Available: [http://www.hidromet.com.pa/clima\\_panama.php](http://www.hidromet.com.pa/clima_panama.php). [Último acceso: 7 abril 2018].
- [13] UNESCO, «Phi-LAC,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.hidromet.com.pa/documentos/Balance\\_Hidrico\\_Superficial\\_Panama\\_1971-2002.pdf](http://www.hidromet.com.pa/documentos/Balance_Hidrico_Superficial_Panama_1971-2002.pdf). [Último acceso: 6 abril 2018].
- [14] «CLIMATE-DATA.ORG,» [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/location/5885/>. [Último acceso: 6 abril 2018].
- [15] S. Arnalich, Abastecimiento de Agua por Gravedad, Arnalich Santiago, 2008.
- [16] J. F. Fernández, «iAgua,» iAgua Conocimiento S.L., 21 12 2015. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/iriego/riego-agricola-goteo-subterraneo>. [Último acceso: 1 abril 2018].
- [17] Fundación Aqueae, «Fundación Aqueae,» 2016. [En línea]. Available: Cifras de porcentaje de agua en el mundo: <https://www.fundacionaqueae.org/wiki-aqueae/datos-del-agua/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>. [Último acceso: abril 2018].
- [18] Tecnometro, «TECNOMETRO,» 4 septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://tecnometro.blogspot.com/2008/09/invernaderos-con-agua-de-mar-para-darle.html>. [Último acceso: 24 junio 2016].
- [19] A. Escario, «Dipler,» 31 diciembre 2008. [En línea]. Available: <http://www.dipler.org/2008/12/el-teatro-del-agua/>. [Último acceso: 24 junio 2016].
- [20] Global Water Forum, «Global Water Forum, » Global Water Forum, 28 mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.globalwaterforum.org/2012/05/28/seawater-greenhouse-a-new-approach-to-restorative-agriculture/>. [Último acceso: 5 abril 2018].
- [21] Joakim Hauge, «Sahara Forest Project, » Sahara Forest Project, Inc, 2015. [En línea]. Available: <https://www.saharaforestproject.com/>. [Último acceso: 5 abril 2018].

- [22] A. Martínez, «Desenchufados.net.» [En línea]. Available: <https://desenchufados.net/proyecto-bosque-del-sahara-invernaderos-de-agua-salada-y-concentradores-solares/>. [Último acceso: 8 abril 2018].
- [23] A. J. Chapman, «Conductividad Térmica de los materiales,» de Transmisión de Calor, Madrid, España, Bellisco, 1984, pp. 23-32.
- [24] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th ed.), Washington DC: American Public Health Association, 1998.
- [25] W. Forythe, Manual de laboratorio de física de suelos., San José, Costa Rica: Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1974.
- [26] «La Barulla Blog,» 10 diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://labarulla.blogspot.com/2015/12/el-escarabajo-de-namibia.html>. [Último acceso: 5 abril 2018].
- [27] D. Civantos, «La Información.com,» 7 julio 2010. [En línea]. Available: [http://blogs.lainformacion.com/futuretech/2010/07/07/roci/](http://blogs.lainformacion.com/futuretech/2010/07/07/rocio/). [Último acceso: 9 abril 2018].
- [28] J. E. Villarreal, «Clasificación Taxonómica y Caracterización Físicoquímica de los Suelos de la Región de Azuero,» IDIAP, octubre 2017. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/320911289\\_CLASIFICACION\\_TAXONOMICA\\_Y\\_CARACTERIZACION\\_FISICOQUIMICA\\_DE\\_LOS\\_SUELOS\\_DE\\_LA\\_REGION\\_DE\\_AZUERO-PANAMA?enrichId=rgreq-e6620018a32542d306d7807dfca798c3-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMDkxMTI4OTtBUzo1NTgxN](https://www.researchgate.net/publication/320911289_CLASIFICACION_TAXONOMICA_Y_CARACTERIZACION_FISICOQUIMICA_DE_LOS_SUELOS_DE_LA_REGION_DE_AZUERO-PANAMA?enrichId=rgreq-e6620018a32542d306d7807dfca798c3-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMDkxMTI4OTtBUzo1NTgxN.). [Último acceso: 2 mayo 2018].
- [29] M. A. M. Redondo, «iAgua,» iAgua Conocimiento S.L., 24 4 2017. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>. [Último acceso: 25 abril 2018].