

Manejo del riego con aguas de salinidad media en la Casa de Cultivo Protegido Cabacú

Irrigation Management with Medium Salinity Water in the Cabacú Protected Crops House



<https://cu-id.com/2177/v32n1e016>

✉Pável Vargas-Rodríguez^{I*}, ✉Alberto Méndez-Jocik^{II}, ✉Fernando Pérez-Quintero^{III},
✉Rafael Pacheco-Moya^I, ✉Osvaldo André Paulo Ferreira-da Silva^{IV}

^IUniversidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Santiago de Cuba, Cuba.

^{II}Empresa Nacional de Proyectos Ingeniería, Departamento de Diseño, La Habana, Cuba.

^{III}Oficina del Conservador de la Ciudad. Santiago de Cuba (Cuba).

^{IV}Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

RESUMEN: El movimiento de las mareas en el litoral norte de la ciudad de Baracoa afecta la calidad del agua en la fuente de abasto para el riego de la UEB Cultivo Protegido Cabacú, esta situación disminuye la agroproductividad de los suelos, la calidad y el rendimiento de los cultivos y conlleva a establecer un procedimiento para el manejo del riego, teniendo en cuenta el movimiento de las mareas. En este sentido, se determinaron los parámetros agronómicos del sistema de riego por goteo, así como la dosis de lavado necesaria, para mantener la salinidad en niveles apropiados para los cultivos. Como resultado, se estableció un procedimiento para el manejo del sistema de riego con aguas de salinidad media que contribuye a incrementar la calidad y el rendimiento de cultivos altamente valorados por los pobladores del Consejo Popular Cabacú.

Palabras clave: dosis de riego, dosis de lavado, intrusión salina, agua de lavado.

ABSTRACT: The movement of the tides on the north coast of the Baracoa city affects the water quality in the supply source for the irrigation of Cabacú Protected Crops. This situation reduces the agro productivity of the soil, the quality and yield of the crops and leads to the establishment of a procedure for the management of irrigation, taking into account the movement of the tides. In this sense, the agronomic parameters of the drip irrigation system were determined, as well as the necessary leaching dose to maintain appropriate salinity levels for the crops. As a result, a procedure was established for the management of the irrigation system with saline water that contributes to increase the quality and crop yields highly valued by the inhabitants of the Cabacú Popular Council.

Keywords: Irrigation Deep, Leaching Dose, Saline Intrusion, Leaching Water.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con [Van Hoorn \(1979\)](#) y [Van Alphen \(1983\)](#), citados por [Ritzema \(1994\)](#), la aplicación del agua de riego implica el aporte de sales al suelo; aun cuando ésta sea de excelente calidad, se le considera la principal fuente de aporte de sales solubles al suelo. Siempre que se pretenda evitar la salinización de los suelos, la solución implica el lavado de sales de la zona radicular utilizando la capacidad de percolación del suelo, sin embargo el agua de percolación conlleva a la elevación del nivel freático, resultando en la segunda fuente de salinización de los suelos, por ello las soluciones de drenaje deben complementar los programas de lavado y recuperación de suelos salinos,

especialmente en las regiones húmedas de clima cálido.

La investigación se desarrolló en la UEB Casa de Cultivo Cabacú, el objeto social de la misma es la producción de hortalizas y vegetales para abastecer al turismo y a la población del Consejo Popular Cabacú. Se constató que la presencia de tenores salinos inapropiados afectaba la agroproductividad del sustrato y los rendimientos de los cultivos ([Matos, 2017](#)). Esta situación se agrava con la mala calidad del agua de riego, debido a la influencia de la intrusión salina en la fuente de abasto. Provocada por una cuña de agua de mar, que penetra 1km dentro del río y con una conductividad eléctrica = 3,6 dS/m.

*Author for correspondence: Pável Vargas-Rodríguez, e-mail: pvargas@uo.edu.cu

Recibido: 19/03/2022

Aceptado: 09/12/2022

En este sentido, se observaron coloraciones amarillentas en el cultivo de pepino debido a las deficiencias de (Mg), así como un color negro en las plantas de tomate (Culillo del tomate) debido a las deficiencias de (Ca). Esta cuña salina está vinculada con el movimiento de las mareas. Se midieron valores del $\text{pH} \geq 10$, lo cual contribuyó a que continúe apareciendo el culillo en el tomate, el encorvamiento y quemaduras de las hojas, demostrando la alta concentración de sales existente e influye negativamente en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por estas razones, los rendimientos obtenidos de 7 t/ha son inferiores a los potencialmente esperados de 12 toneladas por casa de cultivo.

A pesar de cambiar el sustrato y aplicar la siembra en bolsas y/o en canteros mejorados con materia orgánica, no se ha resuelto el problema provocado por el empleo de agua de riego de mala calidad, por el contrario, el nivel de salinización del sustrato se incrementó. Esta situación impone tomar medidas durante el manejo de la misma que contribuyan a recobrar las producciones, por la vía de recuperar las propiedades del sustrato y evitar su contaminación, mejorar la calidad del agua de riego y establecer normas de lavado junto con la dosis de riego que conlleven a mantener los rendimientos deseados. Estos argumentos conllevan a afirmar que: El movimiento de las mareas en el litoral norte de la ciudad de Baracoa afecta la calidad del agua para el riego en la UEB Cultivo Protegido Cabacú, afecta la agroproductividad de los suelos y provoca la disminución de los rendimientos de los cultivos (Figura 1).

La solución concibe programar un lavado para la recuperación del sustrato y establecer un procedimiento para el manejo del sistema de riego por goteo con aguas de salinidad media, a partir del comportamiento de las fases lunares, e implica: Revisar el estado actual del arte referido a los métodos de lavado y recuperación de suelos salinos, con énfasis en el manejo del riego con aguas de salinidad media; Caracterizar el caso de estudio; Determinar las dosis de lavado para la recuperación del sustrato y para mantener su calidad; calcular los parámetros agronómicos del sistema de riego y proponer medidas para el manejo del sistema de riego por goteo, considerando el movimiento de las mareas.

Revisión bibliográfica

La mineralización de aguas salinas depende de factores climáticos e hidrogeológicos, los lavados con agua de lluvia eliminan sales de la zona radicular, la evapotranspiración consume agua, pero no elimina las sales, aumentando la concentración salina de las aguas. Donde predominen los factores salinizantes frente a los de lavado, las aguas freáticas irán mineralizándose, Pizarro (1985), citado por Martínez (2001). De acuerdo con este autor, cuando las aguas freáticas salinas se encuentran próximas a la superficie ($\leq 3\text{m}$), ésta puede salinizarse como consecuencia del aporte capilar de las sales, perjudicando el desarrollo de los cultivos (Pizarro, 1996).

Cuando el contenido de Sodio es elevado en relación con los demás cationes, este elemento puede ser absorbido por el complejo de cambio en cantidades excesivas, dispersando las partículas arcillosas y debilitando la estructura y la permeabilidad del suelo. Este es generalmente el proceso de salinización de los suelos, y la naturaleza de las sales depende del origen de las aguas.

Efectos de la salinidad sobre el suelo y los cultivos

Según Martínez (2001), los efectos de las sales del suelo se pueden resumir en:

1. Efecto osmótico de las sales disueltas.
2. Efectos del sodio adsorbido.
3. Toxicidad de algunos iones.

La presencia de sales disueltas en la solución del suelo exige mayor esfuerzo de las plantas para absorber el agua y los nutrientes, este esfuerzo se traduce en que parte de la energía de origen metabólico de que dispone la planta se utilice en la absorción de agua, en detrimento de otras funciones que también requieren energía, como el crecimiento y la floración. Cuanto mayor es la concentración salina del agua del suelo, mayor es la presión osmótica que las plantas han de superar y puede llegar un momento en que la absorción de agua se detiene. Por esta razón los síntomas de salinidad coinciden con los de sequía y esto explica la aparente paradoja de que las plantas experimentan sequía en tierras con abundancia de agua salina Pizarro (1985).



FIGURA 1. Efectos de la salinidad en los cultivos, Matos et al (2017).

Martínez (2001) refiere a Pizarro (1985), quién reconoce la utilidad de la información recopilada por Ayers y Westcot (1987), la cual permite estimar la tolerancia de las plantas a la salinidad, por medio de una ecuación deducida a partir de datos obtenidos del Laboratorio de Salinidad de EE.UU y otros autores, incluidos los de Maas y Hoffman (Van Hoorn, 1981). Estos autores encontraron que entre la salinidad de la solución del suelo y la producción de los cultivos existe una relación lineal y propusieron una fórmula que relaciona un porcentaje de la producción de distintos cultivos con la salinidad del suelo, expresada en términos de conductividad eléctrica en la solución del suelo (CE_e) y medida en dS/m, la cual permite estimar la respuesta de los cultivos a la salinidad:

$$P = 100 - b(CE_e - a) \leq 100 \quad (1)$$

donde:

P.-Producción del cultivo en % respecto al máximo.

a.- Es el valor umbral de la salinidad para cada cultivo, por debajo del cual el cultivo no experimenta disminución de los rendimientos por causa de la salinidad.

b.- Es la relación entre las variaciones de P y las de la salinidad: $b = -\frac{\Delta P}{\Delta CE_e}$, donde el signo menos indica que cuando CE_e aumenta, P disminuye.

Aplicando (1) a la gran cantidad de datos recopilados por Ayers y Westcot (1987), se obtuvieron los valores de los parámetros a y b para distintos cultivos, estos valores son indicados por Pizarro (1985) (Figura 2). Hay que advertir que para las hortalizas, durante la germinación y primera fase de la plántula la resistencia a la salinidad es menor que en las fases siguientes, sin embargo los datos tabulados se refieren a las fases posteriores (desde el crecimiento a la madurez). Este mismo autor, también refiere los valores de la resistencia (a) y de la sensibilidad (b) a la salinidad de una gran variedad de cultivos.

Prácticas agrícolas contra la salinidad

Van Alphen y Ochoa (2004) confirman que la solución definitiva del problema de la salinidad consiste en la recuperación de los suelos afectados mediante la aplicación de enmiendas químicas y/o la aplicación de técnicas de lavado. Sin embargo, existen una serie de prácticas agrícolas que ayudan a disminuir los efectos nocivos de las sales, según Martínez (2001) se pueden agrupar en:

1. Elección de cultivos: De acuerdo con Maas y Hoffman la tolerancia de los cultivos a la salinidad, aporta criterios que permiten seleccionar los cultivos que se adapten a cada condición particular. Además de la resistencia a la sal, otro criterio lo constituye la capacidad de absorción de las sales del suelo.
2. Mejora de la resistencia de las plantas a la salinidad: Se basan en obtener variedades resistentes por medio de la selección artificial, el

cruzamiento intervarietal y la hibridación, el tratamiento de semillas con aguas saladas antes de la siembra y la vernalización en soluciones nutritivas, así como el tratamiento con inhibidores del crecimiento que hacen a las plantas más resistentes a las sales.

3. Abonado: El empleo como abono de sales muy solubles, sobre todo potásicas, aumenta la concentración en sales de la solución del suelo, con sus correspondientes efectos nocivos, por tanto se deben preferir abonos menos solubles. Otra medida de fertilización conveniente es el empleo de abonos orgánicos y abonos foliares.
4. Métodos y prácticas de riego: El método de riego por subirrigación debe desecharse cuando hay problemas de salinidad. El riego superficial presenta las siguientes ventajas sobre el riego por aspersión, en el caso de suelos o aguas salinas:
 - a. Permite lavados más energéticos.
 - b. La aplicación sobre las partes aéreas de las plantas de aguas salinas causa ciertos perjuicios. Por ejemplo, en riego por aspersión de cítricos con agua conteniendo cloruros, que producen quemaduras en las hojas.
 - c. El riego por aspersión tiene la ventaja de proporcionar al suelo una distribución mucho más regular del agua, el riego superficial puede provocar la salinización de los suelos más fácilmente que el de aspersión, sin embargo, es más efectivo en la recuperación de suelos ya salinizados. La salinización de los suelos ocasionada por el riego, depende más de un adecuado manejo del agua, en particular del exceso de agua de riego, que de la técnica empleado para su aplicación.

Prácticas de riego indicadas ante problemas de salinidad:

1. Aplicar riegos con mayor frecuencia y menor dosis de lo que se haría si no hubiese problemas de sal. De esta manera la humedad del suelo no se aparta mucho de la capacidad de campo y las sales no alcanzan una concentración excesiva.
2. Las lluvias de pequeñas cuantía suelen ser contraproducentes porque lavan las sales de la superficie del terreno, acumulándolas en la zona radicular. Por esta razón, a continuación de una lluvia ligera es recomendable aplicar agua de riego, con objeto de lavar las sales acumuladas en la zona radicular.
3. Entre las distintas técnicas de riego superficial, el que necesita un manejo más cuidadoso en el caso de salinidad es el riego por surcos.
4. El riego localizado permite riegos de alta frecuencia, mantiene altos niveles de humedad en

el sustrato y disminuye la concentración de sales [Vargas \(2003\)](#).

5. De acuerdo con [Rodríguez \(2006\)](#), el riego por goteo es poco eficiente para el lavado de las sales, la distribución de las sales que ocurre presenta varios inconvenientes:
 - a. En caso de lluvia las sales se introducen en el bulbo húmedo, que es donde operan la mayoría de las raíces. Por tal razón en caso de lluvia no conviene detener el riego, al menos en las fases iniciales y de crecimiento y desarrollos de los cultivos.
 - b. La acumulación superficial puede afectar la germinación cuando las raíces aún no alcanzan el bulbo húmedo, sobre todo en cultivos hortícolas, donde al cambiar de cultivo, las semillas pueden colocarse en zonas salinizadas, es conveniente provocar un lavado con el agua de lluvia o con riego por aspersión.

Calidad del agua de riego

[Depeweg y Otero \(2004\)](#) afirman que el concepto de calidad de agua de riego se refiere a las características del agua que puedan afectar el complejo suelo - planta después de su uso a largo plazo. En ocasiones, el agricultor utiliza dosis de riego para los cultivos, sin tener en cuenta la calidad del agua, [Olías et al. \(2005\)](#) comenta que con cierta frecuencia en la estimación de la dosis de riego se ignora que la calidad de las aguas, puede exigir una cantidad extra que garantice el lavado de las sales. Esto implica el riesgo de que el uso continuado de aguas con un cierto tenor salino, propicie la disminución del rendimiento de los cultivos y el deterioro de los suelos ([Masselink y Short, 1993](#)).

La calidad del agua para riego depende del contenido y tipo de sales, los efectos pueden ser:

1. *Salinidad*: a medida que aumenta el contenido de sales en la solución del suelo, se incrementa la tensión osmótica, por tanto, la planta tiene que hacer mayor esfuerzo para absorber el agua y los nutrientes por las raíces.
2. *Infiltración del agua en el suelo*: contenidos relativamente altos de sodio y bajos de calcio provocan que las partículas de suelo tiendan a disgregarse, ocasionando una reducción en la velocidad de infiltración del agua, que puede implicar poca disponibilidad de agua en el suelo.
3. *Toxicidad*: los iones de sodio, cloro y boro, se pueden acumular en los cultivos en concentraciones suficientemente altas como para reducir el rendimiento de las cosechas y facilitar la obstrucción de algunos sistemas de riego.

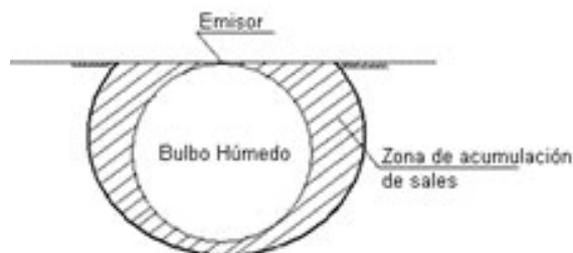


FIGURA 2. Localización de las sales en el riego por goteo [Pizarro \(1985\)](#).

4. *Otros efectos*: en ocasiones hay que considerar los nutrientes contenidos en el agua de riego, con el fin de limitar la fertilización o para evitar la corrosión excesiva en el equipo de riego, aumentando costos de mantenimiento.

Los criterios generales que se emplean para evaluar la aptitud del agua para el riego agrícola, pueden ser valorados en función de los siguientes indicadores [Gleick \(2003\)](#):

1. Contenidos de sales solubles: Sales Solubles Totales (*SST*), Conductividad Eléctrica (*CE*), Salinidad Efectiva (*SE*) y Salinidad Potencial (*SP*).
2. Efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos: Relación de adsorción de sodio (*RAS*) y Porcentaje de Sodio Posible (*PSP*).
3. Contenidos de elementos tóxicos para la planta, p.ej. cloruros, sodio y bicarbonatos.

Programación de Lavados con el agua de riego

Cuando se trata de terrenos ya desalinizados en los que se pretende evitar la resalinización, las necesidades de lavado se suelen expresar como un porcentaje de agua de riego aplicada, añadiendo una cantidad extra, de forma que una vez que el suelo alcanza la capacidad de campo, el exceso de agua percola dirigiéndose a capas más profundas. Sin embargo, a pesar de que las pérdidas por percolación tienen el mismo efecto que el agua de lavado, en la mayoría de los regadíos que disponen de un buen drenaje, la salinidad no ha aumentado por que las sales son lavadas por las pérdidas de riego.

La cuantía de las pérdidas por percolación depende del tipo de suelo, la técnica de riego y la habilidad del operador, si las necesidades de lavado son inferiores a las pérdidas por percolación, el lavado está asegurado. Sin embargo, estas pérdidas no tienen una distribución uniforme. Por esta razón es preferible no confiar la totalidad del lavado a las pérdidas de riego y añadir agua en exceso, en las zonas menos lavadas.

Lavado de sales en Riego Localizado

En los sistemas de riego localizado, el régimen de sales en el suelo se ve afectado por la alta frecuencia y por la localización de los riegos. En el caso de la alta frecuencia su efecto es positivo, ya que permite un manejo del agua de riego favorable para la absorción de agua y nutrientes de los cultivos. Después de la aplicación de un riego, las sales que contenía la solución del suelo, más las aportadas por el agua de riego se encuentran disueltas en el agua del suelo. A partir de ese momento la evapotranspiración disminuye la humedad del suelo, pero no elimina las sales disueltas. En consecuencia, la concentración salina va aumentando hasta que se aplica el riego siguiente, cuanto mayor sea el intervalo entre riegos, mayor será la salinidad presente en la solución del suelo antes del próximo riego.

De acuerdo con [Cruz-Bautista et al. \(2016\)](#), citado por [Vargas et al. \(2021\)](#), el efecto de las sales disueltas es aumentar la presión osmótica de la solución y en consecuencia dificultar la absorción de agua por las raíces, fenómeno que se suma a la mayor dificultad de absorción debida a la disminución de humedad. La alta frecuencia en los riegos facilita la absorción de agua por el doble efecto de mantener alta humedad y baja la salinidad. Con relación al efecto de la localización, la distribución de las sales en el perfil del suelo es una consecuencia del régimen de humedad, las sales se acumulan en la periferia del bulbo y sobre todo en la superficie del suelo, las dimensiones de estas zonas dependen de la distribución de la humedad.

Los volúmenes de agua aplicados afectan la forma del bulbo y la distribución de las sales, esta, tiene consecuencias agronómicas, por una parte favorece la concentración de las raíces en la zona de mayor humedad y menor salinidad, pero, en la periferia del bulbo establece una barrera al desarrollo de las raíces, lo que dificulta que las mismas exploren la parte de suelo situada fuera del bulbo húmedo. Esto convierte al sistema más dependiente del riego, las lluvias ligeras pueden ser contraproducentes, al arrastrar las sales superficiales e introducirlas en zonas donde abundan las raíces. Por ello conviene no detener el riego en presencia de lluvias ligeras.

Papel de las mareas en la intrusión salina

[Edimar-Cuba \(2016\)](#), define la intrusión salina en acuíferos costeros como el aumento de la salinidad en las aguas subterráneas en contacto con el mar, provocado por actos humanos, siendo un caso particular de la contaminación de los recursos hídricos subterráneos. [Pérez \(2001\)](#), asegura que la penetración de agua salada en zonas costeras se caracteriza por el movimiento del agua de mar hacia los acuíferos libres o confinados y origina el desplazamiento del agua dulce de estos acuíferos por efecto de una sobreexplotación del acuífero y por la oscilación de las mareas.

Este último autor refiere también que los métodos sugeridos para controlar la intrusión salina consideran: La reducción de la extracción; La redistribución de la situación de los pozos y de la intensidad de la extracción, sin variar la explotación total; La recarga artificial directa; El mantenimiento de una barrera de agua por encima del nivel del mar a lo largo de la costa y la construcción de barreras subterráneas artificiales.

Se pudo comprobar que el agua de la fuente de abasto que se utiliza para el riego, no es la adecuada por la alta concentración de sales provocada por la penetración de la cuña salina. Por tanto, las soluciones deben concebir el mejoramiento de las condiciones en la obra toma, sin disminuir los caudales ecológicos del río, así como la programación de lavados de recuperación y de mantenimiento junto con el agua de riego que conlleven a disminuir la salinidad del sustrato y a mejorar la calidad del agua para el riego, de manera que resulte más efectiva la aplicación apropiada de materia orgánica y las acciones de manejo del agua de riego.

Manejo del riego con agua salina

El cultivo no se desarrolla en el agua de riego, sino en la solución del suelo donde las sales están mucho más concentradas. Cuando se utiliza agua con un nivel de salinidad alto, se debe evitar en lo posible la acumulación de las sales en la zona radicular y manejar la fertirrigación para que se reduzca la absorción de elementos tóxicos.

El riego por goteo es el más indicado para su uso con agua salina, ya que permite mantener en la zona radicular una humedad cercana a la capacidad de campo, lo que evita una concentración alta de sales, e infiere que la zona del bulbo mojado que ocupan las raíces se humedece frecuentemente, lo que previene la acumulación de sales, además no se mojan las hojas con el agua de riego.

Cuando se riega por goteo, el sistema radicular de la planta es más reducido y, además, hay un lavado constante, por lo que es necesario fertilizar todo el tiempo para evitar carencias y desequilibrios. También hay que tener en cuenta que existe un riesgo en el momento en que comienzan las lluvias, ya que si no llueve lo suficiente como para desplazar las sales por debajo de la zona radicular, el agua de lluvia puede introducir a la zona radicular las sales acumuladas en la parte superior del bulbo mojado principalmente en el cultivo semiprotegido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del caso de estudio

La UEB Casa de Cultivo está ubicada en Cabacú, ciudad de Baracoa provincia Guantánamo, pertenece a la Empresa Agroforestal y Coco. Limita al Norte con

áreas de pastoreo de ganado, por el Este con el Círculo Infantil y escuela primaria Salvador Pascual, por el Sur con viviendas particulares y el Huerto 13 de agosto, y por el Oeste con la fábrica de Ladrillos y otro grupo de viviendas particulares. El objeto social de la misma es el aseguramiento de todo el proceso de producción de hortalizas y vegetales con destino a la población aledaña y al turismo.

La instalación está compuesta por 24 casas de cultivos y dispone de dos sistemas de riego, uno con la técnica de riego por aspersión convencional de baja presión para el beneficio de cultivos a cielo abierto y otro con la técnica de riego por Goteo para las Casas de Cultivos. Los principales cultivos son: Pepino, Tomate, Melón, Lechuga, Repollo y Espinaca (los tres últimos se riegan por aspersión).

Está conformada por 30 módulos de Casas de Cultivo Protegido, de las cuales 16 presentan dimensiones de 20×40 m y 14 presentan dimensiones de 12×15 m. dispone además de una Casa de Posturas de 12×15 m y una Unidad de Organopónico Semiprotegido de 1 ha, irrigados ambos con un sistema de riego localizado por micro aspersión. Tiene previsto también la instalación de un área de lombricultura, una nave de preparación de sustratos, y un centro de beneficio para el área semiprotegida.

Parámetros agronómicos

Para las Casas de Cultivo:

Se utilizó el emisor de goteo TWIN DRIP integrado en tubería de PEBD de $15,50 \times 13,50$ mm, que descarga 2,00 L/h con una presión de trabajo de 98,04 kPa y 2,45 L/h con 147,06 kPa respectivamente. El coeficiente de variación de fabricación C_v es de 0,3% lo cual lo sitúa en la categoría A de la norma ISO internacional. La separación entre emisores es de 0,40 m y la separación entre laterales de 1,0 m, para una intensidad de aplicación media horaria de 5,00 mm/h para los goteros de 2,0 L/h y de 6,12 mm/h para los goteros de 2,45 L/h.

Las necesidades de agua puntas se estimaron en 3,5 mm/día, el riego se aplicó entre 0,67 y 0,82 horas en cada caso, y una frecuencia diaria. El tiempo máximo disponible para el riego diario resultó 8,0 horas, el mismo se distribuye en 12 turnos para el bloque compuesto por casas de cultivo de 20×40 m y 7 turnos de riego para el bloque compuesto por casas de cultivo de 12×45 m (en esta últimas el tiempo máximo de operación disminuye hasta 5,74 horas).

Para las Casas de Posturas:

Se utilizó un conjunto microaspersor de producción nacional de la serie "C" 2×140^0 con diámetro de boquilla 1,0 mm el cual entrega un caudal de 40,65 L/h con una presión de trabajo de 147,06 kPa, estos emisores están dispuestos sobrelínea espaciados 1 m a lo largo de las tuberías laterales. La separación entre laterales es de 2 m, ubicándose cada uno sobre



Fuente: Archivos del proyecto de la obra.

FIGURA 3. Obra de toma próxima a la desembocadura del río Miel, hacia la fuente de abasto de la Unidad CC Cabacú.

cada hilera de bandejas (seis en total). La intensidad de aplicación que se obtuvo con este espaciamiento es de 20,32 mm/h. Se estimó una necesidad de agua punta de 5,0 mm/día. La garantía de esta dosis considerando la intensidad de aplicación de 20,32 mm/h y un intervalo de riego diario se obtiene con un tiempo de aplicación de 0,28 h.

Para la Unidad de Organopónico Semiprotegido:

Se utilizó el mismo conjunto microaspersor, la necesidad de agua punta resultó de 4,0 mm/h. Con la intensidad de aplicación de 20,32 mm/h y un intervalo de riego diario, el tiempo de aplicación resultó de 0,23 h. El tiempo disponible para el riego diario es de 8,0 h. Se consideró conveniente subdividir el área total en 24 turnos de lo cual resultó un tiempo de operación máximo real de 5,52 h.

Datos de la fuente de abasto

La constituye el río Miel situado al suroeste del municipio Baracoa, tiene una longitud total de 30,6 km y las coordenadas de la desembocadura se ubican en N 189.000 y E 745.400 a 200m de las áreas de riego, pero la calidad del agua en la instalación no es la adecuada para el riego, la obra de toma se encuentra al aire libre y desprotegida, como se muestra en la foto de la [Figura 3](#). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Electromagnetismo Aplicado perteneciente al CNEA en la Universidad de Oriente, el mismo cuenta certificación internacional de normas de calidad.

El muestreo se realizó conforme a la Norma Cubana, NC-93-02 (1985) y para dos momentos vinculados con el periodo húmedo y seco. Los resultados de los diferentes indicadores de calidad de las aguas se compararon con las clasificaciones de agua de riego propuestas por [Ayers y Westcot \(1987\)](#),

el índice de Scott y las Normas Riverside. Las muestras se tomaron de dos fuentes diferentes, una del pozo donde se encuentra ubicado la estación de bombeo y la otra del río Miel, las muestras tomadas en las fuentes corresponden a marea baja y marea alta. Los resultados obtenidos están referidos a los siguientes indicadores: Oxígeno Disuelto, Conductividad eléctrica, pH, Salinidad y las Sales Disueltas Totales. Los muestreos no se realizaron durante la explotación del pozo.

Al comparar los diferentes indicadores de calidad evaluados con los valores óptimos propuestos por otros autores, se encontró que el pH promedio en todas las muestras es $7,86 \pm 0,25$, con un mínimo $7,66 (\pm 0,02)$ y un máximo de $8,29 (\pm 0,06)$, sólo resultando ligeramente alcalino ($\text{pH} < 8$) en uno de los muestreos que se realizó en el río, principalmente en marea baja. Los valores reportados están dentro del rango (6-8,5) establecidos por diferentes criterios de calidad de agua.

La conductividad eléctrica (CE) promedio es de $0,514 \pm 0,04$, con un mínimo $0,275 (\pm 0,02)$ dS/m y un máximo de $0,756 (\pm 0,01)$ dS/m. Los valores reportados están igualmente dentro del rango (0-3). Las muestras tomadas en el río obtuvieron los valores menores en el rango (0,275-0,290), las muestras pertenecientes al pozo duplicaron a estos valores. Los valores máximos correspondientes del río y del pozo fueron tomados con la marea alta, se observó que la (CE) de las muestras en una misma fuente se incrementa con la oscilación de la marea, además que dentro del pozo los valores son mayores debido a que el cono de abatimiento se acerca a la cuña de intrusión salina como ocurre en los acuíferos costeros, [Pérez \(2001\)](#) este último caso se pudiera incrementar debido a una explotación excesiva.

Datos climáticos

Está caracterizado por la influencia de los vientos Alisios del Noreste durante los meses mayo a octubre y del Este y Sureste durante los meses de noviembre a abril asociados la actividad de anticiclones del Atlántico Norte y al relieve del área que forman barreras orográficas. La temperatura media anual es de $25,8^\circ\text{C}$ con valores mensuales medios entre $23,7$ en enero y $27,7^\circ\text{C}$ en julio y agosto. Precipitación media $1683,3$ mm/año, los meses de menor promedio registran más de $90,0$ mm y los más lluviosos por encima de $250,0$ mm. No existe diferencia estacional significativa, el clima en esta zona clasifica como tropical lluvioso de selva, y humedad relativa anual de 82% .

Características de los cultivos

Pepino, tomate, pimiento y melón.
Marco de siembra: $0,15 (0,15)$ cm.
Profundidad radicular: 80 cm.

Altura del cultivo: 80 cm.

Humedad relativa mínima = 70% y máxima = 80%

A pesar de cambiar el sustrato en reiteradas ocasiones, aún no se ha logrado disminuir el tenor salino y además persiste la mala calidad del agua de riego. La siembra en bolsas de nylon y la siembra en canteros con materia orgánica, tampoco han conllevado a obtener los rendimientos deseados. Los análisis indican la necesidad de mejorar la cisterna y programar lavados de recuperación y de mantenimiento de los suelos, además de utilizar el agua para el riego en correspondencia con la oscilación de las mareas y mantener la aplicación de materia orgánica.

Los niveles de salinización en el cultivo semiprotegido fueron menores que en las casas de cultivo, por la influencia de la lluvia que generalmente tiene pH neutro y disminuye los niveles de sales en el sustrato, propiciando el incremento de los rendimientos. En las casas de cultivo, aumentó el contenido de sales en el sustrato al efectuar el riego, demostrando la pertinencia de rehabilitar la cisterna.

Parámetros de diseño del sistema de riego

Oscilación de las mareas

El movimiento de las mareas tiene lugar durante las 24 horas del día, 6 horas subiendo, 6 horas altas, 6 horas bajando, 6 horas baja. La cuña de agua de mar penetra 1 km aguas arriba del río, aumenta la salinidad y contamina la fuente subterránea del pozo que alimenta las áreas de riego, está vinculada con el movimiento de la marea, afecta fundamentalmente los cultivos de pepino, tomate y pimiento. Esta situación se agravaba debido a la calidad del agua que se estaba empleando, cuyo pH oscilaba entre $8,5$ y 9 . En observaciones medidas el pH del agua obtuvieron valores de $\text{pH} = 10$, esto favoreció el surgimiento del culillo en el tomate, el encorvamiento de las hojas, y que se mantuviera el color verde. Cuando el $\text{pH} = 9$ se observaron quemaduras en las hojas de las yemas Apical (parte superior del tallo en el tomate). Cuando el $\text{pH} = 8,8$, se notó recuperación.

Programación de lavados de recuperación

Datos:

Salinidad inicial del sustrato $\text{CEe}_1 = 6$ dS/m

Porosidad del sustrato $\epsilon = 31\%$

Capacidad de Campo $\text{Cc} = 47\%V$

Punto de marchitamiento $\text{Pm} = 18\%V$

Eficiencia de lavado $f = 0,5$

Profundidad radicular $\text{Prad.} = 200$ mm

No se consideran aportes capilares ($G = 0$)

TABLA 1. Parámetros de diseño del sistema de riego

Datos de diseño	CR2	CR1	Organopónico
Cultivo	Hortalizas	Hortalizas	Hortalizas
Área neta a irrigar (ha.)	1,28	0,81	1,0
Marco de siembra (m × m)	Canteros	Canteros	Canteros
Fuente de agua	Superficial	Superficial	Superficial
Técnica de riego	Localizado	Localizado	Localizado
Tipo de emisor	Twin Drip	Twin Drip	Microjet
Caudal del emisor (L/h)	2,45	2,00	40,65
Presión de trabajo (kPa)	15,00	10,13	15,00
Separación entre emisores (m)	0,40	0,40	1,00
Separación entre laterales (m)	1,00	1,00	2,00
Pluviometría horaria (mm/h)	6,12	5,00	20,33
Necesidades totales (mm/d)	3,5	3,5	4,0
Intervalo de riego (d)	1	1	1
Tiempo de aplicación (h)	0,67	0,82	0,23
Lamina de riego (mm)	4,10	4,10	4,68
Turnos por ciclo de riego (u)	12	7	24
Tiempo de operación diario (h)	8,00	3,74	8,00
Caudal máximo por turno (L/s)	1,36	1,5	2,16
Caudal mínimo por turno (L/s)	2,72	1,5	2,168
Carga entrada cabezal (kPa)	28,69	19,92	28,44

Frecuencia de aplicación = 10 d

Evaporación para el 10%p = 7.58 mm/día

No se consideran aportes de la lluvia entre los riegos (P = 0)

Salinidad del agua de riego $CE_i = 0,6$ dS/m

Se prevé realizar un lavado inicial enérgico para recuperar la calidad del sustrato y disminuir la salinidad inicial hasta valores que puedan ser sostenidos por medio de los lavados de mantenimiento con el agua de riego. El agua de riego deberá reponer la demanda evapotranspirante durante 10 días (7,58 (10 = 75,8 mm), además se asume inicialmente para la recuperación, el agua de lavado (R) = 20 % del agua de riego (I). Se aplicó la ecuación de balance de sales en la zona radicular para estimar la magnitud del agua de lavado (R):

$$I + P = E + R \quad (2)$$

Para programar el lavado de recuperación se utiliza:

$$\Delta Z = \frac{(A - B \times Z_1)}{(1 + 0,5B)} \quad (3)$$

donde:

ΔZ .- Variación del contenido de sales en el sustrato (CEmm).

Z_1 .- Contenido inicial de sales en el sustrato (CEmm).

$$A = CE_i(I - R + Rf) \quad (4)$$

$$B = \frac{R^*f}{Hc} \quad (5)$$

Hc.- Contenido de humedad en el sustrato a capacidad de campo (mm).

$$Z_1 = Hc \times C_{cc1} \quad (6)$$

$$C_{cc1} = \frac{(CEe_1 \times \epsilon)}{Cc} \quad (7)$$

Siendo Z_2 , el contenido final de sales en el sustrato, después de aplicado el lavado de recuperación. Su valor se despeja de:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 \quad (8)$$

Así, la salinidad del sustrato cuando está en condiciones de capacidad de campo (C_{cc2}), se obtiene por:

$$C_{cc2} = \frac{Z_2}{Hc} \quad (9)$$

Y la salinidad final en el sustrato sería:

$$CEe_2 = C_{cc2} \times \left(\frac{Cc}{\epsilon}\right) \quad (10)$$

Programación de lavados de mantenimiento

Se prevé programar un lavado de mantenimiento para mantener la salinidad del sustrato al final de cada temporada, en valores que puedan ser tolerados por los cultivos previstos. Para estimar la magnitud del agua de lavado (R) se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{(E - P)CE_i}{f(C_{cc} - CE_i)} \quad (11)$$

En la cual los valores de (E), (P), (CE_i) y (f) se mantienen, de la misma manera que (CE_2) y (C_{cc2}) se obtienen de la [Tabla 2](#) para el 9no. lavado.

A partir del agua de lavado (R) y utilizando (2) se puede obtener la magnitud de la dosis de riego y comprobar si existe equilibrio entre las cantidades de sales aportadas por el riego y las eliminadas durante el lavado, así:

$$I \times C_i = R \times C_R \quad (12)$$

Donde la salinidad del agua de lavado se estima por:

$$I \times C_i = R \times C_R \quad (12)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 2](#) se muestran los resultados de la programación del lavado de recuperación.

La salinidad inicial $CEe_1 = 6$ dS/m, se reduce a $CEe_2 = 3,20$ dS/m, luego del 9no. lavado. Para recuperar la calidad del sustrato, se orientó utilizar un sistema de riego por aspersión portátil, p.j. el aspersor de 2 boquillas VIII, que entrega un caudal de $6,86$ m³/h, a una presión $3,8-5$ kg/cm² y un radio de alcance de $20,5$ m, ya que la misma no se puede aplicar con el sistema de riego por goteo, Inicialmente la conductividad eléctrica en el sustrato $CEe_1 = 6$ dS/m solamente era tolerable para el cultivo del melón y no se podía sembrar pimiento, tomate y pepino. Este último es el más sensible de los cuatro y exige un valor de $CEe \leq 3,23$ dS/m para garantizar 90% del rendimiento. La solución conlleva a disminuir la salinidad del sustrato hasta $3,20$ dS/m, para poder irrigar los cultivos de melón, tomate, pimiento y pepino. Posteriormente y para mantener este valor, se aplicarán dosis de lavado con el riego

En la [Tabla 3](#) se muestran los resultados de la programación del lavado de mantenimiento.

Como se puede comprobar, IC_i y RC_r , coinciden. Después de recuperar el suelo es necesario planificar Lavados de Mantenimiento lo cual se hará utilizando las ecuaciones de equilibrio de sales. Esto se logra aplicando en cada riego una dosis de lavado equivalente al 44% de la dosis de riego. Considerando una evaporación diaria $10\% P = 7,58$ mm/d y el valor disponible de las aportaciones de la lluvia es 0 (por tratarse de casas de cultivo tapado) las láminas de riego anual sería = $2766,7$ mm en correspondencia con una salinidad del sustrato de esta a capacidad de campo $Ccc = 8,15$ dS/m, las sales aportadas en la temporada de riego resultaron $IC_i = 8,15$ CEmm. Por lo tanto las eliminadas por el sustrato drenaje $RC_r =$

$8,15$ CEmm estos valores deben coincidir como garantía de que no aumentara la salinidad del suelo (CEe) hasta valores perjudiciales para los cultivos más sensibles.

Manejo del riego con agua salina

Para evitar los efectos negativos de la salinidad a mediano y corto plazos y garantizar el funcionamiento apropiado del sistema de riego, se propuso reestructurar el sistema de abasto del Organopónico, desconectando la estación de bombeo del pozo, construyendo un depósito regulador que almacene el agua a partir de una nueva obra de toma en las márgenes del río Miel con protección de cámara de rejas conectada con una tubería y una válvula para controlar el caudal que llega a la cámara de succión para la bomba.

El depósito regulador deberá almacenar la dosis de agua necesaria para el lavado y recuperación del suelo, además para su posterior mantenimiento, contribuyendo también para el riego agrícola en las diferentes casas de cultivo durante la marea alta. Puede ser construido con material local propio de la excavación e impermeabilizado con arcilla. Para el lavado de recuperación del suelo salino, se necesita una lámina de 200 mm; esta representa $33,2$ L/s/ha, como las casas de cultivo ocupan una superficie de $2,1$ ha, esto demanda un caudal igual a 70 L/s, con este valor se puede obtener el volumen del depósito. La lámina para el lavado es de 200 mm equivalente a 200 L/m², para un área de $2,1$ ha se necesita 4200 m³ estos lavados se deberán hacer antes de las labores de siembra, el volumen máximo del depósito regulador es de 4400 m³.

En la zona de estudio, antes de las labores de siembra del cultivo es necesario realizar el lavado de recuperación del sustrato, esto demanda un volumen de 4200 m³. Conociendo que la calidad del agua para el riego es mejor cuando ocurre la marea baja, solo se tiene 12 horas al día disponibles para el bombeo, pero

TABLA 2. Resultado de la programación del lavado de recuperación

Programación	Ce ₁ (dS/m)	I(mm)	R(mm)	Ccc ₁ (dS/m)	Z ₁ (CEmm)	ΔZ (CEmm)	Z ₂ (CEmm)	Ccc ₂ (dS/m)	Ce ₂ (dS/m)
1er Lavado	6,00	94,75	18,95	3,96	372	13,01	358,99	3,82	5,79
2do Lavado	5,79	94,75	18,95	3,82	358,98	14,26	344,72	3,67	5,56
3er Lavado	5,56	94,75	18,95	3,67	344,72	15,63	329,09	3,50	5,31
4to Lavado	5,31	94,75	18,95	3,50	329,22	17,12	312,10	3,32	5,03
5to Lavado	5,03	94,75	18,95	3,32	311,86	18,78	293,08	3,12	4,73
6to Lavado	4,73	94,75	18,95	3,12	293,26	20,57	272,69	2,90	4,40
7mo Lavado	4,40	94,75	18,95	2,90	272,80	22,53	250,27	2,66	4,04
8vo Lavado	4,04	94,75	18,95	2,66	250,48	24,67	225,81	2,40	3,64
9no Lavado	3,64	94,75	18,95	2,40	225,68	27,05	198,63	2,11	3,20

TABLA 3. Resultado de la programación del lavado de mantenimiento

R (mm)	I (mm)	R/I(%)	C _R (dS/m)	RC _R (CEmm)	IC _i (CEmm)	Ccc (dS/m)	Ce (dS/m)
6	13,58	44	1,36	8,15	8,15	2,12	3,21

por cuestiones de operación y para la protección de los equipos solo se bombearán 8 horas.

La bomba existente entrega un caudal máximo de 8 L/s, esto implica que solo se puede obtener aproximadamente en 4 horas de bombeo un volumen de agua de 172 m³ y diario 345 m³, con este último valor, el tiempo de lavado del suelo de las 2.1 ha de cultivo demora 12 días. Esta acción se recomienda que se aplique utilizando riego por aspersión portátil, con un aspersor de dos boquillas, que entrega un caudal de 6.86 m³/h, presión de trabajo = 3.85 kg/cm² y un radio de alcance = 20.4 m.

Por otra parte, con el riego por goteo se necesita aplicar 6 mm para garantizar el agua necesaria para el cultivo y mantenimiento del suelo, esto implica que en las 2,1 ha de cultivo demanda un volumen de agua diario de 126 m³. Este volumen puede ser suplido por la estación de bombeo en menos de 4 horas.

CONCLUSIONES

- Se comprobó que la calidad del agua se deteriora con el aumento de las mareas, lo cual se hace más evidente en el pozo y se estableció un procedimiento para el lavado del sustrato considerando las fases lunares: Lavados de recuperación y Lavados de mantenimiento aplicados con el agua de riego.
- La dosis total para el lavado de recuperación = 170,55 mm, la dosis para el lavado de mantenimiento = 6 mm (44% de la dosis de riego) la dosis de riego = 13,58 mm.
- Para mantener $C_{Ee} \leq 3,23$ dS/m favorable al cultivo de pepino, el tiempo de aplicación se deberá incrementar hasta 2,2 h; 2,7 h; 0,7 h en las parcelas CR2; CR1 y en el organopónico respectivamente.
- Se estableció como estrategia reestructurar el sistema de abasto del organopónico, desconectando la estación de bombeo del pozo, construyendo un depósito regulador que almacene el agua a partir de una nueva obra de toma en las márgenes del río Miel con protección de cámara de rejillas conectada con una tubería y una válvula para controlar el caudal que llega a la cámara de succión para la bomba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.: *Water quality for agriculture*, Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, vol. 29, Rome, Italy, Estudio FAO. Riego y Drenaje.No.29, Rev.21, 1987, ISBN: 92-5-102263-1.

CRUZ-BAUTISTA, F.; ZERMEÑO-GONZÁLEZ, A.; ÁLVAREZ-REYNA, V.; CANO-RÍOS, P.; RIVERA-GONZÁLEZ, M.; SILLER-GONZÁLEZ, M.: “Validación de un modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento

del suelo con riego por goteo”, *Tecnología y ciencias del agua*, 7(1): 45-55, 2016, ISSN: 2007-2422.

DEPEWEG, H.; OTERO, F.M.: “Optimization of water management in the RUT Irrigation District, Colombia”, *Irrigation and drainage*, 53(1): 55-67, 2004, ISSN: 1531-0353.

EDIMAR-CUBA: *Tablas de Marea de las Costas de Cuba.*, Ed. Agencia de cartografía Náutica GEOCUBA Estudios Marinos, Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba ed., Punta Santa Catalina, Regla, La Habana, Cuba, 2016.

GLEICK, P.: “Water use”, *Annual Review of Environment and Resources*, (28): 275-314, 2003.

MARTÍNEZ, B.J.: *Control de la salinización de suelos regables*, Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX. Centro de Experimentación de Obras Públicas, Master en Ingeniería de Regadíos, Madrid, España, 2001.

MASSELINK, G.; SHORT, A.D.: “The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model”, *Journal of Coastal Research*, 9(3): 785-800, 1993, ISSN: 0749-0208.

MATOS, R.M.: *Propuesta para el manejo del riego con aguas de salinidad media en la UEB Cultivo Protegido Cabacú*, Universidad de Oriente, Tesis de Grado. Especialidad Ingeniería Hidráulica, Santiago de Cuba, Cuba, 2017.

OLÍAS, M.; CERÓN, J.; FERNÁNDEZ, I.: “Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del US Laboratory Salinity (USLS)”, *Geogaceta*, 37(3): 111-113, 2005.

PÉREZ, D.: *La explotación del agua subterránea. Un nuevo enfoque*, Ed. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 322 p., publisher: La Habana: Editorial Félix Varela, 2001.

PIZARRO, C.F.: *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*, Ed. Editorial Agrícola Española, S.A, 2a ed., Madrid, España, 541 p., publisher: Madrid (Spain) Edit. Agrícola Española, 1985.

PIZARRO, C.F.: *Sistemas de riego localizado de alta frecuencia (Goteo, Micro aspersión y Exudación)*, Ed. Mundiprensa, 2da ed., Madrid, España, 1996.

RITZEMA, H.P.: “Subsurface flow to drains”, *Drainage principles and applications*, 16: 263-304, 1994.

RODRÍGUEZ, M.R.: *Riego localizado de alta frecuencia*, Inst. Instituto de Investigación de Riego y Drenaje, Departamento de Riego, Informe técnico, La Habana, Cuba, Convenio Bilateral Cuba-Venezuela, 2006.

VAN ALPHEN, G.P.: “Rice in the reclamation of salt-affected soils”, En: Bangkok, Tailandia, 1983.

- VAN ALPHEN, J.G.; OCHOA, M.P.: *Perfeccionamiento del sistema de drenaje en la zona Fidelina-Guamá*, Inst. Estación de Investigaciones de Café y Cacao, Departamento de Riego y Drenaje, Informe técnico, Baracoa, Guantánamo, Cuba, 2004.
- VAN HOORN, J.W.: "Effect of capillary flow on salinization and the concept of critical depth for determining drain depth", En: Ed. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1979., pp. 686-700, 1979.
- VAN HOORN, J.W.: "Salt movement, leaching efficiency, and leaching requirement", *Agricultural Water Management*, 4(4): 409-428, 1981, ISSN: 0378-3774.
- VARGAS, R.P.: *Aspectos básicos y elementos para el diseño de sistemas de riego localizado. Goteo y microaspersión*, Inst. Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Informe técnico, Santiago de Cuba, Cuba, 2003.
- VARGAS, R.P.; DORTA, A.A.; BARILLAS, K.E.; MÉNDEZ, J.A.A.: "Consideraciones para el diseño racional de sistemas de riego por goteo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), 2021, ISSN: 2071-0054.

Pável Vargas-Rodríguez. Dr.C., Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: pvargas@uo.edu.cu

Alberto Méndez-Jocik. Dr.C., Jefe del Departamento de Diseño, Empresa de Proyectos Ingeniería, La Habana, Cuba, e-mail: joc4263@gmail.com.

Fernando Pérez-Quintero. MSc., Oficina del Conservador de la Ciudad, Santiago de Cuba, (Cuba). fpquintero@gmail.com .

Rafael Pacheco-Moya. MSc., Profesor, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: rpacheco@uo.edu.cu.

Oswaldo André Paulo Ferreira-da Silva. MSc., Aspirante a Grado Científico, Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: osvald23000@gmail.com

The authors of this work declare no conflict of interests

AUTHOR CONTRIBUTIONS: **Conceptualization:** P. Vargas. F. Pérez Quintero **Data curation:** R. Pacheco. Oswaldo A. P. F. da Silva. A. Méndez. **Formal analysis:** P. Vargas. F. Pérez Quintero. R. Pacheco. Oswaldo A. P. F. da Silva. A. Méndez. **Investigation:** P. Vargas. F. Pérez Quintero. R. Pacheco. Oswaldo A. P. F. da Silva. A. Méndez. **Methodology:** R. Pacheco. Oswaldo A. P. F. da Silva. A. Méndez. **Supervision:** P. Vargas. R. Pacheco. **Roles/Writing, original draft:** P. Vargas. R. Pacheco. A. Méndez. **Writing, review & editing:** P. Vargas. R. Pacheco.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.