

**DESTILADOR DE AGUA SOLAR: ALTERNATIVA
PARA POTABILIZAR AGUA EN ZONAS RURALES.
DETERMINACIÓN DE COSTOS.
SOLAR WATER DISTILLER. ALTERNATIVE TO
DISTILL WATER IN RURAL AREAS.
DETERMINATION OF COSTS.**

Italia Chinappi Ciccolella¹, Alonso Jerez Carrizo¹ y Jhon A. Rosales Chirinos²

¹Profesores de la Universidad de los Andes. Núcleo Universitario "Rafael Rangel".
Departamento de Ingeniería. Trujillo - Trujillo. Laboratorio de Energía y Mecanización
Agrícola. ²Ingeniero Agrícola.

Autora Principal: Italia Chinappi Ciccolella

RESUMEN

El destilador de agua solar es una alternativa que permite obtener agua potable a pobladores de las zonas rurales que carecen del servicio. La valoración económica ambiental frente al problema de la carencia de agua potable en las regiones rurales, es importante para evaluar la implementación de un destilador de agua solar. Para esta valoración, se utilizó la metodología de costos por enfermedad en una comunidad carente de agua potable en la microcuenca Quebrada de Ramos del Municipio y estado Trujillo. Para determinar el costo del agua destilada con energía solar, se construyó un destilador de agua solar de 0,15 m² de área de captación. La producción del destilador solar construido fue de 0,112 m³/año y de 0,369 m³/año para los periodos húmedo y seco respectivamente. El costo de un litro de agua destilada con energía solar, a la escala construida, resultó entre 13,131 Bs./día×persona y 43,258 Bs./día×persona para los periodos seco y lluvioso, respectivamente. El costo ambiental determinado para la comunidad seleccionada, es de 189,695 Bs./día×persona, valor que representa el costo que se debe asumir al no poseer agua potable, que al contrastarse con la alternativa propuesta, ésta resulta mayor inclusive en el periodo de menor radiación solar. El destilador de agua solar constituye así una alternativa viable, en el contexto de la implementación de energías alternas.

Palabras clave: destilador solar, energía solar, valoración económica ambiental, agua potable, costo por enfermedad.

Abstract

The solar water distiller allows the supply of drinking water in the clean energy use context. The environmental economic impact of the drinking water scarcity in rural regions is important to evaluate the effect of the implementation of a solar water distiller. To perform this evaluation, the sickness cost methodology was used to determinate the environmental cost of the lack of drinking water in the Quebrada de Ramos community in Trujillo Estate. In order to estimate the distilled water cost with solar energy, a laboratory-scaled solar water distiller was built with a captation area of 0,15 m².

The solar distiller had a production of 0,112 m³/year in the rainy season and 0,369 m³/year in the dry season. The cost per liter of distilled water obtained from this system, at the built scale, oscillated between 13,131 Bs./dayxperson and 43,258 Bs./día x person. The sickness environmental cost calculated for the seleccionated community was 189,694 Bs/dayxperson. This value represents a cost that must be assumed when no drinking water is available, with the consequent and progressive decrease of the people life quality living in rural areas. In this way, the solar water distiller is a feasible alternative of proper technology in the harmonic relationship of man with nature.

Key words: solar still, solar energy, drinking water, environmental economic evaluation, sickness cost methodology.

Introducción

La escasez de agua dulce ocupa el primer lugar de la lista entre los flagelos que amenazan a la humanidad del siglo XXI, particularmente en los países pobres. Para el año 2025, Naciones Unidas afirma que 2.700 millones de personas sufrirían una severa escasez de agua, si el consumo se mantiene en los niveles actuales. En Latinoamérica, aproximadamente 77 millones de personas no tienen acceso a los servicios de agua potable (Montaigne, 2.002) y 103 millones, a los servicios de saneamiento (Jouraviev, 2004). El estado Trujillo, se encuentra al oeste de la República Bolivariana de Venezuela, con una superficie de 7.400 km² y una población de 609.000 habitantes. Desde el punto de vista económico el estado Trujillo es considerado un estado con actividad agrícola importante. Mejorar las condiciones de vida de los habitantes de las zonas rurales es imperante para evitar el éxodo hacia los centros urbanos. La necesidad de suministrar agua potable en las zonas rurales, ha servido de base para el desarrollo de destiladores solares que utilizan el sol como una fuente inocua, inagotable y sustentable. El presente trabajo contribuye a impulsar el empleo de energías alternas al realizar una valoración

ambiental de la carencia de agua potable en zonas rurales y, comparar el valor obtenido con el costo de la implementación de un destilador solar. Para lograr el objetivo propuesto se construyó un colector solar de tecnología apropiada a escala de laboratorio para determinar el costo de un litro de agua destilada en diferentes épocas del año, este equipo puede ser construido, manejado y mantenido por los miembros de las comunidades rurales. Para la valoración económica ambiental de la carencia de agua potable se utilizó la metodología de costos por enfermedad en una comunidad rural del estado Trujillo. Caraballo 2.000, considera que el recurso agua posee las características propias de un bien público, lo que hace que su valoración desde el punto de vista económico se complique.

Materiales y Métodos

Construcción del Destilador Solar de Agua

El destilador de agua construido está constituido por un colector solar plano, con un área de captación de 0,15 m². El área de colección consiste en una bandeja plana de latón, pintada de negro mate que además constituye el envase que almacena el agua a destilar, confinada en el interior de una caja cuadrada de pared de vidrio

transparente, de manera que permita la entrada de luz solar (onda corta) y sirva como aislante al calor (onda larga) que se acumula en el interior, una vez realizada la transformación de energía radiante en calor. La cubierta del destilador está constituida por una lámina de vidrio transparente, con una pendiente de 24°. En las paredes internas en la parte inferior se colocaron canales para la conducción del agua destilada. Para sostener el colector se construyó una base de madera. Tanto la pared posterior de madera, la bandeja de latón y la superficie de la base de madera se pintaron de negro mate. El agua, sin tratamiento, se coloca en la bandeja y por acción del calor se evapora para luego condensarse en la cubierta del colector que se encuentra a menor temperatura. El agua condensada escurre debido a la pendiente y cae en los canales colectores para finalmente recogerla en un envase en la parte exterior del destilador.



Evaluación del Sistema de Destilación Solar

Para determinar el volumen de agua destilada en el colector solar construido se efectuaron medidas en la época de lluvia y en la de sequía. Se midió el volumen de agua destilada almacenada en un envase previamente calibrado, cada 24 horas.

Estimación de Costos del Sistema de Destilación de Agua Solar Construido

Costo de construcción del destilador solar: se determinaron los costos de los materiales de construcción incluyendo los desperdicios, la mano

de obra y el empleo de máquinas y herramientas. Se anexaron los gastos operativos y de mantenimiento. El gasto operativo se cuantificó en base al sueldo diario de un obrero no especializado. El costo de construcción del destilador se calculó a través de la siguiente expresión matemática:

$$C_t = C_e + C_m \quad (1) \text{ donde:}$$

C_t= costo total (Bs.); **C_e**= costo de los materiales de construcción; **C_m**= costo de mano de obra.

Cálculo de la depreciación del destilador solar: calculado por el método de línea recta, mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{C_t - 0,2C_t}{V_u} \quad (2) \text{ donde:}$$

D = depreciación (Bs/año); **C_t** = costo total (inversión inicial en Bs.); **V_u** = vida útil (años). Se tomó la vida útil del material que posee el menor valor (Madera).

Costo de mantenimiento: calculado para realizarlo una vez al mes, por la experiencia durante los ensayos. Se estimó en base a la operación de limpieza y adquisición de materiales como pintura y silicón, expresado en Bs./año.

Costo anual del agua destilada: se tomó en cuenta la depreciación del equipo y el costo de mantenimiento, expresado en (Bs./año).

Costo unitario del agua destilada: resultado de dividir el costo anual del agua destilada entre la producción anual de la misma, para cada periodo considerado.

Determinación del costo ambiental por la carencia de agua potable en la comunidad seleccionada:

Para la cuantificación del costo ambiental por la falta de agua potable, se empleó la metodología propuesta por Azqueta, (1994). Los parámetros cuantificados en esta metodología fueron: ausentismo escolar, laboral y doméstico por enfermedad, además de los costos por diagnóstico, y hospitalización. La comunidad rural seleccionada fue la Microcuenca Quebrada de Ramos, ubicada en las parroquias Monseñor Carrillo y Chiquinquirá del Municipio y Estado Trujillo. Para determinar el costo ambiental se realizó un mapa de variables (Hurtado, 2000). El mapa de variables se define como una esquematización del trabajo que busca descomponer los objetivos específicos en unidades de contenido más exactas que facilite su medición (Hurtado y otros, 1.998). Una vez definido el mapa de variables se elaboró un instrumento (encuesta) que fue aplicada en su fase inicial como piloto, luego se redefinió y posteriormente se sometió a la prueba de validación de expertos para su final aplicación. Se muestreó a todos los habitantes del lugar seleccionado. Para el cálculo de cada parámetro se procedió de la siguiente manera:

Ausentismo escolar por enfermedad: se utilizó la siguiente expresión:

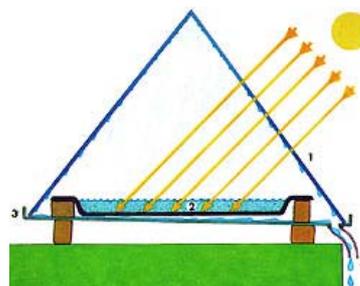
$$Au = Da(Sdp + Sdm + Csa) \quad (3)$$

donde:

Au= ausentismo escolar; **Da**= días de ausencia; **Sdp**= sueldo diario de un maestro; **Sdm**= sueldo diario de una madre prestadora del servicio alimenticio en la escuela; **Csa**= costo del servicio alimenticio.

Ausentismo laboral: se determinó el ingreso diario que percibe cada

familia, y cuantos miembros del hogar lo perciben. Este valor se multiplicó por los días de ausencia de la persona al trabajo por cuidar al enfermo o enferma, o en otros casos, los días de salario no percibidos por concepto de enfermedad, por alguna causa de origen hídrico.



Destilador solar de agua para consumo humano y para riego

Ausentismo doméstico: calculado con el salario doméstico. A través de la encuesta se determinó los días que la madre dejaba de realizar sus labores domésticas por cuidar a la persona enferma. La expresión matemática utilizada es:

$$Ad = Da * Sd \quad (4) \quad \text{donde:}$$

Ad= ausentismo doméstico; **Da**= días de ausencia; **Sd**=salario diario.

Costo del diagnóstico: en la encuesta realizada se conoció el sitio donde las personas recurrían por atención médica y el lugar donde se realizaban los exámenes de laboratorio. Se utilizaron para este costo los salarios diarios de un gastroenterólogo, un enfermero o enfermera, un cocinero o cocinera, un médico residente y de un bionalista.

Costo del tratamiento: se determinó si la persona incurría de manera parcial o total en los gastos por concepto del tratamiento. Se entrevistó al médico residente del ambulatorio más cercano, quien suministró la información en cuanto

a los medicamentos relacionados con enfermedades causadas por falta de agua potable, así como también, las dosis para cada caso.

Costo de hospitalización: en el caso de hospitalización, se cuantificó este costo a través de la suma de los salarios de una enfermera, un gastroenterólogo y un médico residente. Para cada una de las familias que habitan en el lugar se cuantificó cada parámetro. El costo por enfermedad resulta de la suma de las medias de cada variable considerada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Agua Destilada con Energía Solar, en Período Húmedo y Seco.

Se obtuvo una producción media de 111,90 y 368,65 L/año para los periodos de lluvia y sequía respectivamente. Estos valores son relativamente bajos en comparación con otros ensayos, Fasulo y otros, 2.004. No obstante, los valores obtenidos son similares a los reportados por Bermúdez y otros en el 2004, con un destilador tipo cascada y un área de captación de 1 m². Es importante conocer la dinámica del proceso de escalado en colectores planos, para predecir la producción en convertidores de mayor área de captación. La producción diaria por área de captación fue de 2 y 6,7 L/m² para los periodos de lluvia y sequía respectivamente. Estas cifras se encuentran por encima a las reportadas por Fuentes y otros en 1997, de 3,4 L/m² en zonas desérticas de Chile.

Costo del Sistema de Destilación

El costo para el sistema de destilación solar construido es de 379,016 Bs./año; correspondiente al primer año, en el cual se debe realizar la inversión para la construcción del equipo. Este costo

disminuirá a lo largo de la vida útil del destilador. La información disponible en la literatura es difícil de contrastar dado que son generalmente convertidores de tecnología apropiada, difieren en cuanto a tamaño, diseño, geometría y eficiencia, sin embargo, el diseño construido, constituye la mejor referencia a pesar de la escala. El costo de mantenimiento del equipo se limita a la limpieza de la superficie de captación que aloja el agua para la destilación, las precipitaciones de minerales en las superficies de transferencia de calor ocasionan retardo en la evaporación y por consiguiente reducción de la eficiencia térmica (Armendáriz y otros, 2003).

Costo del Agua Destilada en el Convertidor Solar Durante los Períodos Húmedo y Seco

Obtener un litro de agua destilada en período lluvioso con el colector construido cuesta 1,081 Bs./L; considerando un consumo promedio de 40 L/día×persona (Jouraviev, 2004) resulta en un costo de 43,258 Bs./día×persona. De la misma manera el costo de un litro de agua destilada en período seco es de 0,328 Bs./L. resultando un monto de 13,131 Bs./día×persona. Si bien es cierto que la diferencia entre el período seco y el lluvioso es apreciable, los valores obtenidos no se pueden comparar rígidamente dada la variabilidad de las condiciones meteorológicas.

Costo por Enfermedades e Origen Hídrico

El costo por enfermedad calculado para el presente estudio es de 189,695 Bs./día×persona. Este costo representa una derogación importante que se debe asumir al enfermarse por no consumir agua potable. Este monto es mayor que el costo de agua potabilizada en el destilador solar, en los períodos considerados. Según Cropper 1.999, al cuantificar los costos por enfermedad se ignora el desagrado

sufrido durante la enfermedad y por lo tanto, no refleja lo que el individuo habría estado dispuesto a pagar por evitar la enfermedad. Los costos ambientales se determinaron en una comunidad rural que padece el problema de la carencia de agua potable, la mayoría de las investigaciones se realizan sobre la realidad de un país o estado y asumen los datos promedios de una población de manera general, esta metodología impide la obtención de un valor unitario, en esta investigación se obtuvo un valor real unitario, que resulta de la suma de todas las variables involucradas, lo que permitió comparar con los costos unitarios de la alternativa propuesta. El método de costos por enfermedad para determinar los costos para un número limitado de efectos en la salud provocados por el impacto ambiental de la quema de combustible fósil en la generación

de electricidad, fue empleado en Brasil. Para ello se utilizó la información disponible en el sistema nacional de salud (Meneses y otros, 2.003).



Conclusiones y Recomendaciones

Los costos de obtener agua potable con energía solar, en el destilador de referencia construido, representan entre 7 y 23% de los costos de enfermedad determinados en la comunidad seleccionada. Cifra ésta que revela las potencialidades del sistema propuesto para contribuir a la solución del problema planteado. La cifra del costo por enfermedad determinada es relativamente alta y es asumida tanto por los miembros de la comunidad como por el estado. Se establece la necesidad de comparar los valores obtenidos con los costos de suministro de agua potable con el sistema convencional de acueducto rural. Realizar el trabajo con destiladores a escala real, en la zona de estudio, probablemente disminuya el costo unitario del agua destilada. La confiabilidad de la encuesta diseñada para conocer la situación socioeconómica (datos no mostrados) de la comunidad estudiada, así como las variables para determinar el costo por enfermedad poseen un valor de $R_{xy} = 0.9945$ y $R_{t_n} = 0.9973$ respectivamente. El instrumento aplicado es confiable, el rango de confiabilidad se determinó entre 0.8 y 1. En la implementación de la alternativa tecnológica propuesta, es necesario involucrar a todos los actores, para ello se propone un trabajo de extensión rural, en el cual la instalación de una unidad piloto sirva para familiarizarse con la construcción, implementación y mantenimiento del destilador solar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMENDÁRIZ SAUL; PORTA-GÁNDARA MIGUEL ANGEL; FOSTER ROBERT E.; KOUTSOUKOS PETROS G.; MARGUILIS RAÚL B. Y ALONSO GABRIEL. **Comportamiento isotérmico de la precipitación salina en un destilador solar experimental.** Revista de la Sociedad Química de México. (Soc., Quim., Méx.). 47:3. 287-294, 2003.
- AZQUETA, DIEGO. **Valoración económica de la calidad ambiental.** Editorial Mc. Graw Hill. Madrid-España. 8: 195-223, 1994.
- BERMÚDEZ, J.; CIRO B RICARDO; ZENÓN C. FRANCISCO. **Destiladores solares.** Centro de Investigación de energía solar. CUBASOLAR. Cuba. Documento en línea. Disponible en: www.cubasolar.cu/energía. 2004
- CARABALLO, LEONARDO. **Las tasas por uso de agua: un análisis cualitativo.** Agroalimentaria. (Agroalim.) Mérida-Venezuela. Diciembre, Número 11, 2000.
- CROPPER, M. **Nuevos enfoques en la metodología de evaluación ambiental. Economía del medio ambiente en América Latina.** 2^{da} Edición. Alfaomega. Colombia. Pp. 129-143, 1999.
- FASULO AMILCAR.; FOLLARI JORGE.; ADARO JORGE.; MARCHESI JAVIER.; ODICINO LUIS y MONASTEROLLO RICARDO. **Planta experimental de destilación solar-eléctrica en la U.N.S.L., primera parte y primeros resultados.** ASADES. Avances en energías renovable y medio ambiente. 8(1):03.07, 2004.
- FUENTES RICARDO Y ROTH PEDRO. **Teoría de la destilación solar en vacío.** Revista Facultad de Ingeniería, UTA. Chile. Vol. 4, 1997.
- HURTADO DE BARRERA, JACQUELINE. **Metodología de la investigación holística.** Instituto Universitario de Tecnología Caripito. Servicios proyecciones para América Latina SYPAL. Caracas-Venezuela. Pp. 630, 2000.
- HURTADO, IVÁN Y TORO JOSEFINA. (1998). **Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambio.** Editorial Episteme. Consultores Asociados. Primera edición. Venezuela. 1998.
- JOURAVLEV, ANDREI S. **Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI.** CEPAL. Santiago-Chile. Pp.11, 2004.
- MENESES RUIZ ELIEZA; ÁLVAREZ MUÑIZ MANUEL.; MORALES LABERÓN MARTHA.; TURTÓS CARBONELL LEONOR.; y DIAZ RIVERO NORBERTO. **Estimación de los costos en salud para la evaluación de externalidades.** Centro de gestión de la información y desarrollo de la energía. CUBAENERGIA. Miramar, La Habana-Cuba. Pp. 1, 2003.
- MONTAIGNE, F. **Water pressure.** National Geographic Society. Washington, D.C. 11(3): 2-32, 2002.