

# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

ENERO / JUNIO 1991 VOLUMEN 1 Nº 1



# INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica  

---

Volumen I      Enero-Junio 1991      Número 1

---

## DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

## CONSEJO EDITORIAL

Armando Castro A. (editor)  
Víctor Hugo Chacón P.  
Gerardo Chacón V.  
Miguel Dobles U.  
Ronald Jiménez Ch.  
Ismael Mazón G.  
Domingo Riggioni C.

## CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica  
Apartado Postal 75  
2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
San José, Costa Rica.

## CANJES

Universidad de Costa Rica  
Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información  
Unidad de Selección y Adquisiciones-CANJE  
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
San José, Costa Rica

### Suscripción anual:

Costa Rica: ₡500,00  
Otros países: US \$20.00

### Número suelto:

Costa Rica: ₡250,00  
Otros países: US \$10.00





Impreso en la  
Oficina de Publicaciones  
de la Universidad de Costa Rica

Edición aprobada por la Comisión Editorial de la Universidad de Costa Rica  
1991 EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Todos los derechos reservados conforme a la ley

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Edición Técnica: *Guillermo Loría M.*  
*Fernando Durán A.*

Revisión Filológica: *María Teresa Bolaños*

Montaje Gráfico: *Adalberto Ramírez*

620.005

1-46i

Ingeniería / Universidad de Costa Rica. --

Vol. 1, no. 1 (ene./jun. 1991) -- San José, C. R. : Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1991 -- (Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica)

v. : il.

Semestral.

1. Ingeniería -- Publicaciones periódicas.

CCC/BUCR-250



## APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA EN CENTROAMÉRICA UNA ESTRATEGIA PARA SU EXPLOTACION

*Ing. Manuel A. Murillo S.\**  
*Ing. Glenn H. Dewey W.\**

### Resumen

Con este trabajo se pretende dar una visión muy general sobre el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica a pequeña escala en Centroamérica; asimismo, se sugieren algunas estrategias para lograrlo.

Se reflexiona en forma general sobre el gran potencial hidroeléctrico que existe en Centroamérica, considerándose su explotación de gran importancia para el desarrollo del agro centroamericano.

El aprovechamiento de la hidroelectricidad puede hacerse en tres direcciones: mediante plantas aisladas, mediante plantas interconectadas, o mediante plantas mixtas.

Se resumen, además, las experiencias logradas en Costa Rica, fundamentalmente aquellas relacionadas con la construcción de turbinas tipo Banki y el desarrollo de pequeños proyectos.

Se concluye que en Centroamérica el potencial es grande, existe capacidad técnica para realizar estos proyectos, los cuales, en la mayoría de los casos son rentables, o tienen un gran componente social, máxime si se usan equipos de construcción local. En la mayoría de los proyectos, el kilowatio instalado tiene un costo de alrededor de U.S.\$1200, precio por debajo de los costos internacionales.

Como recomendación se sugiere, establecer grupos de personal especializados, que orienten y asesoren a los interesados en desarrollar estos proyectos.

### Summary

This document gives a general scope relative to the exploitation of small scale hydropower in Central America, as well as suggesting some strategies for its development

In a very general way the great potential that exist in Central America is consider, taking into account the great importance of this exploitation for the agricultural development of Central America.

The use of the hydroelectricity can be carried out in three directions; with isolated plants, with interconnected plants or with mixed plants.

There is also a summary of experiences carried out in Costa Rica related with the construction of Banki turbines and the development of these small projects.

It is concluded that in Central America the potencial is great, there exist the technical capability to carry out these projects, which, in many of the cases, are economically feasible, or that have a large social component, especially if locally constructed equipment is used. In the majority of the projects the cost for a kilowatt installed is about U.S.\$ 1200, below general international figures.

As a recommendation it is suggested the integration of groups of specialists who could give orientation and advice to people interested in developing these projects.

### A.- INTRODUCCION

#### a.- Objetivo

Este trabajo tiene como propósito, describir en términos muy generales las condiciones de explotación de la energía hidráulica en pequeña escala; asimismo, establecer en una forma muy

amplia, una estrategia para fomentar su aprovechamiento en Costa Rica y en América Central.

#### b.- Antecedentes

En Costa Rica se usaron durante mucho tiempo, las turbinas hidráulicas pequeñas. Con el desarrollo de la electrificación rural por parte del INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD (ICE), empresa gubernamental autónoma, y del subsidio de la electricidad, estas pequeñas plantas dejaron de usarse. Estas

\* Profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica.  
Universidad de Costa Rica.

unidades, que se reconocen en forma general como las "Pelton", fueron, la mayoría de las veces, instaladas en forma muy empírica.

En la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, existe desde hace 10 años, un programa de investigación, el cual pretende desarrollar las turbinas de pequeño porte, de hasta 500 kW, así como fomentar su uso en el país. Se han desarrollado y construido varias turbinas Banki, igualmente, se han proyectado y erigido varias obras en las zonas rurales y en los Parques Nacionales de Costa Rica.

### c.- Alcance de este trabajo.

Se pretende dar una idea muy general sobre la importancia y las posibilidades de aprovechar este recurso hídrico, asimismo, se intenta dar una estrategia muy general para fomentar la instalación de miniplantas y microplantas hidroeléctricas en Costa Rica y Centroamérica.

Sobre este tema se ha discutido, escrito y hablado mucho por todo el mundo, pero en realidad poco se ha hecho. La tendencia general ha sido la explotación de los potenciales mayores. Razones financieras, fundamentalmente, han dirigido en los últimos tiempos la mira al aprovechamiento de este recurso a pequeña escala.

No es para nadie desconocida la importancia de estos proyectos y la implantación de los mismos; por tal razón, y con el afán de no repetir muchos de los argumentos ya conocidos, se hará una descripción puntual sobre algunos de los aspectos involucrados.

## B.- LA ENERGIA A PEQUEÑA ESCALA EN CENTROAMERICA

### a.- Potencial hidráulico a pequeña escala

El potencial hidroeléctrico de pequeña escala en Centroamérica es enorme. Centroamérica es una región de topografía quebrada y con una alta pluviosidad. Aunque este potencial no ha sido cuantificado, se considera que es muy alto. En Costa Rica se estima que en el ámbito de 0 a 2000 kW existe un potencial del orden de los 600 a los 800 MW.

### b.- Potencial de explotación.

En el pasado, en Costa Rica y posiblemente en el resto de Centroamérica, se instalaron muchas

unidades pequeñas basicamente en las regiones rurales y relacionadas con la agroindustria, fundamentalmente con el beneficiado del café, con un carácter privado.

Sin duda se puede afirmar que existe en Centroamérica la capacidad humana y técnica para desarrollar casi en su totalidad proyectos hidroeléctricos de esta envergadura, incluyendo parte del equipo electromecánico.

### c.- Formas de explotación

La electricidad ha sido uno de los bastiones principales sobre los cuales se ha apoyado el desarrollo del mundo moderno, la importancia de la electricidad es indudable. El desarrollo industrial y la comodidad de los pueblos está fundamentada en la electricidad. Dotar a un pueblo o a un poblado de electricidad es el inicio de su posible desarrollo general.

La contribución de las minicentrales hidroeléctricas al desarrollo de los pueblos centroamericanos en este momento puede darse en tres direcciones:

#### 1.- Regiones Aisladas

La implementación de pequeñas plantas hidroeléctricas en aquellas zonas rurales aisladas, en regiones remotas, permitiría el desarrollo de agroindustrias que aprovechen los recursos locales, evitando que éstos se malogren, creando fuentes de trabajo y llevando las bondades de la electricidad a los pobladores, estimulando así el desarrollo de estas regiones y contribuyendo, de esta manera, a desalentar las emigraciones a las ciudades.

#### 2.- Integración a la red.

Una forma de aprovechar la energía eléctrica de tales plantas, es produciéndola y vendiéndola directamente a la red nacional. Esto es en sí mismo una fuente de ingresos para las zonas rurales, que es donde se ubican los ríos; además contribuiría al desarrollo global del país, aliviando en alguna medida la carga de inversión de las compañías estatales.

Como una norma de justicia, debería procurarse que los beneficios de la explotación de este recurso sean a favor de muchos, a través de una empresa de propiedad comunal, y no en beneficio de unos cuantos propietarios o empresas.

En Costa Rica se está experimentando esta modalidad. El ICE comprará a los generadores privados independientes, electricidad a través de la red nacional, hasta un valor equivalente al 15% de la capacidad instalada de la Institución, fomentando el uso de plantas de 50 a 5000 kW.

Las condiciones actualmente establecidas son muy atractivas, en los mejores casos, la inversión se recupera en menos de 3 años, y se establece un contrato por 10 años con un carácter renovable.

### 3.-Generación para la agroindustria

En muchas regiones, donde llega la red nacional, existen Cooperativas agroindustriales explotadoras de algún producto. En Costa Rica típicamente es el café. En muchas ocasiones, la planta agroindustrial se ubica en un sitio donde existe un potencial hidroeléctrico aprovechable. En estos casos, es posible instalar plantas hidroeléctricas que produzcan la totalidad o parte de la energía consumida por la agroindustria, y en algunos casos se puede vender a la red los excedentes. En Costa Rica se está dando esta mo-

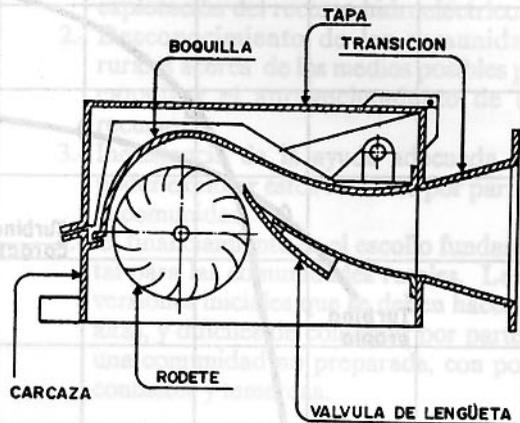


FIGURA 1. Representación esquemática de la turbina de lengüeta

EFICIENCIA (%)

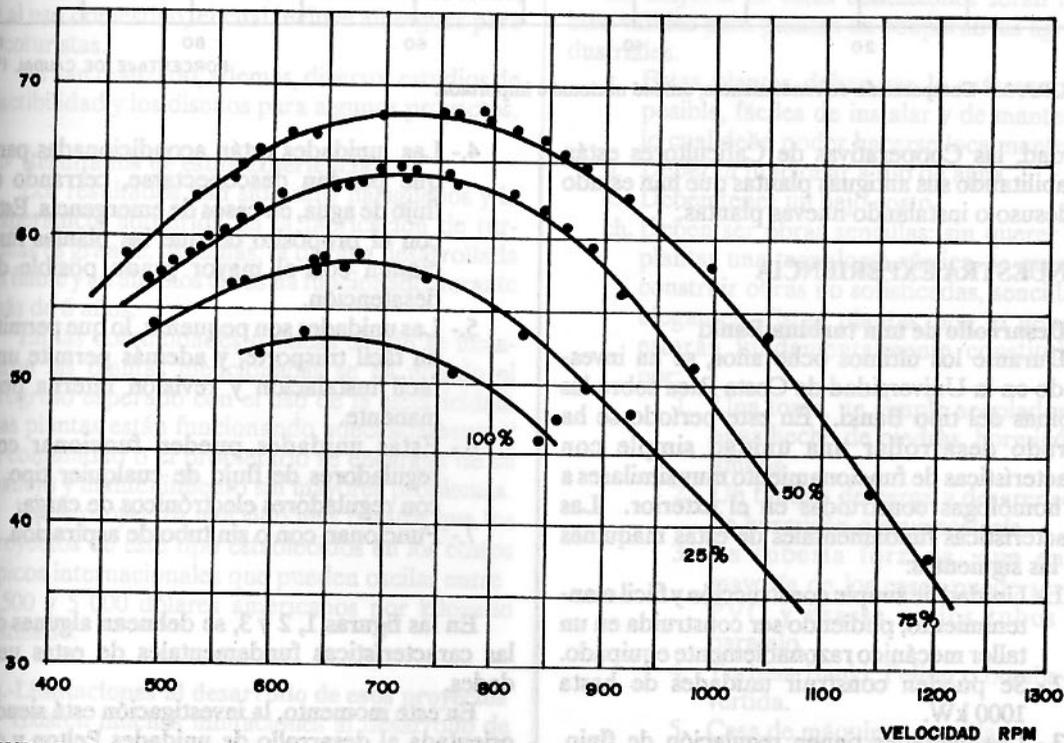


FIGURA 2. Variación de la eficiencia (n) contra velocidad (N) para diferente porcentaje de potencia. H = 12m para turbina BANKI

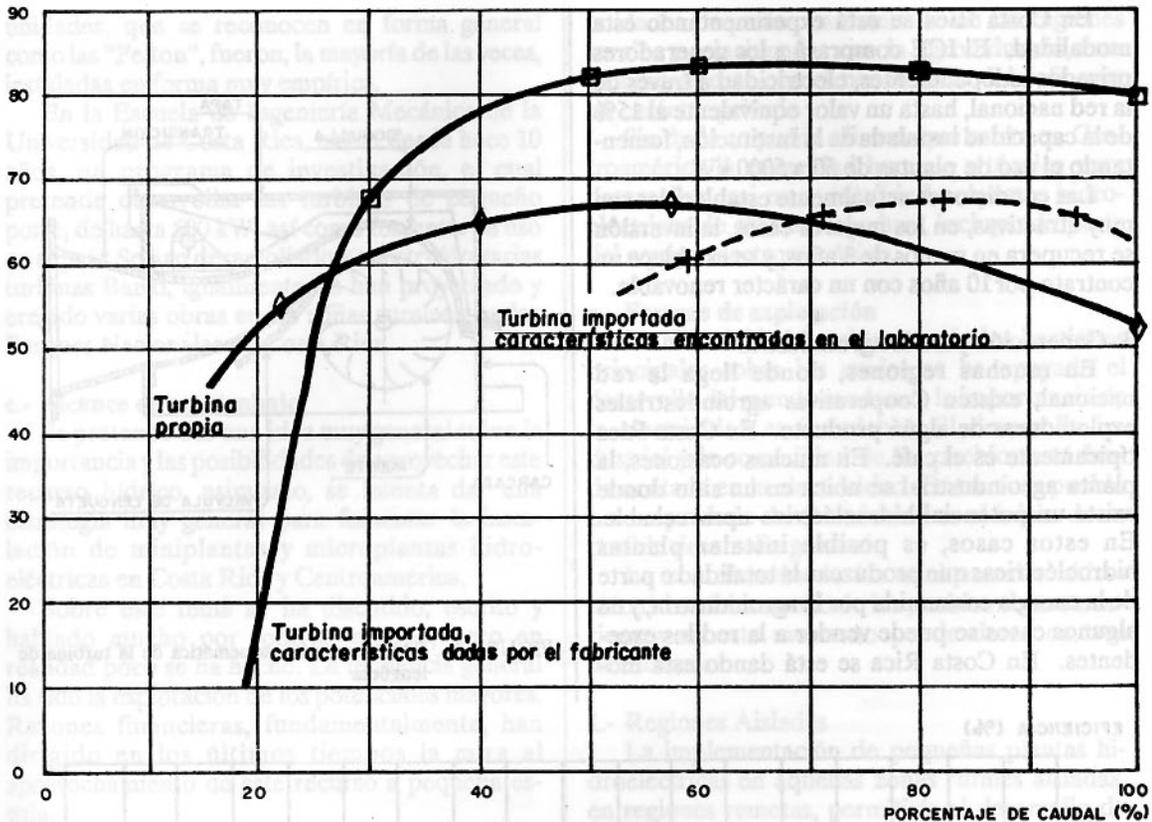


FIGURA 3. Comparación de rendimientos, unidad nacional e importada.

alidad, las Cooperativas de Caficultores están rehabilitando sus antiguas plantas que han estado en desuso o instalando nuevas plantas.

### C.- NUESTRA EXPERIENCIA

#### a.- Desarrollo de una turbina Banki

Durante los últimos ocho años, se ha investigado en la Universidad de Costa Rica sobre las turbinas del tipo Banki. En este período se ha logrado desarrollar una unidad simple con características de funcionamiento muy similares a las homólogas construidas en el exterior. Las características fundamentales de estas máquinas son las siguientes:

- 1.- Unidad de simple construcción y fácil mantenimiento, pudiendo ser construida en un taller mecánico razonablemente equipado.
- 2.- Se pueden construir unidades de hasta 1000 kW.
- 3.- Las unidades tienen regulación de flujo, manual o automático.

4.- Las unidades están acondicionadas para que puedan desconectarse, cerrando el flujo de agua, en casos de emergencia. Esto con el propósito de que las plantas funcionen con el mayor grado posible de desatención.

5.- Las unidades son pequeñas, lo que permite un fácil transporte, y además permite una fácil instalación y revisión interna permanente.

6.- Estas unidades pueden funcionar con reguladores de flujo de cualquier tipo, o con reguladores electrónicos de carga.

7.- Funcionan con o sin tubo de aspiración.

En las figuras 1, 2 y 3, se delincan algunas de las características fundamentales de estas unidades.

En este momento, la investigación está siendo orientada al desarrollo de unidades Pelton y de hélice.

#### b.- Experiencia en el campo.

En este sentido se han llevado a cabo varios proyectos. Se han instalado varias plantas en diferentes sitios como los siguientes:

Una cooperativa de caficultores, con una planta de 70 kW, que mueve un beneficio que procesa 10 000 fanegas de café y que además durante algún tiempo suministró electricidad a una población de 100 casas. Actualmente, la red nacional llega a esos lares, el beneficio genera su propia energía, y se está tramitando la conexión a la red para vender los excedentes.

Una asociación de pequeños productores de caña, con una unidad de 15kW, además se usa la energía durante la noche para alumbrar cerca de 50 casas.

Una finca privada en Panamá, con una unidad de 5 kW, que suple energía eléctrica para las instalaciones industriales y las moradas de los dueños y empleados.

Una planta de 8 kW en un Parque Nacional que suministra la energía eléctrica a las instalaciones de los guardaparques.

Una planta de 15 kW en una finca particular, destinada a la electricidad al enfriamiento de leche, y al uso doméstico, el cual incluye albergues para ecoturistas.

Se han realizado, además, diversos estudios de factibilidad y los diseños para algunos proyectos.

#### c.- Resultados de estas experiencias.

Los resultados han sido muy halagüeños y la experiencia adquirida en la fabricación de turbinas es grande. Además, la turbina desarrollada es fiable y en algunos casos ha funcionado durante más de 6 años.

En las comunidades o fincas donde se instalaron las plantas mencionadas se ha notado el progreso esperado con el uso de la electricidad. Las plantas están funcionando adecuadamente y la comunidad o el propietario se encargan de su manejo y mantenimiento sin mayores problemas.

Estos proyectos han sido más baratos que los proyectos de este tipo establecidos en los costos típicos internacionales que pueden oscilar entre 1 500 y 5 000 dólares americanos por kilovatio instalado.

#### ch.-Limitaciones al desarrollo de esos proyectos

Existen muchas limitaciones al desarrollo de estos proyectos, entre los principales se pueden señalar:

- 1.- Desconocimiento por parte de las comunidades rurales sobre la posibilidad de la explotación del recurso hidroeléctrico.
- 2.- Desconocimiento de las comunidades rurales acerca de los medios posibles para canalizar el aprovechamiento de este recurso.
- 3.- Inexistencia de la ayuda adecuada para poder explotar estos recursos por parte de la comunidad.
- 4.- El financiamiento es el escollo fundamental para las comunidades rurales. Las inversiones iniciales que se deben hacer son altas, y difíciles de conseguir por parte de una comunidad no preparada, con pocos contactos y temerosa.

#### CH.-ESTRATEGIAS DE DESARROLLO PARA PLANTAS AISLADAS.

Por considerarse las más difíciles de financiar, y las de mayor impacto en los grupos más necesitados, se pretende delinear las características globales que se deben considerar en la explotación de una planta de este tipo.

La mayoría de estas condiciones serán también válidas para plantas en cooperativas agroindustriales.

- a. Estas plantas deben ser lo más sencillas posible, fáciles de instalar y de mantener, lo cual debe poder hacerse localmente.
- b. Deberán funcionar a filo de agua.
- c. Deben tener un bajo costo.
- ch. Deben ser obras sencillas; sin querer implantar una tecnología rústica, se quieren construir obras no sofisticadas, sencillas y elegantes. Estas plantas por lo general estarán fundamentalmente constituidas por:
  1. Una toma, un simple acopiador de agua hecho de piedras, hormigón o ambos.
  2. Un tanque de carga y desarenador de hormigón o mampostería.
  3. La tubería forzada, que en la mayoría de los casos puede ser de PVC y usarse varios tubos en paralelo.
  4. Turbina Banki, Pelton o bomba invertida.
  5. Casa de máquinas sencilla.
  6. Dentro de lo posible, se quiere una planta desatendida, para esto se

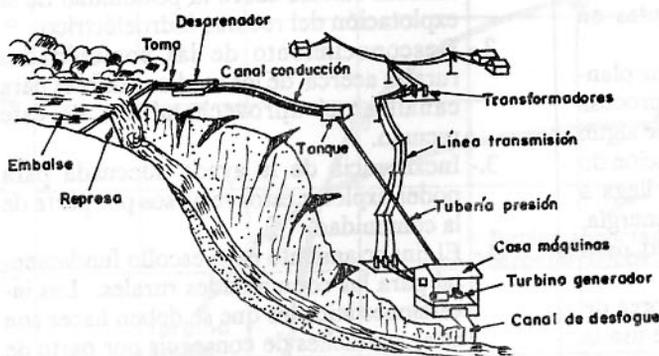


FIGURA 4. Esquema de una miniplanta hidráulica.

instalaría un protector, dispositivo electrónico simple que ordena cerrar el agua o desviarla cuando hay problemas, apagando de esta manera la planta.

7. Regulador de frecuencia sencillo, probablemente un regulador de carga electrónico.

En la figura No.4 se ilustra esquemáticamente una disposición global para una planta de este tipo.

- d. Se busca que el fin primordial de la instalación de una planta en una comunidad sea el de suplir la energía necesaria para establecer una agroindustria, que sería el núcleo de desarrollo de la zona.
- e. Como propósito secundario, se desea llevar las bondades de la electricidad a la comunidad, preferentemente a aquellas instalaciones comunales, escuela, iglesia, centro comunal, etc.
- f. A fin de conseguir el financiamiento necesario para desarrollar la obra, es conveniente llevar a cabo estudios previos, tanto de factibilidad técnica como de factibilidad económica. En algunos casos, con estos estudios se logran donaciones del extranjero para erigir las obras.
- g. Cualquier comunidad, por más pobre que sea, tiene el recurso humano, el cual puede aportar a la construcción de las obras, así como la mano de obra no calificada. Esta acción es muy bien vista por los posibles

donadores como la contrapartida comunal. Algunos de los proyectos desarrollados en Costa Rica tienen este carácter. Este aporte puede hacerse a través de la Junta Local de Desarrollo o de cualquier grupo organizado que exista.

#### D.- CONCLUSIONES.

Sobre este trabajo se dan las siguientes conclusiones:

1. El uso de las miniplantas en Costa Rica y Centroamérica es factible, conveniente y es económicamente rentable.
2. Los costos en estos tipos de proyectos son relativamente bajos, comparados con los estándares mundiales, máxime si se usan equipos de construcción local.
3. Existe en Centroamérica la capacidad para llevar a cabo estos proyectos.
4. El carácter de propiedad comunal que pueda tener una planta, hace que la gente la aprecie y la cuide.
5. El personal de las zonas rurales puede fácilmente entrenarse para manejar y mantener la planta.
6. Estas pequeñas plantas pueden integrarse en algunos casos a la red para vender la energía.
7. El fomento de estas plantas con equipos locales, promueve el desarrollo de la industria mecánica local.

#### E.- RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para desarrollar este tipo de proyectos en los diferentes países centroamericanos, se dan las siguientes:

1. Fomentar la instalación de estas plantas en las zonas rurales aisladas de cada país.
2. Establecer en cada país del Area, a nivel institucional o a nivel privado, uno o varios grupos de personal especializado, que asesore a la gente en este campo y en las posibilidades de conseguir financiamiento.
3. Buscar los medios para instruir a la gente a estimar el potencial hidroeléctrico de su comunidad, cuando éste existe.