

## ENERGÍA

# APROVECHAMIENTO HIDROENERGÉTICO DEL ARROYO ACARAYMI, SITUADO EN EL KM 28, DISTRITO DE MINGA GUAZÚ

AUTOR: FARIÑA SOSA, EDSON SANTIAGO

TUTOR: CARDOZO CARRERA, CARLOS RICARDO

Universidad Nacional del Este

Facultad de Ingeniería Agronómica

Minga Guazú, Paraguay

nosdesanti91@gmail.com, carlos.ricardo.cardozo@gmail.com

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en realizar un estudio sobre el potencial hidroenergético del arroyo Acaraymi, ubicado en el km 28 del distrito de Minga Guazú. Con el objetivo de satisfacer la demanda energética de sectores rurales mediante la instalación de una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH). La metodología presente en el trabajo se apoya en la utilización de una serie de datos ya conocidos, que incluyen temas como medición de caudal, clima de la región, hidrología, precipitación, etc. La cuenca del Acaraymi tiene un área de 100,75 km<sup>2</sup> aproximadamente y un perímetro de unos 55,3 km, toda el área de la cuenca se encuentra establecido dentro del distrito de Minga Guazú, Alto Paraná. Para el cálculo de caudal se realizaron dos métodos: el método de velocidad por área conocida y el método del molinete, estas mediciones se realizaron en febrero y octubre del año 2015 respectivamente, ambos resultados fueron similares. Para estimar el potencial hidroenergético del arroyo Acaraymi se utilizó una fórmula que consiste en multiplicar el volumen de agua que circula en una sección durante un tiempo determinado y el caudal del río por la altura neta y por una constante que está determinada por el tamaño de la turbina o rango de potencia del proyecto de generación de energía. El potencial hidroeléctrico calculado del arroyo Acaraymi es de unos 6,55 Kw que son suficientes para satisfacer la demanda energética de aproximadamente unas 17 viviendas estándar, considerando que el consumo promedio de cada vivienda sea aproximadamente de unos 0,372Kw. Según la potencia estimada, se puede decir que en el arroyo es posible construir una microcentral hidroeléctrica, de acuerdo a la clasificación de la *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)*.

**Palabras claves:** 1. Pequeña Central Hidroeléctrica, 2. Potencial hidroenergetico, 3. Arroyo Acaraymi.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un arroyo es una corriente natural de agua que normalmente fluye con continuidad, pero que a diferencia de un río, tiene escaso caudal, que puede incluso desaparecer en la estación seca, verano o invierno, dependiendo de la temporada de lluvia para su existencia. Un arroyo se divide en: cuenca de recepción, canal de desagüe y cono de deyección. Al igual que los ríos, pueden desembocar en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denominan afluentes de éste.

Paraguay posee en la Región Oriental una vasta red hidrográfica que lo convierte en uno de los países con más disponibilidad de agua por superficie en el mundo, con muchos cursos de importante caudal. A esto se suman características climatológicas, topográficas y de suelos muy favorables, que se traducen en la posibilidad de contar con numerosos sitios con potencial para su explotación hidroenergética, ya que el Paraguay posee un gran potencial hidroeléctrico, de los cuales es solo aprovechado por la represa Itaipu, Yacyreta y Acaray.

Así también cuenta con innumerables recursos hidráulicos de pequeño porte, como son los pequeños ríos y arroyos, que aprovechando adecuadamente podrán contribuir significativamente en el atendimento de la demanda sin las pesadas inversiones en sistemas de transmisión, ya que estos pequeños aprovechamientos hidroeléctricos serían localizados próximos a la carga que se debe atender.

La generación de energía a partir de una corriente de agua es la fuente de energía renovable más usada en el mundo para generar electricidad. La mayoría es producida con centrales de gran escala que utilizan presas y embalses grandes los cuales pueden almacenar una gran cantidad de agua para regular la generación. Estas centrales tienen la capacidad de generar cantidades considerables de electricidad en forma constante durante ciertos períodos pero también causan impactos ambientales y sociales como: la obstrucción de la corriente de ríos, la inundación de áreas considerables y la reubicación de comunidades.

Los sistemas a pequeña escala, que pueden variar de unos cuantos vatios hasta 5 MW, no causan estos problemas y pueden contribuir a brindar el servicio de electricidad a zonas no-electrificadas y fortalecer la red interconectada. Estos proyectos generalmente son “al filo de agua”, o sea, que desvían temporalmente una parte del caudal de una corriente para la producción de energía hidroeléctrica.

Las PCH'S además de ser fuentes de energía renovable constituye una opción válida para el atendimento de cargas alejadas de la red e impulsando la electrificación rural y los beneficios asociados al mismo como iluminación, bombeo de agua, comunicación, etc. Estos mismos aprovechamientos cuando interconectados a la red podrán constituirse en un soporte importante para el atendimento en la demanda.

En este trabajo se presenta un estudio sobre un posible aprovechamiento hidroenergético de un arroyo para satisfacer la demanda energética de un sector o sectores rurales. La metodología presente en el trabajo se apoya en la utilización de una serie de datos ya conocidos, que incluyen temas como medición de caudal, clima de la región, hidrología, precipitación, etc.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

- Analizar el potencial hidroenergético del arroyo Acaraymi, del km 28 del distrito de Minga Guazú.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- Delimitar la cuenca del arroyo Acaraymi y determinar su dimensión.
- Ejecutar mediciones de caudales aproximados del arroyo Acaraymi.
- Estimar la capacidad media para la producción de la energía eléctrica en una Pequeña Central Hidroeléctrica.
- Determinar el área de inundación de la Pequeña Central Hidroeléctrica.
- Establecer los costos de instalación de una Pequeña Central Hidroeléctrica.

## **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **3.1. Energía renovable**

Según *CASTRO A. (2006)*, energía renovable se entiende como una Fuente de energía cuyo potencial es inagotable por provenir de la energía que llega a nuestro planeta de forma continúa como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna. Son energías renovables la energía solar, eólica, hidráulica, mareomotriz, biomasa y geotérmica.

### **3.2. Energía hidráulica:**

La energía hidráulica se refiere al aprovechamiento de la energía potencial que tiene el agua (por diferencia de altura) que se obtiene buscando una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior, que luego se transforma en energía mecánica (rotación de un eje), con el uso de una rueda hidráulica o turbina. También es posible conectar la turbina a un generador eléctrico y de esta manera transformar la energía mecánica en energía eléctrica, con la ventaja de trasladar con mayor facilidad la energía a los puntos de consumo y aplicarla a una gran variedad de equipos y usos productivos. *BUN-CA (2002)*.

### **3.3. Cuenca hidrográfica**

Según *CASTRO A. (2006)* la cuenca hidrográfica es una superficie de terreno, cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta.

### **3.4. Caudal**

El caudal del río es un flujo de agua superficial que proviene de las precipitaciones pluviométricas, filtraciones y deshielos de las cuencas hidrográficas del sistema de generación. *CASTRO A. (2006)*.

### **3.9. Generación de energía eléctrica por medio de pequeñas centrales hidroeléctricas – PCHs.**

Según *ORTIZ R. (2001)*, las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, son centrales de generación hidroeléctrica con una potencia de generación baja. Comúnmente, es construida en zonas aisladas y no

representan mucha importancia al sistema de interconexión nacional por tener un área de influencia muy pequeña. Este tipo de central, tiene la desventaja de proporcionar una corriente eléctrica variable, porque depende directamente de los cambios climáticos y meteorológicos que pueden hacer variar el flujo de agua, en consecuencia la cantidad de agua disponible.

### **3.10. Ventajas entre PCHs y Grandes Centrales Hidroeléctricas.**

**Cuadro 1:** Ventajas entre PCHs y Grandes Centrales Hidroeléctricas.

*Fuente:* Pequeñas centrales hidroelectricas. ORTIZ R. (2001).

<b>PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS.</b>	<b>GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS.</b>
Generalmente se diseñan para el caudal mínimo.	Necesitan reservorios de millones de metros cúbicos.
Es posible administración local.	Administración centralizada.
Uso de tecnologías locales, capacidades locales.	Uso de tecnologías importadas y capacidades importadas.
Tiempos de construcción corta.	Largo tiempo de construcción.
Las obras civiles para la construcción son generalmente simples.	Las obras civiles son más complejas.
Muy poco impacto ambiental.	Gran impacto ambiental.

### **3.11. Desventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala**

Según **ORTIZ R. (2001)** algunas de las desventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala son:

- Alto costo inicial.
- Disponibilidad Local.
- Variabilidad del caudal.
- Necesidad de estudios.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Localización y Ubicación Geográfica del proyecto.**

El arroyo Acaraymi se encuentra ubicado en el km 28, aproximadamente a 4 km de la Ruta Internacional N° 7, en el distrito de Minga Guazú, departamento del Alto Paraná, Paraguay. Sus coordenadas son 25°26'51.94"S y 54°52'45.63"O en formato DMS (grados, minutos, segundos) o -25.447762°, -54.879341° (en grados decimales). Su posición UTM es zona 21 J, abscisa: 713243.95 m E y norte: 7183774.46 m S. (ver anexo 4).

### **4.2. Tipo de Investigación**

El presente trabajo de investigación está enmarcada en un modelo cuantitativo, por tanto se examinó los datos de forma numérica, así mismo es un proyecto orientado hacia una investigación descriptiva de

diseño no experimental, la investigación descriptiva consiste en un método científico que implica observar y describir el comportamiento de un sujeto sin influir sobre él de ninguna manera. **SHUTTLEWORTH, MARTYN (2008)**.

#### **4.3. Metodología general y herramientas de trabajo.**

La Evaluación preliminar del potencial hidroeléctrico teórico del cauce hídrico se desarrolló a partir de la generación de dos componentes esenciales del estudio, la creación de un Modelo Digital de Elevación y el cálculo mediante un sistema de ecuaciones de regresiones múltiples que han permitido regionalizar los principales parámetros hidrológicos para poder definir el caudal medio de ese cauce.

#### **4.4. Sistema de Información Geográfica (SIG).**

El Sistema de Información Geográfica (SIG) tiene como objetivo principal el desarrollo de la cartografía básica y temática para sustentar la ejecución de los trabajos del estudio. Los objetivos específicos del SIG se detallan a continuación:

- Almacenar la información temática espacial recopilada durante el desarrollo del proyecto de manera de facilitar su identificación, uso y actualización.
- Generar un Modelo Digital de Elevación del área de la cuenca del arroyo.
- Asistir en los análisis temáticos llevados a cabo durante el proyecto, como por ejemplo, la determinación del potencial hídrico.

#### **4.5. Definición del Sistema de Información Geográfica (SIG).**

##### **4.5.1. Software:**

El software seleccionado para el desarrollo y la implementación del SIG es el programa ArcGis Desktop 10.2.2 (Arcview) de ESRI y dos extensiones, Spatial Analyst y 3D Analyst, como soporte para los análisis especiales.

##### **4.5.2. Sistema de proyección:**

La proyección que se utilizó es el sistema “Universal Transverse Mercator” (UTM), el cual es el sistema de proyección cartográfica para la República del Paraguay.

#### **4.6. Cálculo del aforo para la determinación de caudal**

El aforo es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado. Esto es, el caudal que pasa por una sección de un curso de agua. Lo ideal es que los aforos se efectúen en las temporadas críticas de los meses de secos y de lluvias, para conocer caudales mínimos y máximos.

Existen varios métodos para determinar el caudal de agua y los más utilizados en los proyectos en zonas rurales son los métodos volumétrico y de velocidad-área. El primero es utilizado para calcular caudales poco voluminosos y el segundo para caudales mayores a 100 l/s.

#### 4.7. Cálculo del caudal con molinete

En este método, la velocidad del agua se midió por medio de un instrumento llamado “correntómetro” que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua. Un tipo bien conocido es el denominado “molinete de Woltmann”.

Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula necesaria para calcular la velocidad del agua sabiendo el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo. Estos correntómetros se calibran en laboratorios de hidráulica; una fórmula de calibración, como la empleada en nuestro estudio, es la siguiente:

$$v = a \cdot n + b^{(1)}$$

*Donde:*

*v* es la velocidad del agua, expresada en m/s.

*n* es el número de vueltas de la hélice por segundo.

*a* es el paso real de la hélice en metros.

*b* es la llamada velocidad de frotamiento en m/s.

Como el correntómetro mide la velocidad en un punto determinado, para obtener la velocidad media de un curso de agua se midió la velocidad en dos, tres o más puntos, a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de la superficie del agua. Mediante un circuito eléctrico, los valores de la velocidad son registrados en un cuentarrevoluciones.

#### 4.8. Método de velocidad por área conocida

Con este método se midió la velocidad del agua superficial que circula de la fuente, tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme.

Se tomó una sección de la corriente; se midió el área de la sección: se lanzó un objeto que flote agua arriba del primer punto de control y, al paso del cuerpo por dicho punto, se inició la toma del tiempo que duró el viaje hasta el punto de control corriente abajo.

Calculo del área del lecho del río:

$$\text{Ancho} \times \text{profundidad media} = \text{lechodelrío}^{(2)}$$

Calculo de la velocidad del recorrido, se aplicó la siguiente operación:

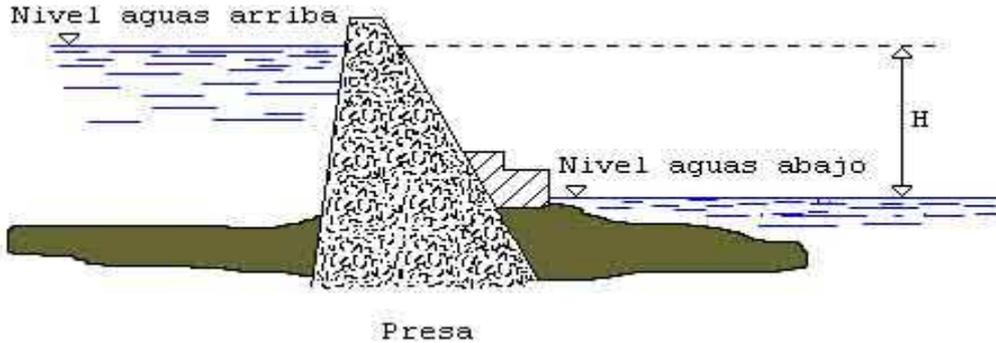
$$\text{Velocidad del recorrido} = \text{distancia} / \text{tiempo}^{(3)}$$

La última operación que se realizó es el cálculo del caudal, para eso se hizo lo indicado en la ecuación 4:

$$\text{Caudal del río} = \text{Lechodelrío (área)} \times \text{Velocidad del recorrido}^{(4)}$$

#### 4.9. Cálculo de la altura neta

La altura neta o diferencia de alturas, es el resultado que se obtiene al restar la altura máxima de la altura mínima seleccionada en el sitio de estudio.



**Figura 1:** Esquema de la altura neta.

#### 4.10. Cálculo del potencial hidroenergético

Para estimar el potencial hidroenergético se multiplicó el volumen de agua que circula en una sección durante un tiempo determinado y el caudal del río por la altura neta y por una constante que está determinada por el tamaño de la turbina o rango de potencia del proyecto de generación de energía (cuadro 3).

$$P = KxQxH^{(5)}$$

**K=** valor constante (ver cuadro 3)

**Q=** caudal de diseño

**H=** altura neta

**Cuadro 2:** Rango de potencia. *Fuente:* Revista Informador Técnico (2011).

Clasificación	Según OLADE	USA, Europa
Pico centrales	Hasta 5kW	Hasta 10kW
Microcentrales	5kW -50kw	10kW-100kW
Minicentrales	50kW- 500kW	100kW – 1 MW
Pequeñas centrales	500kW – 5 MW	1MW – 10MW
Medianas centrales	5MW – 50 MW	10MW –100MW
Grandes centrales	Mayores a 50MW	Mayores a 100MW

**Cuadro 3:** Rango de potencia de valores de k. *Fuente:* Sierra, Sierra & Guerrero (2011).

Rango de potencia Valores de k (constante según potencia)
Pico centrales 3.5 – 5.0
Microcentrales 5.0 – 6.5
Minicentrales 6.0 – 7.0
Rangos mayores 7.0 – 7.5

Fuente: (Sierra, Sierra, & Guerrero, 2011)

## 5. RESULTADOS

A continuación se estarán presentando los datos obtenidos del trabajo de investigación, mediante el levantamiento de datos del sitio ya citado con anterioridad, de los cuales serán representados mediante una tabla con la media de cada uno de los parámetros que se tuvieron en cuenta.

### 5.1. Delimitación de la cuenca del arroyo Acaraymi.

La delimitación y mediciones se realizaron en base a un Modelo Digital de Elevación gracias a la utilización del programa ArcGis Desktop 10.2.2 (Arcview) de ESRI y dos extensiones, Spatial Analyst, ArcToolBox y 3D Analyst, como soporte para los análisis especiales. ArcGIS cuenta con un potente conjunto de herramientas hidrológicas que permiten modelar el flujo de agua a través de una superficie de un Modelo de Elevación Digital (DEM), que ayudan a tomar decisiones en procesos de planificación.

#### 5.1.1 Procedimiento de delimitación

Para delimitar automáticamente una cuenca hidrográfica y construir la red hídrica a partir de un DEM, es necesario realizar el siguiente procedimiento:

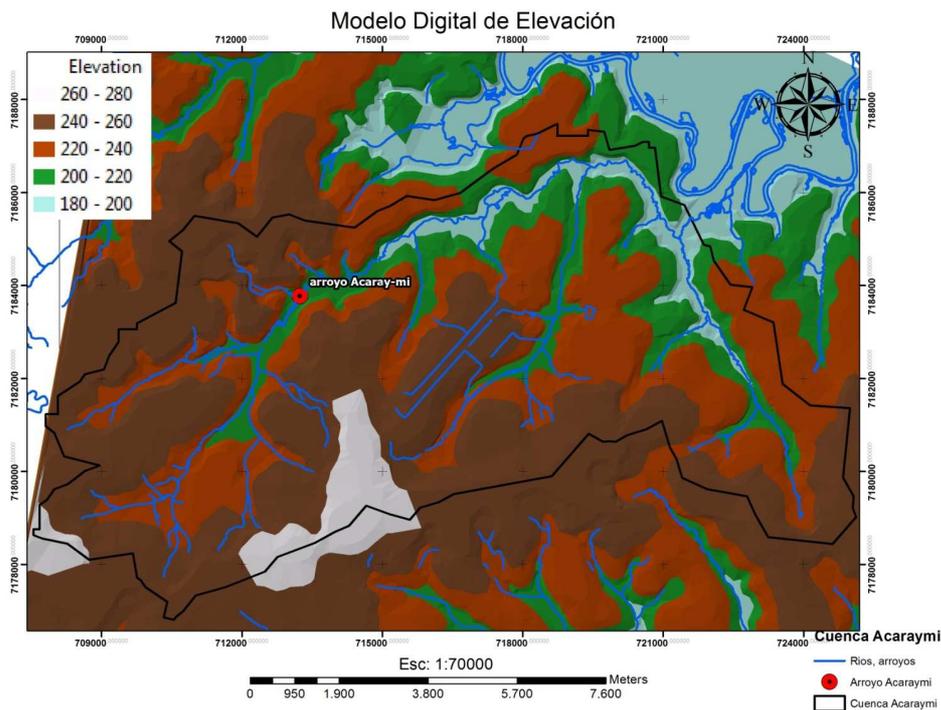


**Figura 2:** Procedimiento de la delimitación para una cuenca hidrográfica.

## Aprovechamiento hidroenergético del arroyo Acaray-mi, situado en el km 28, distrito de Minga Guazú

En las imágenes de abajo se puede observar la delimitación de la microcuenca y el Modelo Digital del Terreno creado anteriormente a partir de las curvas de nivel, se demuestra que el punto más alto de la cuenca es de unos 280m sobre el nivel del mar y el punto más bajo es de unos 180m sobre el nivel del mar en el área de la desembocadura del arroyo en el río Acaray.

La cuenca del arroyo tiene un área de 100,75 km<sup>2</sup> aproximadamente y un perímetro de unos 55,3 km, toda el área de la cuenca se encuentra establecido dentro del distrito de Minga Guazú, Alto Paraná. La mayor parte del territorio de la microcuenca son cultivos agrícolas, también existen pequeñas poblaciones en los alrededores.



**Figura 4:** Modelo Digital del Terreno de la microcuenca Acaraymi.

### 1.1.2. Descripción de la microcuenca delimitada

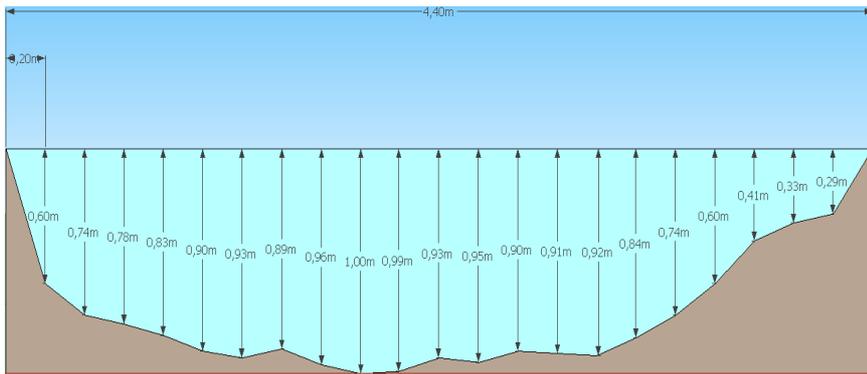
**Superficie de la microcuenca:** 100,75km<sup>2</sup>

**Perímetro:** 55,3km

**Altura máxima:** 280m

**Altura mínima:** 180m

**5.2. Determinación del área de una sección del arroyo.**



**Figura 5:** Perfil del cauce hídrico.

En la figura 5 se observa la delimitación de una sección transversal del arroyo para calcular su área, se eligió un tramo en que las orillas fueran aceptablemente paralelas, se tomó el ancho de la sección y para sacar la profundidad media se midió las distintas profundidades a cada 0,20m a lo largo del ancho de la sección con el auxilio de una varilla. Para el cálculo del perímetro y área se utilizó el programa AutoCad para una mayor exactitud en los cálculos.

Se obtuvo los siguientes datos:

**Ancho= 4,4m**

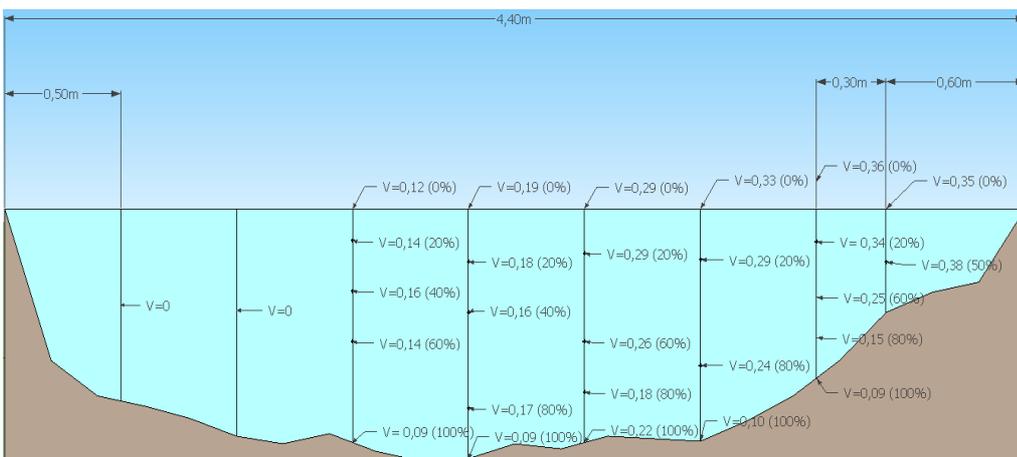
**Profundidad media= 0,78m**

**Área= 3,288m<sup>2</sup>**

**Perímetro= 9,67m**

**5.3. Determinación de la velocidad del agua y el caudal del arroyo**

**5.3.1. Resultados del método por molinete**



**Figura 6:** Toma de las velocidades en distintos puntos del arroyo

En la figura 6 muestra las

En la figura 6 muestra las velocidades medias en los distintos

puntos a lo largo de la horizontal y a distintas profundidades que fueron obtenidas en las mediciones. En cada punto se realizaron cinco mediciones durante 60 segundos de los cuales se promediaron para obtener la velocidad media. Las mediciones fueron hechas el día jueves 26 de febrero del 2015, aproximadamente a las

08:00 hrs a.m., donde posteriormente se procedió a la determinación del caudal medio disponible realizándose los cálculos respectivos a partir de la velocidad del agua y área de la sección.

El equipo utilizado fue un molinete con sistema de medición digital automática marca *SIAP N15464.*, con capacidad de medir cursos de agua de hasta 3,5 m/s de velocidad y 1 m de profundidad, lo que hace a este equipo ideal para los fines de nuestro estudio. Estas mediciones se realizaron en el mes de febrero, que es uno de los meses con mayor promedio de precipitación durante el año (154,2mm), según la *Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC)*. A partir de ahí se obtuvo los siguientes resultados (ver anexo 3):

**Velocidad media= 0,21m/s**

### 5.3.2. Resultados del método de velocidad o área conocida

Esta medición se realizó un día lunes 19 de octubre del 2015, aproximadamente a las 14:00hrs. Se midió la velocidad del agua superficial del arroyo, tomando el tiempo que demora un objeto flotante (botella de plástico) en llegar de un punto a otro en una sección uniforme.

Se tomó una distancia de 8m de la corriente, se lanzó la botella que flote agua arriba del primer punto de control y, al paso del cuerpo por dicho punto, se inició la toma del tiempo que duró el viaje de la botella en esa distancia de 8m. Este proceso se repitió unas siete veces. Se obtuvo los siguientes datos:

**Cuadro 5:** Toma de datos para el cálculo de caudal con el método de velocidad o área conocida.

*Fuente:* Propia.

Nº	Distancia del trayecto(metros)	Tiempo de recorrido (segundos)	Velocidad (m/s)
1	8	37,5	0,21
2	8	34,23	0,23
3	8	31,84	0,25
4	8	26,8	0,30
5	8	33,15	0,24
6	8	32,63	0,25
7	8	26,77	0,30
<b>Promedio</b>		<b>31,85</b>	<b>0,25</b>

Donde se obtuvo un promedio de 31,85 segundos.

Para el cálculo de la velocidad del recorrido, se aplicó la siguiente operación:

$$\text{Velocidad de recorrido} = \text{distancia}/\text{tiempo}^{(3)}$$

$$\text{Velocidad de recorrido} = 8\text{m}/31,85\text{s}$$

$$\text{Velocidad de recorrido} = 0,25\text{m/s}$$

### 5.3.3. Promedio de los resultados entre los dos métodos

Para obtener un promedio de ambos resultados de medición se realizó lo siguiente:

$$V = \text{Método 1} + \text{Método 2} / 2$$

$$V = 0,21\text{m/s} + 0,25\text{m/s} / 2$$

$$V = 0,23\text{m/s}$$

### 5.4. Caudal

Para el cálculo del caudal, se hizo lo indicado en la ecuación:

$$\text{Caudal} = \text{Lechodelrío (área)} \times \text{Velocidadderecorrido}^{(4)}$$

$$\text{Caudal} = 3,288\text{m}^2 \times 0,23\text{m/s}$$

$$\text{Caudal medio} = 0,76\text{m}^3/\text{s}$$

### 5.5. Altura neta

Para estimar la altura neta se tuvo en cuenta como altura máxima un puente que atraviesa el arroyo, siendo la altura de ese puente 3,82m desde el lecho del arroyo y sabiendo que la profundidad máxima del arroyo es de 1m se estimo que la altura neta sea de aproximadamente de unos 1,50m.

$$\text{Altura neta} = 1,50\text{m.}$$

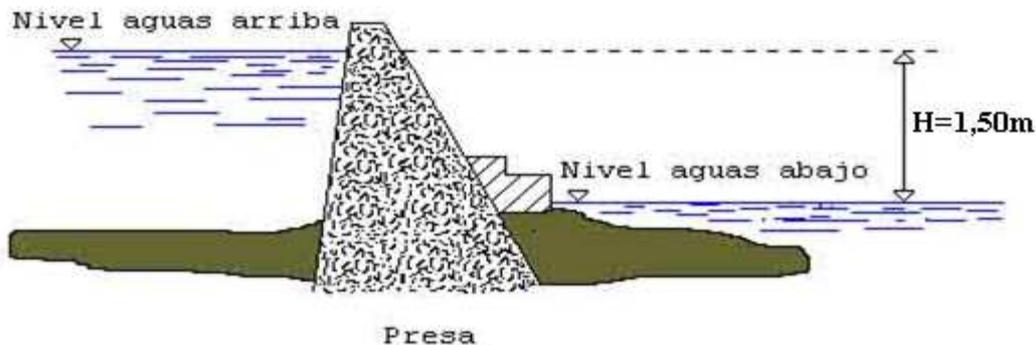


Figura 9: Esquema de la altura neta.

### 5.6 Potencial hidroenergetico del arroyo Acaraymi

Para estimar el potencial hidroenergético se multiplicó el volumen de agua que circula en una sección durante un tiempo determinado y el caudal del río por la altura neta y por una constante que está determinada por el tamaño de la turbina o rango de potencia del proyecto de generación de energía (cuadro 3). Se utilizó la constante indicada para una microcentral que va del rango de 5,0 a 6,5.

$$P = K \times Q \times H^{(5)}$$

$$\text{Altura neta} = 1,5\text{m}$$

$$k \text{ (constante según potencia)} = 5,0 - 6,5 \text{ Microcentrales; } 5,75 \text{ (promedio).}$$

$$\text{Potencia} = 5,75 \times 0,76\text{m}^3/\text{s} \times 2\text{m}$$

$$\text{Potencia} = 6,55 \text{ Kw}$$

**Aprovechamiento hidroenergético del arroyo Acaray-mi, situado en el km 28, distrito de Minga Guazú**

Según la potencia estimada, se puede decir que en el arroyo es posible construir una microcentral hidroeléctrica, de acuerdo a la clasificación de la *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)*. Ver cuadro 2. Para el cálculo estimativo del potencial hidroeléctrico no se ha considerado las pérdidas hidráulicas posibles en las turbinas instaladas en la PCH, ya que estas pérdidas dependerán de las dimensiones del

A continuación se presenta un ejemplo de consumo de energía eléctrica de una vivienda. Consumo que podría ser abastecido por la microcentral hidroeléctrica suponiendo que no tendrían una línea de transmisión de energía eléctrica.

**Cuadro 7:** Ejemplo de consumo de una vivienda. *Fuente:* Estudio de aprovechamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas. Año 2008.

Consumo iluminación o electrodomésticos.	Potencia en Watts	Horas de uso diarias	Consumo Mensual en Watts hora (Wh)
Fluorescente	6 * 40 = 240	3	21.600
Foco incandescente	3 * 100 = 300	3	27.000
Ducha eléctrica	1 * 3000 = 3000	0.6	5.4000
Lavadora	1 * 400 = 400	0.58	7.000
Heladera	1 * 400 = 400	8	96.000
Licudadora	1 * 300 = 300	0.25	2.250
Bomba de agua ½ HP	1 * 440 = 440	0.25	3.300
Plancha	1 * 1000 = 1000	0.5	15.000
Ventilador de techo	3 * 100 = 100	3	9.000
TV de 14 plg	1 * 180 = 180	5	27.000
Varios	2 * 100 = 200	1	6.000
<i>Total consumo mensual en [kWh]</i>			<b>268,15</b>

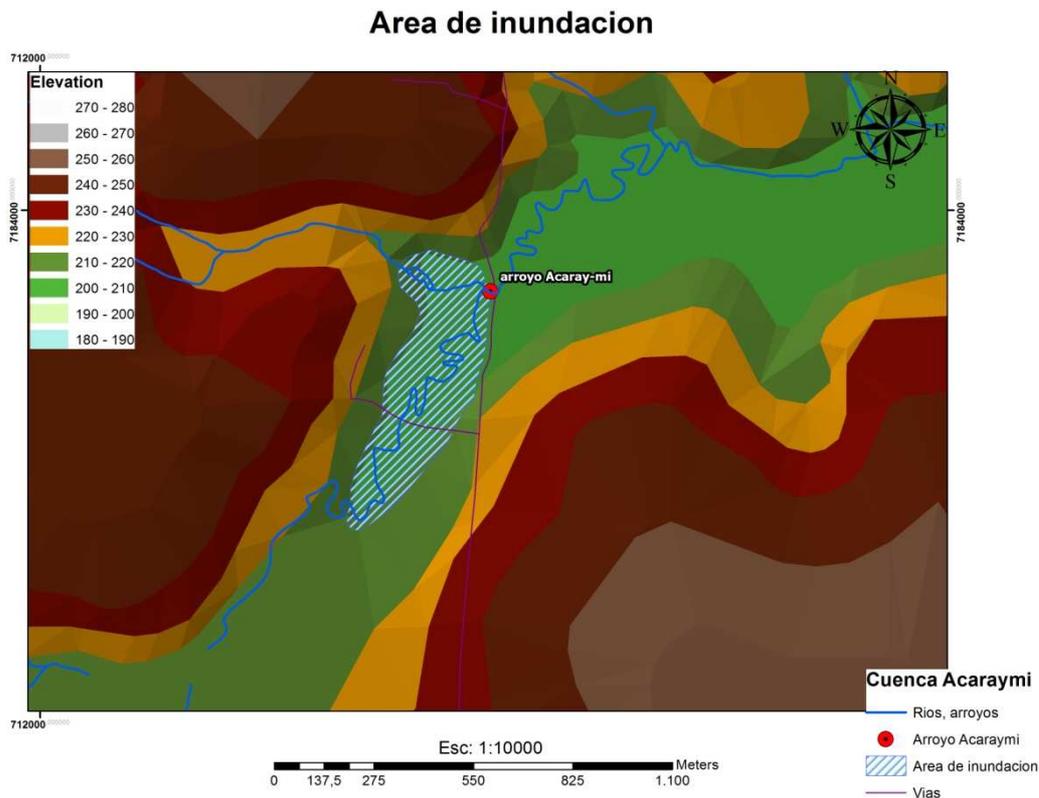
Para determinar el consumo promedio por hora de una vivienda estándar se realizó la siguiente ecuación:

$$\frac{268,15 \text{ Kwh}}{30 \text{ días} * 24 \text{ horas}} = \mathbf{0,372 \text{ Kw por vivienda}}$$

El potencial hidroeléctrico calculado del arroyo Acaraymi es de unos 6,55 Kw que son suficientes para satisfacer la demanda energética de aproximadamente unas 17 viviendas estándar, considerando que el consumo promedio de cada vivienda sea aproximadamente de unos 0,372Kw.

### **5.7 Área de inundación de la posible represa**

Se procedió a estimar el área que sería inundada con la instalación de la represa. Para realizar este proceso se tuvo en cuenta el modelo digital de terreno y la altura neta de la presa que estimamos en 1,5m. A partir del sitio de estudio tenemos 210 m de elevación, se procedió a delimitar toda el área que abarca hasta 211,5 m de elevación.



**Figura 10:** Área de inundación.

La superficie inundada tiene unas 15,53 has y 1942,26m de perímetro, según las imágenes de Google Earth y algunos análisis experimentales se pudo observar que esa área actualmente es ocupada mayormente por pastizales, un pequeño porcentaje de bosques y algunas viviendas y vías que podrían ser inundadas por el área de embalse de la represa.

**Superficie inundada: 15,53 has Perímetro: 1942,26m**

### 5.8. Costos de instalación

Al calcular el costo de un proyecto hidroeléctrico se deben considerar los siguientes rubros:

- Costo de inversión (directos e indirectos)
- Costos de reposiciones intermedias
- Costos de operación y mantenimiento

Los **costos de inversión** son los costos totales que se deben pagar para un proyecto totalmente construido. Generalmente, su valor se estima como un porcentaje del costo directo. En efecto, para cubrir los costos indirectos, se considera necesario entre el 10 y el 15% de los costos directos de construcción. Un 5% de dichos costos se asignan como gastos administrativos.

**Aprovechamiento hidroenergético del arroyo Acaray-mi, situado en el km 28, distrito de Minga Guazú**

**Cuadro 8:** Distribución de los costos de inversión de una microcentral eléctrica. *Fuente:* Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala / Biomass Users Network (BUN-CA). Año 2002.

Rubro	Porcentaje del costo (en %)
Obras civiles	15 - 40
Equipo electromecánico	30 - 60
Infraestructura	10 - 15
Costos indirectos	10 - 15

**Cuadro 9:** Costos de inversión de proyectos a diferentes escalas. *Fuente:* Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala / Biomass Users Network (BUN-CA). Año 2002.

Tipo de proyecto	Costos de inversión (US\$/kW)	Componentes principales	Posibles variables que pueden afectar el costo
Nano turbinas (menos de 1 kW)	3.000-5.000	Turbinas. Generadores eléctricos.	Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas.
Micro-hidros (1-100 kW)	3.000-5.000	Turbinas. Regulador de velocidad. Generadores eléctricos.	Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas.
Mini-hidro (100-1.000 kW) Pequeñas centrales (1-5 MW)	1.500-2.000	Obras derivación. Canal. Embalse. Vertedor y descarga fondo. Tubería forzada. Sala de máquinas. Equipo electromecánico. Transmisión.	Caudal del agua disponible. Demanda existente. Características topográficas, geológicas y geomorfológicas del sitio. Distancia a la red eléctrica.

El costo de inversión estimado para este tipo de proyectos sería de unos 26.200 US\$ esto es sin considerar las variables que puedan afectar el costo como el caudal del agua disponible, la demanda existente y las características topográficas del lugar.

Del total de ese costo aproximadamente unos 3.930 US\$ a 10.480US\$ corresponderá a la parte de obras civiles (15%- 40% del costo), unos 7860 US\$ a 15720 US\$ corresponderá a equipos electromecánicos (30%- 60% del costo), en la infraestructura se invertirá aproximadamente unos 2620 US\$ a 3930 US\$ (10%- 15% del costo) y los costos indirectos que serian unos 2620 US\$ a 3930 US\$ (10%- 15% del costo).

Las **reposiciones intermedias** se refieren a las obras y equipos que tienen una vida útil menor a la vida útil del proyecto global y que deben ser repuestos para conseguir un adecuado funcionamiento de las instalaciones. Estos valores se incluyen en el cálculo de la tasa interna como un porcentaje del costo total y con una determinada vida útil.

Los **costos de operación y mantenimiento** pueden expresarse en costo unitario por año (por ejemplo US\$/kW/año) en función del tamaño de la central o como un monto anual dado en un porcentaje de la inversión total del proyecto. Generalmente, estos costos fluctúan entre \$ 0,01 y \$ 0,02 por kWh. Por tanto el costo estimativo de operación y mantenimiento para este proyecto sería de unos 848,88 US\$ por año.

Desde el punto de vista económico, la inversión en pequeños proyectos hidroeléctricos es muy atractiva. Por lo general, estos tienen una vida útil de 40 años, teniendo un costo inicial elevado pero recuperable la inversión a largo plazo dado que sus gastos de explotación y mantenimiento son relativamente bajos.

La Administración Nacional de Electricidad (ANDE) cobra 365,45 Gs. el kW para el uso residencial doméstico. En un año sería unos 20.681.546 Gs. lo que la Ande cobraría por la energía que producirá la microcentral. En 40 años de vida útil de la microcentral se habrá pagado unos 872.261.840 Gs. a la Ande. Mientras que el costo de inversión sumado con el costo de mantenimiento de la microcentral rondaría los 60155,2 US\$ (unos 342.884.640 Gs. aproximadamente).

## **6. CONCLUSIÓN**

Actualmente en el Paraguay no existe un control hidrológico de la mayoría de las microcuencas, solo se tienen datos de las grandes cuencas como la del Paraná, Monday, etc. Por lo tanto se tuvieron en cuenta datos de cuencas mayores o de las áreas cercanas. La cuenca del Acaraymi tiene un área de 100,75 km<sup>2</sup> aproximadamente y un perímetro de unos 55,3 km, toda el área de la cuenca se encuentra establecido dentro del distrito de Minga Guazú, Alto Paraná. Es bastante extensa ya que el arroyo posee varios afluentes, abarca casi la quinta parte de todo el distrito de Minga Guazú. La mayor parte del territorio de la microcuenca son cultivos agrícolas, también existen pequeñas poblaciones en los alrededores.

Se realizaron dos tipos de mediciones para el determinar el caudal medio del arroyo Acaraymi y no hubo mucha diferencia en las dos mediciones realizadas, puesto que la primera medición realizada con molinete, el cual dio como resultado una velocidad media de 0,21m/s y la segunda medición, utilizando el método de flotador 8 meses después dio como resultado una velocidad media de 0,25m/s. Esto quiere decir que el caudal del arroyo no varió mucho a lo largo de esos meses.

El potencial hidroeléctrico calculado del arroyo Acaraymi es de unos 6,55 Kw. Según la potencia estimada, se puede decir que en el arroyo es posible construir una microcentral hidroeléctrica, de acuerdo a la clasificación de la *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)*.

En conclusión, desde el punto de vista económico, la inversión en pequeños proyectos hidroeléctricos es muy atractiva. Por lo general, estos tienen una vida útil de 40 años, teniendo un costo inicial elevado pero recuperable la inversión a largo plazo dado que sus gastos de explotación y mantenimiento son relativamente bajos.

## **7. RECOMENDACIONES**

Para el cálculo del caudal medio del arroyo se recomienda realizar mediciones a lo largo de un año, ya que el caudal varía bastante tanto en meses secos como en los meses lluviosos.

Se recomienda estudios técnicos más profundos para determinar un mejor sitio de aprovechamiento del potencial hidroenergético del Arroyo Acaraymi, teniendo en cuenta la topografía del terreno y la sensibilidad ambiental de la zona para así minimizar los impactos.

En cualquier caso, si se decide realizar un proyecto de minicentral hidroeléctrica es necesario realizar un estudio económico-financiero en profundidad (VAN, TIR, etc.).

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

ANDE (Administración Nacional de Electricidad). Plan Estratégico del Sector Energético de la Republica del Paraguay (2004-2013). 78 p.

ALONSO R. Y CHÁVEZ G. (2003). *Micro Generación Hidroeléctrica – Salto Amambay*, Trabajo de Tesis para optar por el título Ingeniero Electromecánico. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Itapúa. Encarnación, Paraguay.

ÁLVAREZ R. Y ARCE S. (2008). *Estudio de Aprovechamiento de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ 29, 30 y 31 de Octubre de 2008.

ÁNGEL S., CARMONA S. Y VILLEGAS L. (1997). *Gestión ambiental en proyectos de desarrollo: una propuesta desde los proyectos energéticos*. Fondo FEN, Santa Fe de Bogotá, Colombia. 290 p.

BUN-CA (Biomass Users Network, 2002). *Manual sobre energia renovable: hidráulica a pequeña escala*. San José, Costa Rica.

CASTRO A. (2006). *Minicentrales hidroeléctricas*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España. 180 p.

ECHEVERRÍA C. Y STRADA M. (2013). *Medición del potencial hidrológico para la generación de energías renovables, la experiencia de la Fundación Solar de Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 48 p.

ESHA (European Small Hydropower Association, 1998), *Manual de Pequeña Hidráulica, como llevar a buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrico.*, publicado por la Dirección General de Energía de la Comisión Europea. Disponible en formato electrónico en <http://www.microhydropower.net/download/books.html>.

ITAIPU BINACIONAL (2011). *Inventario de los Recursos Hidroenergéticos de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Afluentes del Paraguay en la Región Oriental del Paraguay*– Convenio n°4500020686/2011.

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. *Atlas Del potencial hidroeléctrico Del Peru* (2011). Lima, Peru. 50 p.

ORTIZ R. (2001). *Pequeñas centrales hidroelectricas*. Mc Graw Hill, Interamericana. Bogotá, Colombia. 357 p.

SEAM (Secretaria del Ambiente). Disponible en [www.seam.gov.py](http://www.seam.gov.py). Acceso el 12 de Mayo de 2008.

SHUTTLEWORTH, MARTYN (2008). Diseño de Investigación Descriptiva. May 29, 2015 Obtenido de Explorable.com: <https://explorable.com/es/disenio-de-investigacion-descriptiva>

SIERRA F., SIERRA A. Y GUERRERO C. (2011). *Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica*. Informador Técnico, Edición 75. 73- 85 p. Bogotá, Colombia.