

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y SUMULACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE BOMBEO DE AGUA PARA RIEGO Y RECUPERACIÓN DE ENERGÍA USANDO FUENTES RENOVABLES**

#### **DISEÑO Y SUMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO – HIDRÁULICO PARA RIEGO DE CULTIVO EN PIMAMPIRO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**ZACHARY NICOLÁS PADILLA TUFÍÑO**

**[zachary.padilla@epn.edu.ec](mailto:zachary.padilla@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: SANTIAGO DAVID VACA JIMENEZ**

**[santiago.vaca@epn.edu.ec](mailto:santiago.vaca@epn.edu.ec)**

**DMQ, agosto 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Zachary Padilla declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**Zachary Padilla**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Zachary Padilla, bajo mi supervisión.

---

**Santiago Vaca**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ZACHARY PADILLA

SANTIAGO VACA

## DEDICATORIA

Primeramente quiero agradecer al Señor todo poderoso que me permitio ingresar a la EPN y así comenzar esta aventura que sin el nada de esto fuera posible. A mis padres Sofía y Byron, que me guiaron apoyándome desde el primer momento en el que pise este mundo hasta el día de hoy el cual estoy culminando mi travesía académica. Ada paso que he dado en este viaje llamado universidad ah sido posible gracias al apoyo que me lo brindaron con mucho amor, sus enseñanzas y aliento me dieron fortaleza para seguir adelante, alcanzando este hito en mi vida.

A mi hermana Nicole o Pandi, es un logro del que hemos conversado, pero no lo veíamos cercano, sin embargo, con tus risas y palabras de aliento fueron de mis principales motivaciones para seguir adelante. Tu apoyo a pesar de todos los problemas que tuvimos ha sido mi ancla en momentos de desesperación ayudándome a seguir con esta meta, siendo este trabajo un ejemplo del crecimiento que hemos vivido juntos y también aprovecho para que el trabajo sea dedicado para mi parce Spot que lo extraño y amare eternamente.

A Stef y mi abuelita Alba, por el apoyo incondicional en varios momentos a lo largo de mi vida universitaria, sus palabras me ayudaron a cambiar de opinión en varias ocasiones, ayudándome a desahogarme en mis momentos de desesperación, este trabajo también es un homenaje a la fortaleza que me transmitieron.

A mis amigos Daniel, Andrés que estuvieron conmigo desde el primer día que ingrese en la facultad, de igual manera a todos los reales e incluso para aquellos que se fueron sumando en el trayecto de este viaje en la mejor facultad del mundo MECÁNICA, la cual no solo forjo mi mente sino que también transformo mi corazón dándome experiencias fantásticas como dolorosas. Siendo un momento que me llena de orgullo el haber sido parte de la historia en el instante que fui elegido como presidente de la asociación de estudiantes AEIM en el cual me permitió liderar y aprender varios aspectos que me han servido en el día a día. Este trabajo es la culminación del impacto que la facultad tuvo en mi vida.

En la encrucijada de este logro, miro hacia atrás con gratitud y adelante con emoción. Con profundo agradecimiento, dedico este logro a cada uno de ustedes. Con amor no me queda más que decir gracias totales por que creyeron en mi desde el primer día.

Zachary Padilla

## AGRADECIMIENTO

Primero y ante todo, quiero expresar mi sincera gratitud a Dios que me permitió entrar a la EPN y vivir esta experiencia que me marco para bien de manera que pueda culminarla. A mis padres, Sofía y Byron, por su cariño, apoyo incondicional. Con su guía eh logrado sentar las bases de lo que soy hoy en día permitiéndome estar cerca de obtener la meta de ser ingeniero mecánico. De igual manera a mi hermana por tener fe en mi aún en los momentos más desalentadores de este viaje fuiste un gran apoyo para mi y gran confidente al igual que Stef y mi abuelita Alba que estuvieron en cada momento a lo largo de esta experiencia de vida. Gracias por estar para mi en todo momento. A mi parcerero Spot no lograste estar vivo para verme graduar per tu compañía en las noches largas, fue muy importante al igual que en la pandemia que estaba conmigo recibiendo clases, aunque ya no estes físicamente aquí tu recuerdo y amor perduran.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica, agradezco a los profesores como lo son mi tutor Santiago Vaca, a los docentes Miguel Ortega, Freddy Ordoñez por llevarme en la rama de energías su manera de impartir catedra influyo mucho para mi decisión, así como a los Ing. Carlos Cevallos, Patricia Pontón, Carlos Díaz y Wilson Guachamín por demostrarme que las materias no son complicadas, sino que no son impartidas con pasión como ustedes lo realizan permitiendo forjar mi mente de la mejor manera y personal administrativo brindándome sus experiencias y conocimientos permitiéndome crecer hasta convertirme en la persona que soy hoy en día. Los amigos que hice aquí y las experiencias que viví me han convertido en una mejor persona. Mi rol como presidente de la AEIM fue un honor y una oportunidad de crecimiento invaluable.

Finalmente quisiera citar unas palabras como dice la canción <3 de Bad Bunny, “Gracias al que creyó en mi desde el primer día, desde antes que supieran en lo que me convertiría, gracias a mami y papi por los regaños, gracias a los reales, que todo esto lo soñé se cumplió porque todo lo que hice lo hice con pasión, por eso todo lo que hago se los dedico, gracias a todos ustedes por eso soy el mismo todos los años al final el tiempo siempre tuvo la razón”.

Con gratitud,

Zachary Padilla

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<a href="#">CERTIFICACIONES</a> .....	I
<a href="#">DECLARACIÓN DE AUTORÍA</a> .....	II
<a href="#">DEDICATORIA</a> .....	III
<a href="#">AGRADECIMIENTO</a> .....	IV
<a href="#">ÍNDICE DE CONTENIDO</a> .....	V
<a href="#">RESUMEN</a> .....	VI
<a href="#">ABSTRACT</a> .....	VII
<a href="#">1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO</a> .....	1
<a href="#">1.1 Objetivo general</a> .....	1
<a href="#">1.2 Objetivos específicos</a> .....	1
<a href="#">1.3 Alcance</a> .....	1
<a href="#">El proyecto consistirá en tres fases:</a> .....	1
<a href="#">1.4 Marco teórico</a> .....	2
<a href="#">2 METODOLOGÍA</a> .....	6
<a href="#">2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA</a> .....	6
<a href="#">2.2 RECURSO SOLAR</a> .....	9
<a href="#">2.3 Estimación de la Bomba y PAT</a> .....	11
<a href="#">2.4 SIMULACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE RET-SCREEN</a> .....	13
<a href="#">2.5 RESULTADOS</a> .....	14
<a href="#">2.6 Conclusiones</a> .....	20
<a href="#">2.7 Recomendaciones</a> .....	21
<a href="#">3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</a> .....	22
<a href="#">4 ANEXOS</a> .....	25

## RESUMEN

El riego de cultivo de papa se aplica mediante sistemas que ocupan fuentes de energía fósiles convencionales en Pimampiro provincia de Ibarra en Ecuador. El presente trabajo de integración curricular se plantea el diseño de un sistema híbrido fotovoltaico-hidráulico para reemplazar a los sistemas actuales, usando una unidad funcional de 1 ha de cultivo. El sistema diseñado lleva agua desde un pozo profundo hacia a un reservorio usando una bomba hidráulica accionada por un campo solar fotovoltaico. Posteriormente, antes de su uso en un sistema de riego por inundación, el agua pasa por una bomba como turbina (PAT), que logra recuperar parte de la energía que se utilizó para su bombeo. La operación de este sistema fue analizada mediante cálculos y simulaciones en el software RETSCREEN. Los resultados obtenidos indican que, usando una aproximación de la elevación del pozo de agua y el terreno de cultivo para un tercio del requerimiento de agua del cultivo, el sistema híbrido puede recuperar una gran cantidad de energía, lo que hace que el consumo eléctrico pase de 10.8 kWh a 1.8 kWh, efectivos. Por lo tanto, este trabajo sugiere que es posible reemplazar la fuente de energía para un sistema de riego implementando fuentes renovables como la fotovoltaica e hidráulica.

**PALABRAS CLAVE:** Fotovoltaico, Hidráulico, Pimampiro, Sistemas Híbridos.

## **ABSTRACT**

Crop irrigation for potatoes is carried out using systems that rely on conventional fossil energy sources in Pimampiro, Ibarra province, Ecuador. This current curricular integration project proposes the design of a hybrid photovoltaic-hydraulic system to replace the existing systems, utilizing a functional unit of 1 hectare of cultivation. The designed system conveys water from a deep well to a reservoir through a hydraulic pump powered by a photovoltaic solar array. Subsequently, before being employed in a flood irrigation system, the water passes through a Pump-as-Turbine (PAT), which manages to recover a portion of the energy used for pumping.

The operation of this system was analyzed through calculations and simulations in the RETSCREEN software. The obtained results indicate that, by using an approach involving the elevation difference between the water well and the cultivation terrain for one-third of the crop's water requirement, the hybrid system can recover a significant amount of energy. This transformation reduces the electrical consumption effectively from 10.8 kWh to 1.8 kWh. Consequently, this work suggests the feasibility of replacing the energy source for an irrigation system by implementing renewable sources such as photovoltaic and hydraulic energy.

**KEYWORDS:** Photovoltaic, Hydraulic, Pimampiro, Hybrid System.



# **1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

La agricultura es fundamental para el aspecto - económico y laboral en el Ecuador, siendo la papa uno de los productos con mayor producción en la sierra ecuatoriana. Como todo cultivo para su desarrollo es fundamental regarlo cuando no hay suficiente precipitación [1], [2].

Este proyecto presenta el diseño de un sistema híbrido fotovoltaico hidráulico que permite bombear agua para el riego de cultivo de papa aprovechando las fuentes de energía renovables presentes en la zona de Pimampiro provincia de Imbabura. Además, se buscará recuperar parte de esta energía mediante el uso de una bomba como turbina (PAT, por sus siglas en inglés) [4],[5].

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema híbrido fotovoltaico – hidráulico para riego de cultivo en Pimampiro.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Recopilar bibliografía correspondiente a sistemas híbridos fotovoltaicos – hidráulicos.
2. Hacer una caracterización meteorológica en Pimampiro Imbabura.
3. Realizar el diseño del sistema híbrido fotovoltaico – hidráulico.
4. Modelar y simular la operación del sistema híbrido fotovoltaico – hidráulico.

## **1.3 Alcance**

El proyecto consistirá en tres fases:

1. Fase de investigación, identificación y reconocimiento del problema; dentro de esta fase se expone el problema a solucionar, mediante la recopilación bibliográfica de los sistemas híbridos por medio de energías renovables, el volumen de agua necesario para el riego de cultivo de papa, las condiciones geográficas y climáticas de la zona.

2. Fase de diseño y desarrollo para la posible solución del problema; en esta fase se busca el dimensionamiento del sistema híbrido a implementar es decir el sistema fotovoltaico – hidráulico, número de paneles, baterías, microturbina, dibujo de los planos del sistema híbrido fotovoltaico-hidráulico.

3. Fase de obtención de resultados y análisis; dentro de esta fase se modela el sistema híbrido mediante la ayuda de RETScreen para su posterior simulación, de esta manera se obtiene el reporte de resultados del potencial energético del sistema híbrido para determinar la factibilidad técnica.

## **1.4 Marco teórico**

### **INTRODUCCIÓN**

El sistema de riego de cultivo requiere transportar agua desde un repositorio (reservorio) hasta un lugar donde se encuentran los cultivos. En este punto, el agua deberá ser esparcida, o distribuida, a lo largo de la plantación. Usualmente, este movimiento se lo puede realizar mediante canalización por gravedad (sistemas de acequias), o mediante el uso de una bomba de agua que mueve el agua desde el primer punto hasta su destino.

En el segundo caso, es común que los sitios que se encuentran alejados de la red nacional de electricidad usen una bomba que funciona con combustibles fósiles (gasolina o diésel), y por lo tanto, están emitiendo gases de efecto invernadero. Al implementar un sistema de energía renovable, como los sistemas solares es posible solventar este problema obteniendo una fuente de energía más limpia.

### **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS “PV”**

Los sistemas fotovoltaicos (PV) son una de las fuentes de energía renovable con mayor acogida dentro de los últimos años [3]. Estos, aprovechan la radiación solar para generar energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas que se encuentran instaladas dentro de paneles modulares [3].

Los sistemas PV tienen los siguientes componentes: paneles solares, baterías, inversos y controladores de carga [4].

### *Panel solar*

Un panel solar es un elemento constituido por celdas fotovoltaicas. Estas son semiconductores que captan la energía que emana el sol y se encarga de transformarla en energía eléctrica [5]. La diferencia en la potencia nominal de cada panel se debe al material de las celdas, su construcción y el número de celdas que han sido instaladas dentro de cada módulo.

### *Inversor*

Corresponde a un dispositivo eléctrico que actúa como un acondicionador de potencia, en el que la corriente directa (DC) es convertida en corriente alterna (AC). Este proceso es desarrollado debido a que la mayoría de aplicaciones eléctricas que usamos funcionan en AC, y por lo tanto se requiere un cambio en la tensión de la corriente antes de energizar estos equipos [5] [6].

### *Bateria*

Su función principal es la de almacenar electricidad para utilizarla posteriormente. La radiación solar es fluctuante durante el día y no se ajusta a la demanda energética de los seres humanos, por lo que es necesario que la generación de los paneles sea almacenada durante los periodos de alta irradiación, para ser usado cuando la radiación es pequeña o inexistente.

Dentro del mercado las baterías con mayor demanda para sistemas fotovoltaicos son las compuestas de Plomo ácido, Níquel-Cadmio y recientemente de Litio.[7]

### **Bombas hidráulicas energizadas por sistemas PV**

Estas pueden ser centrífugas o volumétricas según el funcionamiento que se quiera implementar.

#### *Bomba centrífuga*

Son implementadas al momento de tener abundantes volúmenes de agua y pequeñas alturas. Por lo general poseen aspas de alta velocidad con las cuales forman el flujo de agua mediante un diferencial de presión [8]. Al conectarlo con un sistema fotovoltaico permite un desempeño mayor al 85%, siendo esto variable según su subclase como lo pueden ser:

*Bomba sumergible:* Como indica su nombre son ideales para estar bajo el agua requieren de un tubo de succión con lo que necesitan de una menor fuerza para levantar el agua [8].

*Bomba de superficie:* Necesitan un tubo de succión y una válvula, se utilizan para bombeos de hasta 1.200 m<sup>3</sup>/día con cabeza de altura de hasta 6 metros [8].

#### *Bomba volumétrica*

Denominadas como bombas de desplazamiento positivo son ideales para grandes alturas con moderados volúmenes de agua. La eficiencia de esta es directamente proporcional a la altura de trabajo. Sin embargo, al conectar con un sistema fotovoltaico no se obtienen buenos resultados debido a que la corriente varía con cada ciclo de bombeo [8].

## **TURBINAS HIDRÁULICAS**

Consisten en sistemas que usan la energía potencial y cinética de las masas de agua para generar movimiento que, acoplado a un generador eléctrico permite producir electricidad.

Para determinar su potencial es necesario definir el salto de agua y el caudal turbinable, por lo tanto; se define el salto de altura y el caudal turbínale [10], tal y como se muestra en la ecuación 1,

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2$$

Ecuación 1.1 Ecuación de Bernoulli

Donde P es la presión del fluido, U la velocidad del fluido, g la gravedad de 9,18 m/s<sup>2</sup>,  $\rho$  es la densidad del fluido y z la altura a la que se encuentra.

### **Bombas como turbina**

Dentro de las instalaciones de minicentrales hidroeléctricas una de las alternativas que permite reducir costos sin la implicación de grandes equipos es el adaptar una bomba centrífuga a un funcionamiento como turbina, es decir invertir su funcionamiento [9]. En la figura 1 se indica esta inversión de funcionamiento.

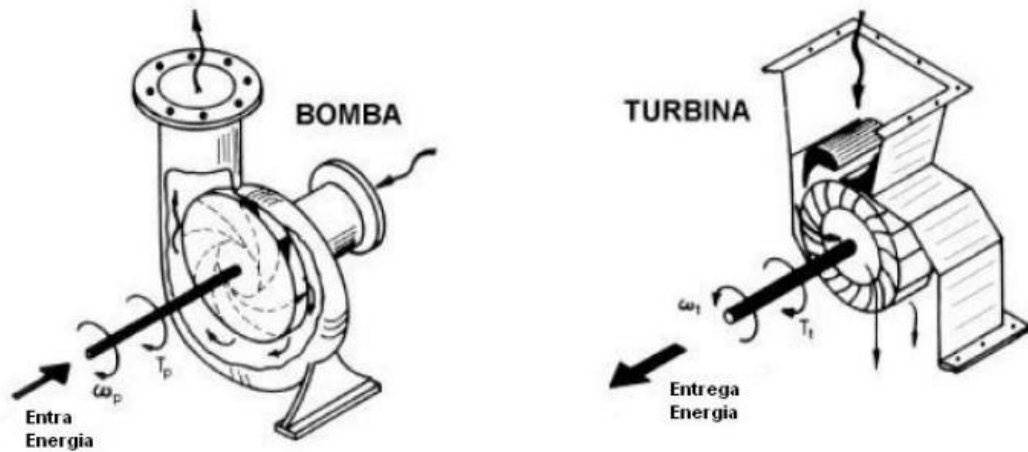


Figura 1 Bomba utilizada como turbina [9]

Al ser usada como turbina presenta ciertas particularidades como un mayor rango en su caudal ampliando el rango de alturas a las cuales puede operar. Además, estas PAT, pueden trabajar con grandes contrapresiones lo que permite que su presión interna de trabajo sea de hasta 300 [bar] [9].

Al ser utilizadas como turbinas pueden llegar a generar de entre 5 a 500 [kW], por lo que son ideales para aplicaciones en los sectores agroindustriales y generación eléctrica, como minicentrales eléctricas. En temas de recuperación energética es factible debido a que lo recupera a muy bajo costo derivando en un aumento en su eficiencia global [9].

## MÉTODOS DE RIEGO

El riego al ser una actividad fundamental para la agricultura, dentro de esto existen diferentes métodos, los cuales llegan a ajustarse según las necesidades ya sea del terreno o del ambiente, estos son descritos a continuación:

### *Riego por aspersión*

La presión ejercida sobre el agua es alta a través de una tubería que termina con la instalación de aspersores. Debido a esta presión, los aspersores producen gotas que son disparadas a largas distancias, cubriendo la superficie del terreno. El efecto que se busca generar es similar al que se produce por lluvia [10].

### *Riego por gravedad*

Mediante la energía potencial de una altura y el peso del agua, esta cae a lo largo del terreno [10]. En estos sistemas se utilizan los surcos para dirigir el agua a través de los

cultivos. Para que estos sistemas sean efectivos, el terreno debe tener caída para que el fluido pueda movilizarse hasta los puntos diferentes del campo.

**Riego por inundación:** El agua cae de forma directa a lo largo del terreno sino movido por efecto de la gravedad es una variedad del riego por gravedad. Esta opción es de los que menor eficiencia hídrica teórica posee [10]; por lo que requiere de una gran cantidad de agua para lograr el cometido de un riego uniforme.

**Riego localizado o goteo:** El agua es transportada a las tuberías con bajas presiones. Las tuberías no tienen un extremo abierto completamente, sino pequeños agujeros a lo largo de ellas, lo que permite que se mojen únicamente la superficie del terreno [10].

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

Pimampiro es una zona ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador. Se destaca por ser una zona agrícola, en donde se producen varios cultivos como lo son el maíz, la papa, quinua, habas [11].

Este proyecto de investigación se enfocará en el cultivo de papa [2], en la parroquia de Mariano Acosta, figura 2, ubicada en las coordenadas 0°18'0" N y 77°58'60" W. Dentro de este lugar se destinan áreas específicas para el cultivo de papa [2].

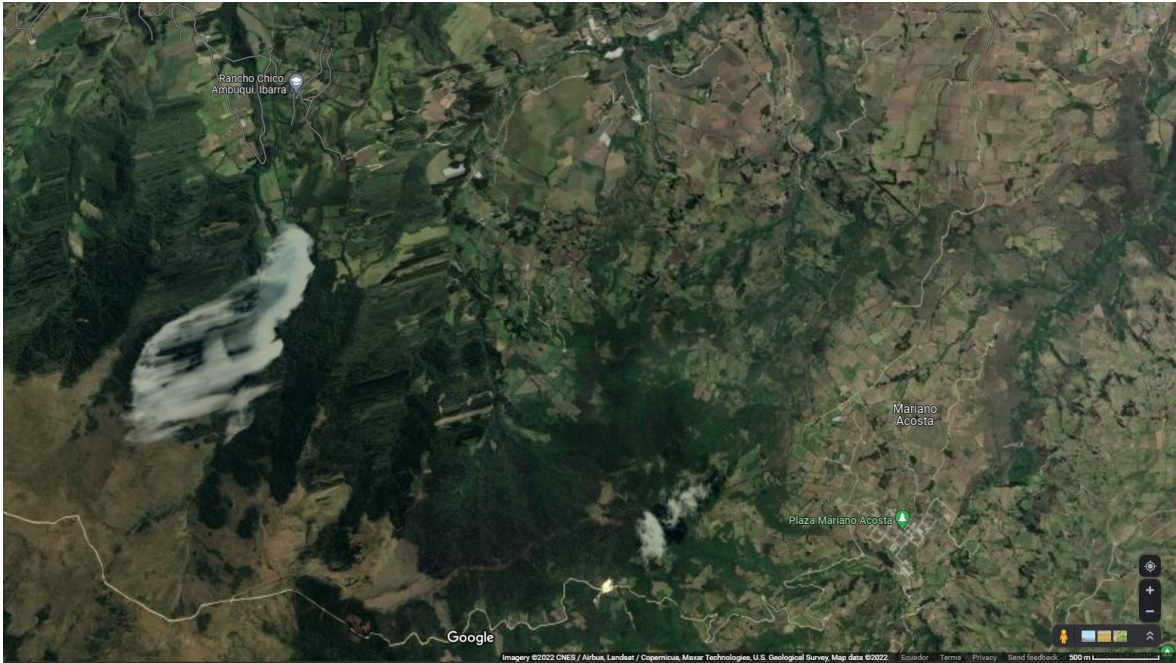


Figura 2 Mapa satelital de Mariano Acosta

En la figura 3 se encuentra la distribución de haciendas/fincas presentes en la parroquia siendo la hacienda de Mariano Acosta 1 una hacienda con una extensión de 2.5 ha. En la cual la papa corresponde a uno de sus principales productos agrícolas.

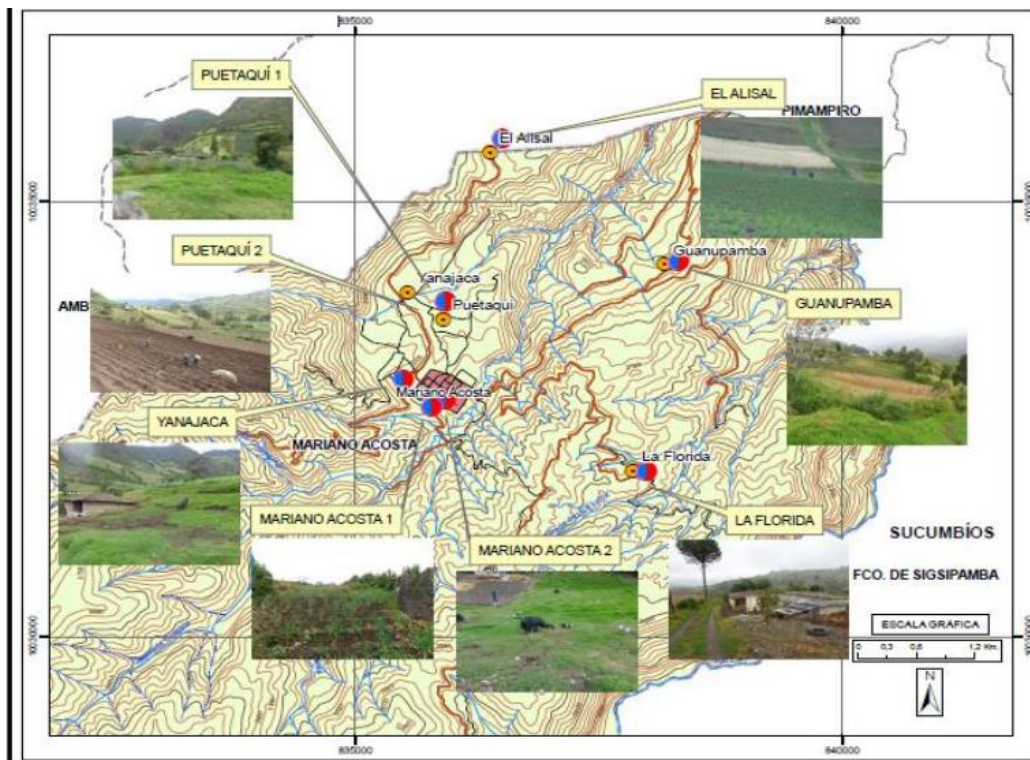


Figura 3 Ubicación de Fincas dentro de la parroquia de Mariano Acosta – Pimampiro [12]

La figura 4 muestra lo relieves de la parroquia Mariano Acosta. Los cultivos de papa se encuentran a 3.600 m.s.n.m. (2 ha) y a los 3.200 m.s.n.m. (2 ha y 1 ha mezclado con cultivo de papa junto al maíz suave, habas, cebada y alverja) [11]. De igual manera a los 3.200 m.s.n.m específicamente en las coordenadas 0°18'55.6" N 77°59'04.4" W.

La figura 4 muestra los relieves de la parroquia Mariano Acosta, puesto que existen desniveles debido a las distintas montañas presentes. Siendo a los 36000 m.s.n.m. en los cuales se tienen 2 ha destinadas únicamente para los cultivos de papa [11].

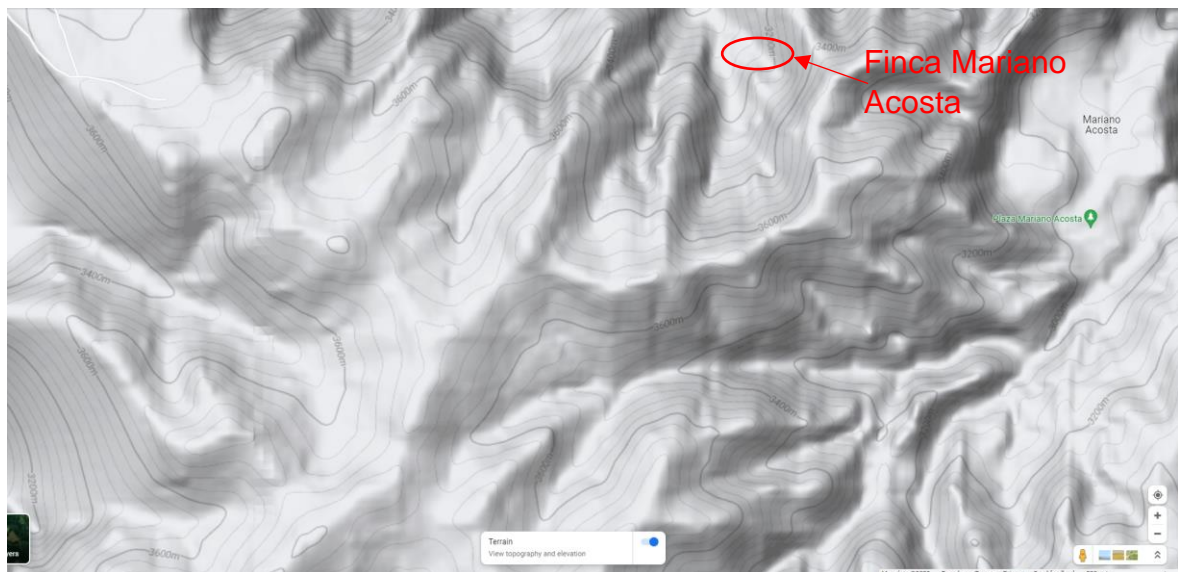


Figura 4 Mapa de relieves de altura de Mariano Acosta

Dadas las condiciones y el desnivel del terreno la opción de riego ideal es por inundación o gravedad.

Al ser reservorios comunes para el riego de los cultivos, la idea es implementar un sistema híbrido fotovoltaico-hidráulico como el de la figura 5, donde el sistema PV active una bomba la cual impulsa el agua a un tanque elevado, en el cual se almacena el agua únicamente para los cultivos de papa, este se encontrará conectado al sistema hidráulico el cual acciona una segunda bomba permitiendo un riego de agua por inundación.

Se debe tomar en consideración el tanque en el cual se va a almacenar el agua de manera que sí el volumen requerido de agua es demasiado alto, se estima un tanque que pueda cumplir con las funciones requeridas y se encuentre disponible en el mercado.



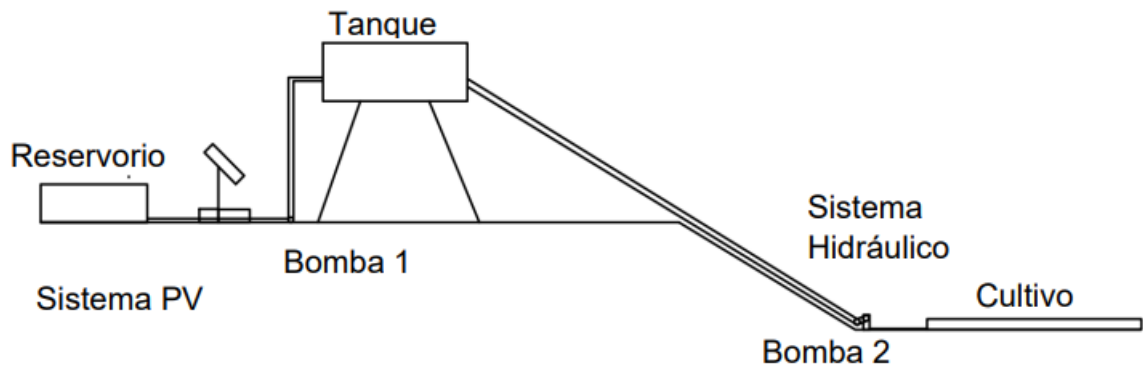


Figura 5 Esquema del sistema híbrido

## 2.2 RECURSO SOLAR

Mediante el atlas solar del Ecuador se identifica la existencia de una insolación solar directa promedio en la extensión de su territorio. Sin embargo, hay puntos específicos en los cuales se tiene una mayor cantidad de insolación, como lo puede ser la provincia de Imbabura, Pichincha, Loja [13]. Siendo este el motivo para la selección de Pimampiro ubicado en la provincia de Imbabura como lugar de estudio.

En la figura 6 se observa la irradiación solar en el Ecuador histórica promedio anual, haciendo énfasis en el caso de estudio Pimampiro provincia de Imbabura dentro de la figura 7 se aprecia un alto potencial fotovoltaico por explotar.

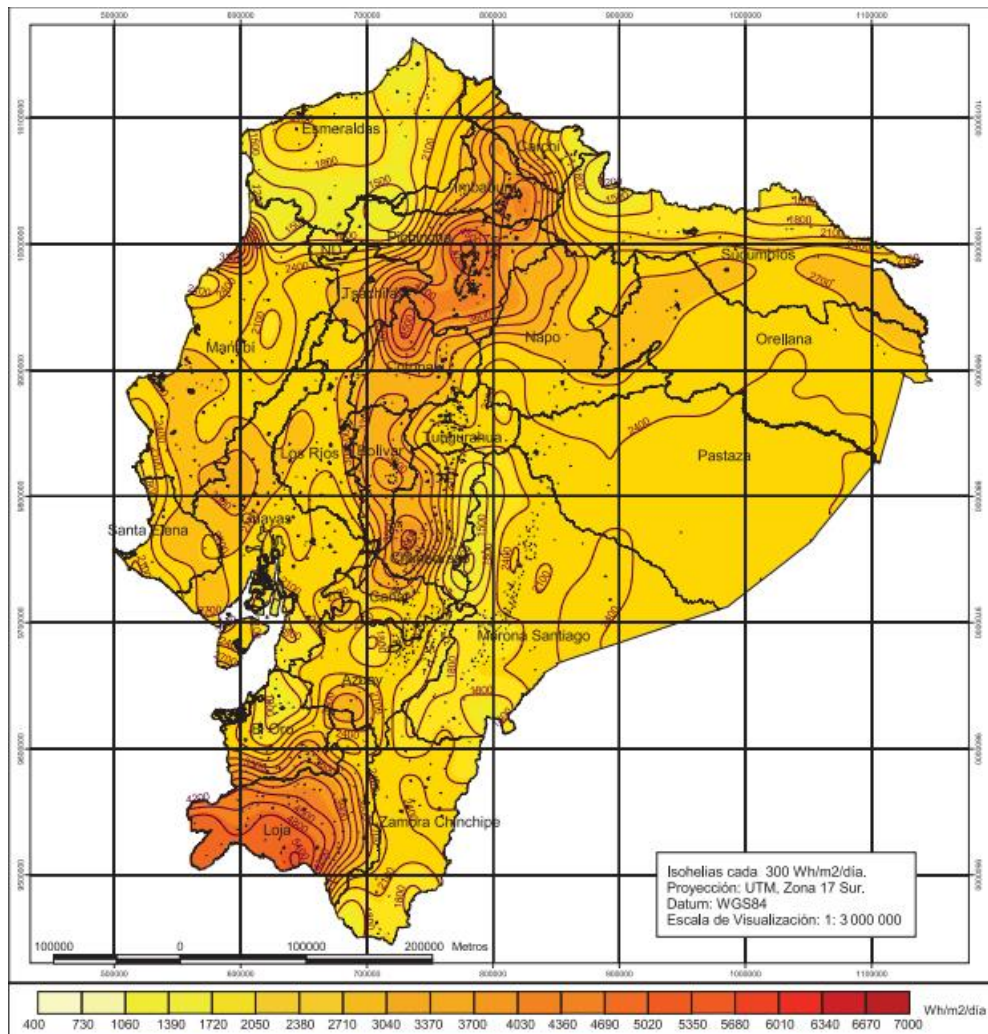


Figura 6 Mapa solar de radiación global horizontal promedio del Ecuador.

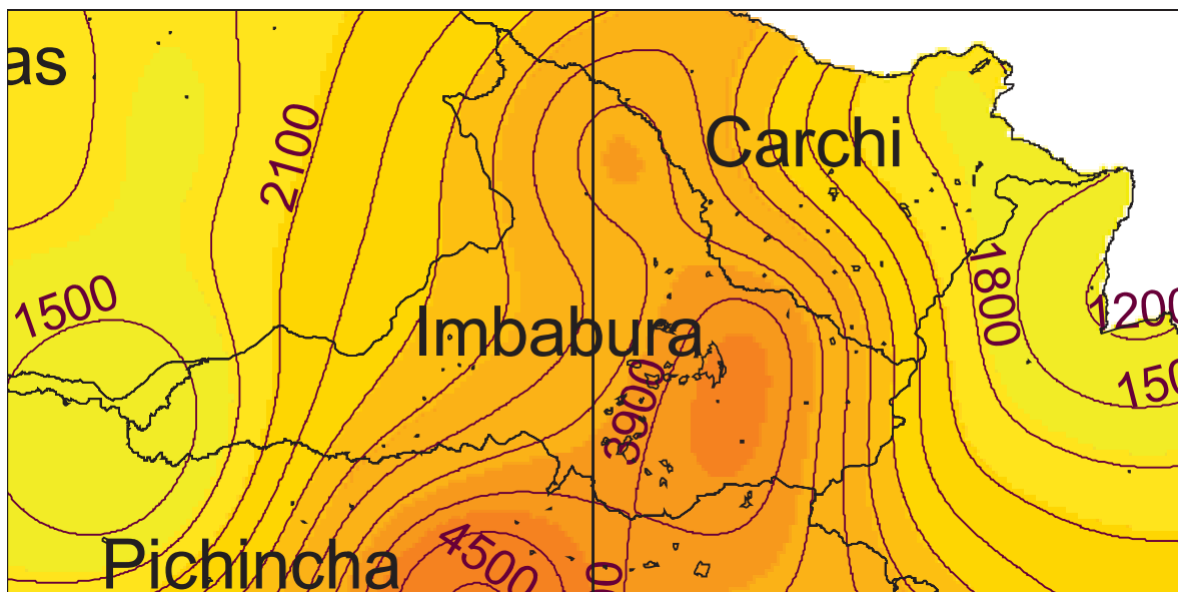


Figura 7 Irradiación de la provincia Imbabura

La implementación de paneles fotovoltaicos aseguraría una generación de electricidad autónoma, que podría alimentar una bomba de agua para suministrar un tanque reservorio para el riego de cultivo. La ubicación geográfica de Pimampiro permite explotar el recurso solar dado que tiene una gran incidencia solar [14].

Dadas las condiciones del terreno y del sistema propuesto la opción de riego ideal es por inundación o gravedad, sin embargo, esta opción es de los que menor eficiencia hídrica teórica posee [10] ; por lo que requiere de una gran cantidad de agua para lograr el cometido de un riego uniforme.

El potencial de un panel se simboliza mediante la ecuación 2.1:

$$PV = W_p * h_p$$

*Ecuación 2.1 Potencial de un panel*

Siendo  $W_p$  la potencia pico entregada por un panel.

Para calcular el número de paneles solares requeridos se estima mediante la siguiente relación.

$$N = \frac{W}{PV}$$

*Ecuación 2.2 Número de paneles*

En lo que  $W$  es el requerimiento energético.

## **2.3 Estimación de la Bomba y PAT**

### **ESTIMACIÓN DE LA BOMBA**

La energía de la bomba hidráulica para el sistema es calculada en función a su cabeza hidráulica  $h_b$ , tal y como se observa en la ecuación 5.

$$h_b = \Delta z + \left[ \frac{U^2}{2 * g} \left( \frac{f * L}{D} + \sum K \right) \right]$$

*Ecuación 2.3 Cabeza de altura de una bomba*

Donde  $L$  es la longitud y  $D$  el diámetro de la tubería,  $U$  la velocidad del fluido dentro de la tubería,  $\Delta z$  la diferencia de altura entre el nivel de la fuente de agua y el reservorio o tanque,  $g$  la gravedad de  $9.18 \text{ m/s}^2$  y  $\sum K$  son los coeficientes pertenecientes a los accesorios en la tubería.

La  $U$ , se define mediante la siguiente ecuación,

$$U = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 2.4 Ecuación de la velocidad

Donde, Q es el caudal que fluye a través de la sección de la tubería, y A es el área de la sección transversal. Al ser una tubería circular, el A se lo calcula usando la siguiente ecuación,

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Ecuación 2.5 Ecuación del área

Donde,  $\pi$  es la constante PI.

El factor de fricción f, se calcula usando la ecuación de Haaland.

La ecuación de Haaland es utilizada debido a que no se requiere de una gran precisión de cálculo por lo que es más fácil obtener el factor de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[ \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right]$$

Ecuación 2.6 Ecuación del factor de fricción de Haaland

Donde,  $\varepsilon$  es la rugosidad de la tubería y  $Re$  es el número de Reynolds. Este puede calcularse usando la densidad ( $\rho$ ) y viscosidad ( $\mu$ ) del fluido mediante la siguiente ecuación.

$$Re = \frac{U * D * \rho}{\mu}$$

Ecuación 2.7 Número de Reynolds

Una vez determinada la cabeza de la bomba, se puede determinar la potencia requerida de la bomba solar  $\dot{W}$ , con la ecuación 2.8.

$$\dot{W} = \frac{\rho * g * Q * h_b}{\eta}$$

Ecuación 2.8 Potencia requerida de la bomba

Donde,  $\eta$  es el rendimiento de la bomba solar.

## ESTIMACIÓN DE LA TURBINA

Al tratarse de un sistema en el cual se busca recuperar la energía se aprovecha la energía proveniente del reservorio, la energía que puede recuperarse está definida mediante la conservación de la energía. En su forma más simple, esta conservación está definida mediante la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2$$

Ecuación 2.9 Ecuación de Bernoulli

Donde, P es la presión del fluido en los puntos 1 y 2.

En términos prácticos, la energía que puede recuperarse del sistema de riego propuesto, mediante el uso de la turbina puede determinarse con la ecuación [16]:

$$P_{hydr} = \rho g Q h_m \eta_t$$

Ecuación 2.10 Energía hidráulica

Donde,  $h_m$  es la cabeza de la turbina (altura de diferencia entre el nivel del reservorio y la superficie del cultivo), y  $\eta_t$  es la eficiencia de la bomba que actúa como turbina.

## 2.4 SIMULACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE RET-SCREEN

RET-SCREEN es un software libre que permite realizar estudios de factibilidad de implementación de sistemas energéticos con energía renovable, así como el análisis de impactos ambientales, como por ejemplo emisión de gases de efecto invernadero [18].

Además, permite realizar una aproximación económica del proyecto, así como la eficiencia del proyecto con relación a esta, incluyendo en algunos casos el costo de un posible mantenimiento [18], [17].

Una característica del software es que permite utilizar datos usados en proyectos pasados por otros usuarios, para así facilitar la aplicación de estos nuevos proyectos. Para entender si es que un proyecto tiene una buena base de datos, el sistema usa la valoración de estrellas como se observa en la figura 8.




Figura 8 Valoración de existencia de datos dentro de RET SCREEN

### Definición de la radiación solar en RETScreen

Dentro de la figura 9 se aprecia la radiación solar mensual junto con un promedio anual, de esta manera se tiene como mínimo valor una radiación de 3.69 [kWh/m<sup>2</sup>/d] en diciembre

por otro lado su máximo valor de 4.35 [kWh/m<sup>2</sup>/d] durante el mes de marzo, finalmente se aprecia un valor promedio de 3.96 [kWh/m<sup>2</sup>/d].

Pais	Ecuador						
Provin./Estado							
Ubicación de datos meteorológicos	Ibarra			<a href="#">Ver mapa</a>			
Latitud	°N			0.4			
Longitud	°E			-78.1		<b>Fuente</b>	
Zona climática	3C			Templado - Oceánico		NASA	
Elevación	m			2,635		NASA	
Temperatura de diseño de la calefacción	°C			15.8		NASA	
Temperatura de diseño del aire acondicionado	°C			26.6		NASA	
Amplitud de la temperatura del suelo	°C			12.5		NASA	

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar		Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%	Precipitación mm	diaria - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	12.9	85.5%	135.47	3.96	74.6	1.8	14.0	158	90
Febrero	13.0	85.7%	152.32	4.09	74.6	1.8	14.1	140	84
Marzo	13.1	85.8%	174.22	4.35	74.6	1.8	14.1	152	96
Abril	13.2	86.6%	201.00	4.17	74.6	1.8	14.2	144	96
Mayo	12.9	85.9%	127.41	3.91	74.6	2.1	13.8	158	90
Junio	12.2	84.0%	59.10	3.80	74.6	3.0	13.1	174	66
Julio	11.8	81.8%	34.10	4.03	74.6	3.4	12.8	192	56
Agosto	12.0	79.4%	29.76	4.05	74.6	3.4	13.2	186	62
Setiembre	12.6	79.0%	58.50	3.88	74.6	2.6	13.9	162	78
Octubre	12.9	81.7%	85.56	3.86	74.6	1.9	14.2	158	90
Noviembre	13.0	83.0%	89.70	3.74	74.6	1.7	14.2	150	90
Diciembre	13.0	84.5%	102.61	3.69	74.6	1.8	14.1	155	93
<b>Anual</b>	<b>12.7</b>	<b>83.6%</b>	<b>1,249.75</b>	<b>3.96</b>	<b>74.6</b>	<b>2.3</b>	<b>13.8</b>	<b>1,929</b>	<b>991</b>
<b>Fuente</b>	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Medido a  m

Figura 9 Datos obtenidos de RET-SCREEN de la provincia de Imbabura

## INFORMACIÓN DE LOS CULTIVOS DE PAPA

Un cultivo de papa se mide por ciclos siendo un ciclo de entre 120 a 150 días se estima un consumo de agua de entre 600 a 800 mm. Estos pueden cambiar dependiendo de la retención de las hojas del cultivo y las condiciones climáticas de la zona [19]. De igual manera para producir 2.3 kg de papa es necesario 1 m<sup>3</sup> de agua [20].

## 2.5 RESULTADOS

La altura del nuevo reservorio depende propiamente de la cabeza de altura proporcionada por la bomba a utiliza, para esto se plantea la bomba solar AC/DC HF25-24-1100 de SIHIO.

Para lo cual se establece un caudal de 15 [m<sup>3</sup>/h] correspondiendo a una altura de 10 [m] [21]. Al ser una bomba solar permite una mejor conexión entre los paneles solares sin la necesidad de una batería.

La bomba requiere un voltaje de entre 108-410 [V] en DC, para lo cual se estima que los paneles solares sean capaces de producir este voltaje, entregando una cantidad de 340 W cada panel [21].

Conocidas las condiciones del terreno se plantea solucionar el problema, la finca a estudiar posee aproximadamente 2 ha destinadas para el cultivo de papa. Por lo general en una hectárea de papa se cultivan aproximadamente 2 toneladas de papa.

$$2 \text{ ha de papa} = 2 \text{ Ton de papa}$$

$$\text{Cantidad de agua requerida} = \frac{2.3 \text{ kg de papa} * 1 \text{ m}^3 \text{ de agua}}{1 \text{ ha de papa} * \frac{2 \text{ Ton de papa}}{2 \text{ ha de papa}} * \frac{907.185 \text{ kg de papa}}{2 \text{ Ton de papa}}}$$

$$\text{Cantidad de agua requerida} = 788,85 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, para contener esta agua se requiere un tanque de 800 m<sup>3</sup>.

El contenedor es demasiado grande para el sistema propuesto, de manera que siguiendo lo establecido anteriormente en la tabla 1 se aprecian las diferentes opciones en las cuales el caso de estudio podría cambiar para así disminuir el terreno y obtener un volumen de agua adecuado.

**Tabla 1** Relación de hectáreas de papa con el volumen de agua requerido

Hectárea	Cantidad de papa [Ton]	Volumen de agua [m <sup>3</sup> ]
1	2	788,85
½	1	394,4
1/3	0,66	260,43

Al revisar los tanques disponibles en el mercado se obtienen dos opciones un tanque de 319 m<sup>3</sup> y uno de 500 m<sup>3</sup> al existir una diferencia notable entre ambas opciones se toma la opción de mercado más pequeña es decir la de 319 m<sup>3</sup>. Con esto tomando en cuenta los datos de la tabla 1 se procede a realizar el caso de estudio para 1/3 de hectárea ya que requiere un volumen de agua de 260,43 m<sup>3</sup>.

Establecido el tanque de almacenamiento se busca llenar la cantidad de agua requerida para el 1/3 de ha es decir los 260 m<sup>3</sup>, lo ideal es obtener esta cantidad de agua en aproximadamente 12 h, con esto es obtenido la taza con la cual se va a llenar el tanque y así obtener el resto de las condiciones de velocidad, cabeza de altura y potencia requerida de la bomba.

Una vez que se encuentra el agua en el tanque sigue la siguiente etapa del sistema el cual mediante el sistema hidráulico se busca aprovechar el efecto de gravedad para activar una turbina la cual empujara el agua hacia los cultivos.

El principio del sistema hidráulico mencionado corresponde el aprovechamiento de la altura en la que se encuentra el tanque, así como del recorrido de desde donde se encuentra el tanque hasta el cultivo que es de aproximadamente 10 m de recorrido. De manera que se busca vaciar los 260 m<sup>3</sup> en 120 minutos almenos 5 o 6 veces en 20 días.

## RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA PARTE FOTOVOLTAICA

$$V = \frac{\left(21.89 \frac{m^3}{h}\right)}{\left(\frac{\pi * (50.8 \times 10^{-3} m)^2}{4}\right)}$$

$$V = 3 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{3 \frac{m}{s} * 50.8 \times 10^{-3} m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001 \frac{kg}{m * s}}$$

$$Re = 152400 \approx 1.52 \times 10^5$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[ \left( \frac{0.015 m}{50.8 \times 10^{-3} m} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{152400} \right]$$

$$f = 0.2079$$

$$h_b = 5m + \left[ \frac{\left(3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \left( \frac{0.2079 * 11m}{50.8 \times 10^{-3} m} + 0.22 \right) \right]$$

$$h_b = 25.75 m$$



$$\dot{W} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.00608 * 25.75m}{0.85}$$

$$\dot{W} = 1807.127W \approx 1.8071 kW$$

$$PV = 32.2 V * 9.33 A$$

$$PV = 340 kW$$

De esta manera el potencial obtenido por cada panel es de 1.807 kW.

$$N = \frac{1.807kW}{340 W}$$

$$N = 5.31 \text{ paneles} \approx 5 \text{ paneles}$$

Por lo tanto, para cumplir con la demanda energética se requieren 5 paneles solares.

## RESULTADOS DE LA PARTE HIDRÁULICA

$$V = \frac{\left(130 \frac{m^3}{h}\right)}{\left(\frac{\pi * (50.8x10^{-3} m)^2}{4}\right)}$$

$$V = 17.816 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{17.81 \frac{m}{s} * 50.8x10^{-3} m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001 \frac{kg}{m * s}}$$

$$Re = 905080.6 \approx 9.05x10^5$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \left[ \left( \frac{0.015 m}{\frac{50.8x10^{-3} m}{3.7}} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{905080.6} \right]$$

$$f = 0.20781$$

$$h_b = 10 m + \left[ \frac{(17.816 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \left( \frac{0.20781 * 11m}{50.8x10^{-3} m} + (2 * 0.22) \right) \right]$$

$$h_b = 83.301 m$$

$$P_{hydr} = 9.81 \frac{m}{s^2} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 73.3m * 0.03611 \frac{m^3}{s}$$

$$P_{hydr} = 1505.5 W \approx 1.505 kW$$

La inversión del equipo (1,200 USD) podría resultar un gasto importante para los agricultores durante los primeros dos años. Sin embargo, la recuperación del capital se obtiene cerca del año 16 (como se observa en la figura 10), de forma en la que los costos iniciales, la tasa de interés de la deuda, así como el costo de operación y mantenimiento del equipo son las únicas pérdidas económicas a futuro. Además, la producción autónoma de electricidad a lo largo de la vida útil del equipo siendo un estimado de 20 años esto visible en la figura 11.

Flujo de efectivo

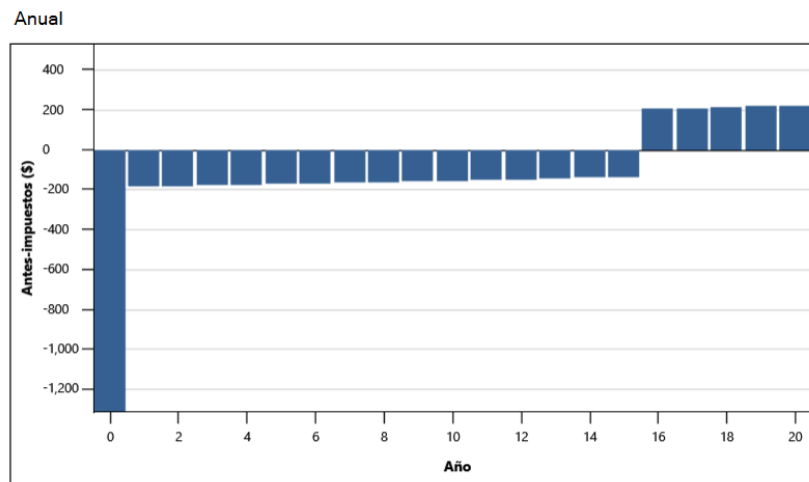


Figura 10 Flujo de efectivo del proyecto

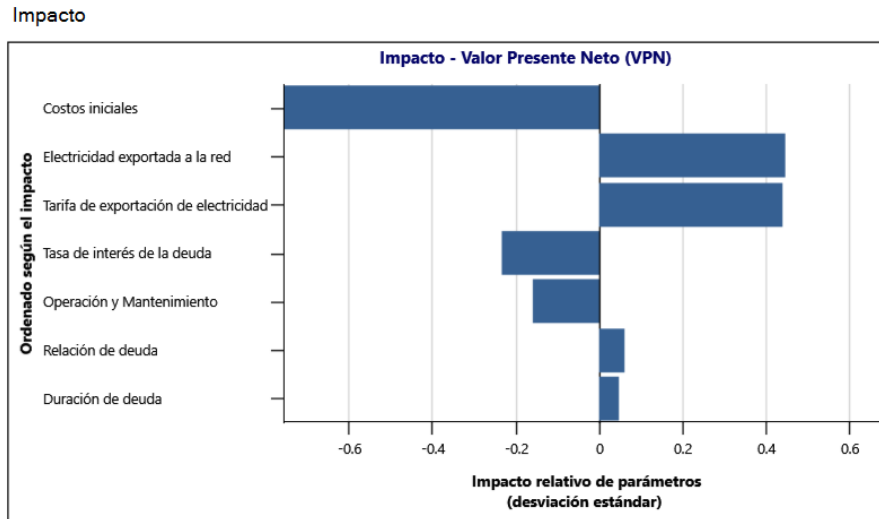


Figura 11 Impacto del proyecto

## RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

El sistema compuesto por la bomba solar requiere de una potencia de 1.8 kW mientras que la parte hidráulica podría generar una potencia de 1.5 kW.

En términos energéticos, considerando una operación al día total de 6 horas del sistema (bombeo y riego), se consumirían 10.8 kWh de los cuales se recuperarían 9 kWh. De manera que, el sistema consumiría un total de 1.8 kWh al día. Esto se puede observar en la figura 12.

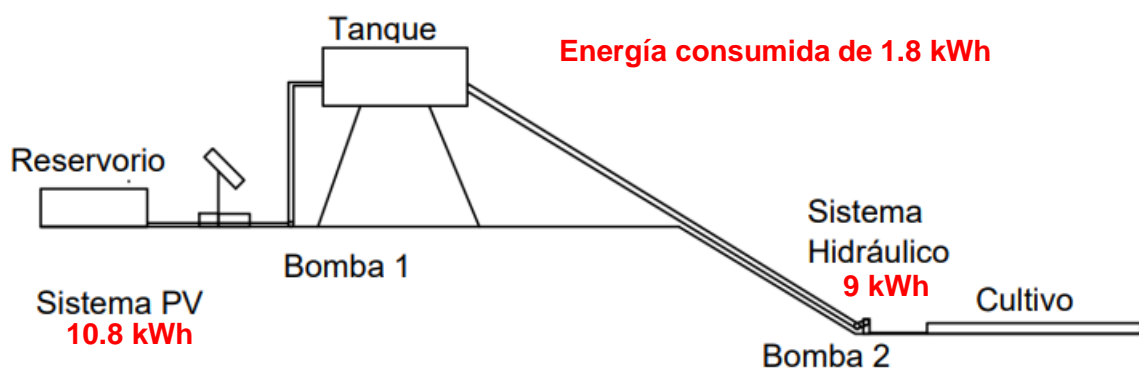


Figura 12 Recuperación energética del sistema mediante porcentajes

## DISCUSIÓN

Dentro de lo expuesto con anterioridad se presenta un sistema con aprovechamiento de energía mediante el recurso solar e hidráulico que se encuentran presentes en la zona. De

manera que el sistema es una solución moderna no contaminante para el proceso actual de recolección de agua por medio de una bomba solar con paneles fotovoltaicos, implementando un reservorio el cual permite mantener el agua en caso de sequía, y aprovechando la energía producida por la caída para impulsar una turbina ubicada antes de la distribución del agua a lo largo del cultivo.

Dentro de esta opción se observa una recuperación de energía mediante la PAT de alrededor del 83% del consumo de la bomba. Esto significaría dos cosas. Primero, que la persona que implemente este tipo de sistemas tendrá a disposición ese 83% de la energía del campo fotovoltaico para ser usado en cualquier otro requerimiento eléctrico, o para venderlo a la red eléctrica. Segundo, que se podría disminuir el tamaño del campo solar para solamente otorgar un poco más de lo que requiere la bomba, de manera que parte de la energía entregada sea dada por la recuperación de la energía potencial del sistema mediante la PAT.

Ahora bien, este estudio tiene tres limitaciones. Primero, este sistema es estimado para el caso de estudio y sus específicos solamente se aplican a este lugar. Si se plantea instalar el sistema en una zona diferente del país, se debe volver a estimar los datos para la bomba solar, debido a que las condiciones de radiación solar cambiarán.

Segundo, este estudio es meramente teórico y no usa datos reales del lugar. Esto tiene una implicación importante con respecto al dimensionamiento del sistema de transporte de agua desde el pozo al posible reservorio. Al no haber sido visitado físicamente el lugar únicamente se tomaron las distancias desde la fuente de agua hasta el cultivo mediante Google Maps, de manera que si se requiere una mayor distancia para aplicar el sistema fotovoltaico se debe recalcular la potencia de la bomba, puesto que, si se cambia esta distancia, se aumentarán las pérdidas por transporte del agua.

Finalmente, este estudio solamente contempla el uso del sistema de riego por inundación, ya que al utilizar la PAT se está quitando energía para que pueda ser utilizado en otros sistemas de riego que requieren mayor presión. Si se desea aplicar otra técnica de riego se debe modificar la recuperación de energía, de manera que exista un sobrante suficiente que permita el uso de otro sistema de riego.

## **2.6 Conclusiones**

La implementación del sistema híbrido fotovoltaico-hidráulico permite aprovechar los recursos renovables presentes en la zona de Pimampiro (energía solar e hidráulica) para

la distribución del riego de cultivo de papa dejando atrás la dependencia de fuentes de energía no renovable que se requerirían para cumplir el mismo objetivo.

Al añadir una bomba como turbina al final de la caída de agua, se puede recuperar la energía solar que se utilizó para bombear el agua de riego. Los resultados obtenidos en el trabajo reflejan que el campo fotovoltaico de cinco paneles genera lo necesario para alimentar a la bomba. Por su parte la parte hidráulica logra recuperar 9 kWh de manera que la energía neta consumida por el sistema es de 11.8 kWh. Esto indica que un sistema híbrido podría ser una solución para suplir el riego y usar fuentes renovables con recuperación.

Se utiliza el sistema de riego por inundación debido a que este sistema presenta la facilidad de regar los cultivos sin necesitar energía (presión) adicional. Esto aumenta la capacidad de recuperación de energía. El sistema propuesto cumple la función de ser el medio para otorgar la energía requerida para un riego uniforme a lo largo del tercio de hectárea, aun cuando este sistema de riego no resulte ser el más eficiente en su aspecto hídrico

Con base a un análisis simple de inversión y ahorro hecho en el software RETSCREEN, se observa que el sistema híbrido podría ser una inversión atractiva para los agricultores. Considerando un tiempo de vida útil de 25 años, la inversión inicial de USD 1,200 se paga en el año 16. Esto sin considerar los posibles ahorros energéticos de la parte recuperada de energía, y el de tener independencia energética para el riego de más de dos décadas.

## **2.7 Recomendaciones**

Para mejorar la precisión de los resultados es imprescindible realizar un levantamiento de datos de la zona de estudio. Los datos a corregir para mayor precisión son: condiciones climáticas, características del recurso hídrico, su cercanía al pozo, topografía precisa del lugar y las características del cultivo a regar.

Es indispensable colocar las coordenadas exactas del lugar de estudio dentro del software RETSCREEN. Con esto se puede utilizar el historial de resultados que ya se tienen de proyectos que se han realizado en las zonas aledañas.

La generación eléctrica de la PAT resulta ser una aproximación basándose en un caso teórico. Para mayor precisión es necesario realizar los cálculos de forma más precisa, considerando ecuaciones y correlaciones más precisas como por ejemplo la ecuación de Colebrook o Haaland para el factor de fricción. Para esto también es indispensable conocer adecuadamente la curva de operación de la bomba.

En este estudio se hizo un estudio simple del flujo de caja del proyecto mediante el programa RETSCREEN. Para futuros proyectos sería indispensable realizar un estudio más completo considerando otros factores económicos, y añadiendo valores de ahorro y costos que estén más acorde al caso de estudio en particular.

### 3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Chontasi, "Fuego en los Andes Ecuatorianos," *Ecuador Debate*, vol. 14, p. 182, 1987, [Online]. Available: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/9913?mode=full>.
- [2] Suparyanto dan Rosad (2015, "Parroquia Mariano Acosta," *Suparyanto dan Rosad* (2015, vol. 5, no. 3, pp. 248–253, 2020).
- [3] J. Lata-Garcia, C. Reyes-Lopez, F. Jurado, L. M. Fernández-Ramírez, and H. Sanchez, "Sizing optimization of a small hydro/photovoltaic hybrid system for electricity generation in Santay Island, Ecuador by two methods," *2017 Chil. Conf. Electr. Electron. Eng. Inf. Commun. Technol. CHILECON 2017 - Proc.*, vol. 2017-January, pp. 1–6, Dec. 2017, doi: 10.1109/CHILECON.2017.8229539.
- [4] A. Waleed *et al.*, "Study on Hybrid Wind-Solar System for Energy Saving Analysis in Energy Sector," *2020 3rd Int. Conf. Comput. Math. Eng. Technol. Idea to Innov. Build. Knowl. Econ. iCoMET 2020*, Jan. 2020, doi: 10.1109/ICOMET48670.2020.9073901.
- [5] B. N. Prashanth, R. Pramod, and G. B. V. Kumar, "Design and Development of Hybrid Wind and Solar Energy System for Power Generation," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 5, pp. 11415–11422, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.02.109.
- [6] M. A. Abella, F. C. Romero, and S. D. B. Fotovoltaico, "Sistemas de Bombeo Fotovoltaico," *Dimens. Sist. Fotovoltaicos*, vol. 1, no. 1, p. 73, 2017.
- [7] J. X. I. QUISHPE, "Diseño de una central fotovoltaica para el abastecimiento de energía eléctrica del campus de La Escuela Politécnica Nacional," pp. 1–114, 2020, [Online]. Available: [https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20749/1/CD\\_10267.pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20749/1/CD_10267.pdf).
- [8] C. D. R. E. E. SOLAR, "Manual de Ingeniería de Sistemas Fotovoltaicos," vol. 5, 2014, [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.

- [9] C. Marcelo and P. Gonzalez, "Factibilidad Tecnica De La Utilizacion De Una Bomba Como Turbina Hidraulica," *Univ. Austral Chile Fac. Ciencias La Ing. Esc. Ing. Civ. Mec.*, 2010.
- [10] D. I. A. D. E. C. Fcagp, "VIII Soberanía Alimentaria y Nutrición," *VIII Congr. Ecuatoriano la Papa*, vol. primera, 2019.
- [11] J. Duque, S. González, M. Galeas, and T. Guallichicomin, "Memoria Técnica Cobertura de Pimampiro," pp. 30–31, 2015.
- [12] G. Yaguana, "SABERES Y PRÁCTICAS AGRÍCOLAS TRADICIONALES EN SISTEMAS PRODUCTIVOS CAMPESINOS DE LA PARROQUIA MARIANO ACOSTA, CANTÓN PIMAMPIRO-IMBABURA: SU CONTRIBUCIÓN A LA SOBERANÍA ALIMENTARIA," *Teach. Teach. Educ.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–17, 2015, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/01443410.2015.1044943><http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.581><https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2547ebf4-bd21-46e8-88e9-f53c1b3b927f/language-en><http://europa.eu/><http://www.leg.st>.
- [13] CONELEC, "Atlas solar del ecuador," *Conelec*, pp. 1–51, 2008, [Online]. Available: [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf).
- [14] C. Fabara, D. Maldonado, M. Soria, and A. Tovar, "Predicción de la Generación para un Sistema Fotovoltaico mediante la aplicación de técnicas de Minería de Datos," *Rev. Técnica "Energía"*, vol. 16, no. 1, 2019, doi: 10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.337.
- [15] P. Valdiviezo, "Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para El Suministro De Energía Eléctrica a 15 Computadoras Portátiles En La PUCP (TESIS DE PREGRADO)," *Pontif. Univ. Católica del Perú*, p. 74, 2014, [Online]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5447>[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5447/VALDIVIEZO\\_PAULO\\_DISEÑO\\_SISTEMA\\_FOTOVOLTAICO\\_ENERGIA\\_ELECTRICA\\_PUCP.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5447/VALDIVIEZO_PAULO_DISEÑO_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_ENERGIA_ELECTRICA_PUCP.pdf?sequence=1).
- [16] D. Thevenard, G. Leng, and S. Martel, "The retscreen model for assessing potential PV projects," *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, vol. 2000-Janua, pp. 1626–1629, 2000, doi: 10.1109/PVSC.2000.916211.

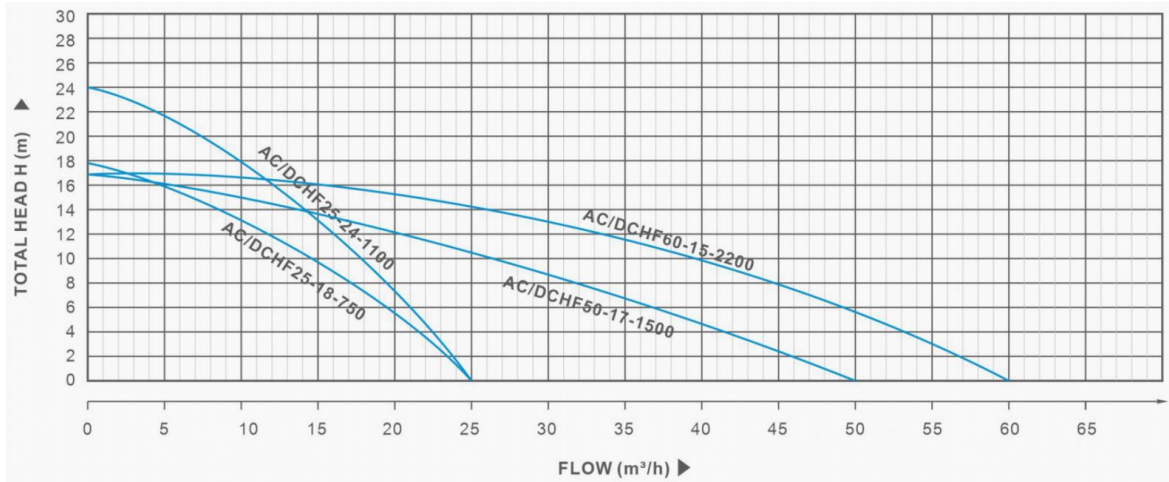
- [17] F. Masoudinia, "Retscreen-small hydro project software," *Proc. - 2013 Int. Conf. Commun. Syst. Netw. Technol. CSNT 2013*, pp. 858–861, 2013, doi: 10.1109/CSNT.2013.184.
- [18] D. Moya, J. Paredes, and P. Kaparaju, "Method for the technical, financial, economic and environmental pre-feasibility study of geothermal power plants by RETScreen – Ecuador's case study," *MethodsX*, vol. 5, pp. 524–531, 2018, doi: 10.1016/j.mex.2018.05.010.
- [19] C. A. E. Anzules, "PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*) VARIEDAD FRIPAPA BAJO TRES SISTEMAS DE RIEGO," *Univ. Babahoyo*, vol. Tesis, p. 84, 2013, [Online]. Available: <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/595/1/T-UTEQ-0087.pdf>.
- [20] Ministerio de Agricultura, "La eficiencia de uso de agua (Eua) en el Cultivo De Papa," 2016, [Online]. Available: <http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Eficiencia-del-Uso-del-Agua-en-el-Cultivo-de-la-papa.pdf>.
- [21] M. Technology, "2 3 4 Pulgadas Bomba Solar de Superficie para Riego Agrícola modelo AC/DC HF25-18-750 características," *SIHIO*, p. 86402599, 2021.



## 4 ANEXOS

### ANEXO I. Características de la bomba

Detalles de la bomba solar SIHIO.



#### Parámetros de rendimiento

Modelo	Voltaje (V)	Mejor entrada Voltaje(DC)	Energía (w)	máx. Caudal (m³/h)	Altura máx. (m)	Salida (inch)	Circuito abierto Voltaje(VOC)	Sugerencia de paneles solares			Conexión
								Voltaje (V)	Energía (w)	Cantidad (pcs)	
AC/DCHF25-18-750	100-264	108-410V	750	25	18	2"X2"	< 430V	36	340	3	
AC/DCHF25-24-1100	100-264	108-410V	1100	25	24	2"X2"	< 430V	36	340	4	

### ANEXO II. Uso del Software

Dentro del software se coloca el punto de referencia en el cual se van a tomar los datos climatológicos de la zona de Pimampiro como se observa en la figura 9 el software ubica

la zona con 5 estrellas, con lo cual se tienen datos climatológicos, así como costos incrementales del proyecto en base a previos archivos.

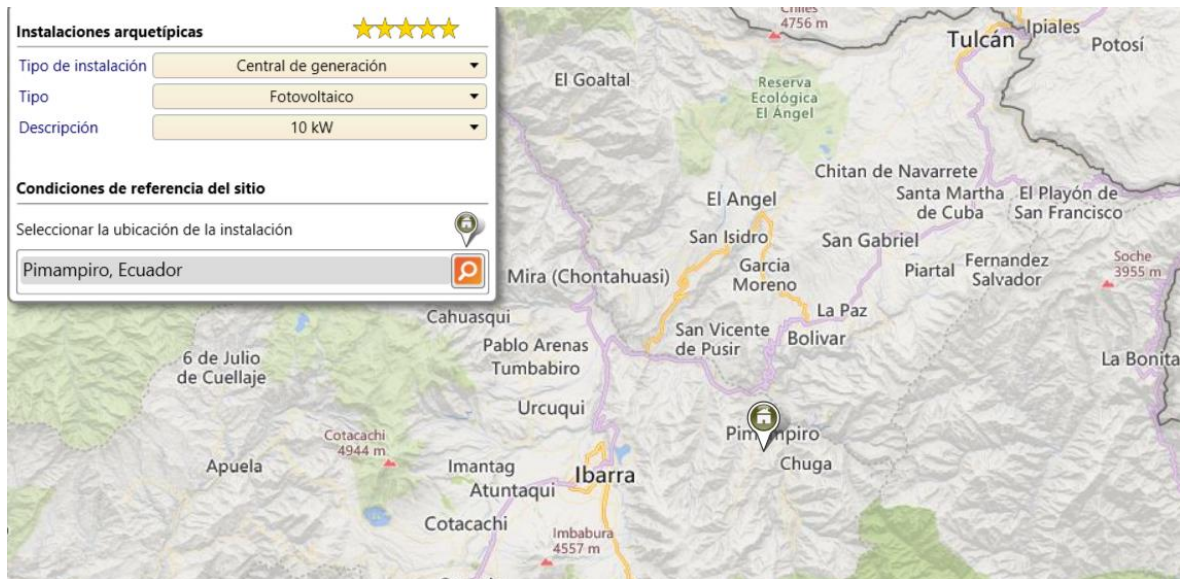


Figura 13 Referencia de estrellas del lugar de estudio dentro del software

De manera que los datos son obtenidos mediante coordenadas figura 10.

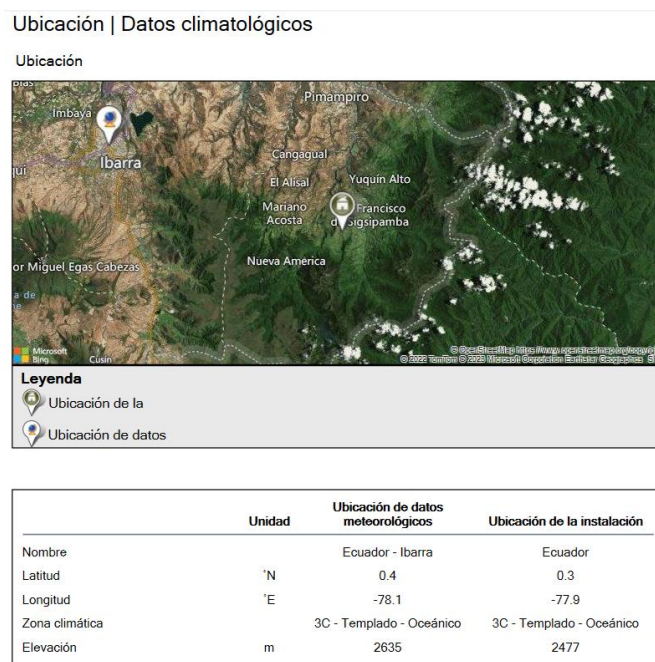


Figura 14 Ubicación de los datos climatológicos en RET-SCREEN

Dado a proyectos previos dentro del programa se pudo obtener puntos de referencia de estaciones o modelos fotovoltaicos dentro de la zona, siendo estos detallados en la figura 11.

Punto de referencia

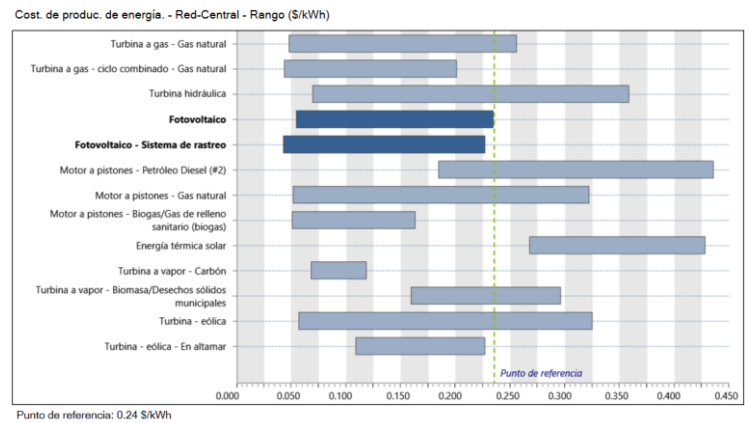


Figura 15 Sistemas de referencia alrededor de la zona

Una vez obtenidos los datos necesarios el programa arroja una central de generación fotovoltaica de 10 kW, sin embargo, se modela para que tener una capacidad de 2kW dado los resultados obtenidos en los cálculos anteriormente figura 12.

Central de generación

Fotovoltaico  
10 kW



Fotovoltaico - 10 kW		
Capacidad	2	kW
Electricidad	2.3	MWh

Figura 16 Central de generación propuesta por RET SCREEN

Con respecto a la viabilidad financiera del proyecto se toma en cuenta los datos adquiridos de proyectos previos dentro del programa con relación a precios del Ecuador específicamente en Pimampiro obteniendo un detalle en la figura 13.

## Viabilidad financiera

### Parámetros financieros

<b>General</b>			
Tasa de inflación	%		2%
Tasa de descuento	%		9%
Tasa de reinversión	%		9%
Tiempo de vida del proyecto	año		20
<b>Finanza</b>			
Relación de deuda	%		70%
Deuda	\$		3,080
Capital	\$		1,320
Tasa de interés de la deuda	%		7%
Duración de deuda	año		15
Pagos de la deuda	\$/año		338

### Ingresos anuales

<b>Ingresos por exportación de electricidad</b>			
Electricidad exportada a la red	MWh		2.3
Tarifa de exportación de electricidad	\$/kWh		0.10
Ingresos por exportación de electricidad	\$		227
Tasa de escalamiento de exportación de electricidad	%		2%

*Figura 17 Viabilidad financiera arrojado por RET SCREEN*