

## Unidad Piloto Educativa y Comunitaria para el Desarrollo de Energías Renovables

Marcelo A. Juárez <sup>a\*</sup>, Cristian Flores <sup>b</sup>, Elizabeth Pirker <sup>c</sup>, Erico Barney <sup>d</sup>, Leandro J. Corrado <sup>e</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM), Buenos Aires, Argentina.*

<sup>b</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

<sup>c</sup> *Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM), Buenos Aires, Argentina.*

<sup>d</sup> *Grupo de Energías Renovables de Misiones (GERM), Misiones, Argentina.*

<sup>e</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: mjuarez@unlam.edu.ar, cristianfloresfio@gmail.com, elipirker@gmail.com, germbarney@hotmail.com, leandrojavier.corrado@gmail.com

---

### Resumen

El siguiente trabajo es un proyecto interdisciplinario que presenta la metodología utilizada para la creación de la unidad piloto educativa y comunitaria para el desarrollo de energías renovables en la Colonia Pepirí, dentro de la Reserva de la Biosfera Yabotí, El Soberbio, Misiones, Argentina. El objetivo es la generación de electricidad para la Colonia mediante la implantación de una Pequeña Central Hidroeléctrica en el arroyo Trigeño, y restablecer el sistema fotovoltaico del Aula Satélite 618, a fin de completar la unidad demostrativa.

El proyecto resolverá de forma innovadora el déficit de electricidad sin utilizar elementos contaminantes ni tóxicos, no destruirá la selva ni creará campos electromagnéticos de riesgo para la salud. Asimismo, se destaca por ser la primera experiencia de esta índole en el Alto Uruguay, dentro de una zona natural protegida que reclama tácitamente un tratamiento de la energía compatible con el sostenimiento de la biodiversidad.

**Palabras Clave** – *Energía eléctrica, Energías renovables, Impacto ambiental, Pequeña central hidroeléctrica, Zona rural protegida*

---

### Abstract

The following work is an interdisciplinary project that presents the methodology used for the creation of the educational and community pilot unit for the development of renewable energies in Colonia Pepirí, within the Yabotí Biosphere Reserve, El Soberbio, Misiones, Argentina. The objective is the generation of electricity for the Colony through the implantation of a Small Hydroelectric Power Plant in the Trigeño stream, and reestablish the photovoltaic system of the Aula Satélite 618, in order to complete the demonstration unit.

The project will solve the electricity deficit in an innovative way without using polluting or toxic elements, it will not destroy the jungle or create electromagnetic fields of risk to health. Likewise, it stands out for being the first experience of this kind in Alto Uruguay, within a protected natural area that tacitly claims an energy treatment compatible with the maintenance of biodiversity.

**Keywords** – *Electrical energy, Environmental impact, Protected rural area, Renewable energies, Small hydroelectric power station.*

---

## 1. Introducción

La provincia de Misiones es la única de las provincias de Argentina, cuya matriz eléctrica está cubierta en más del 90 % con energía hidroeléctrica y donde más del 92 % se alcanza con los aportes de:

- Yacyretá (Paraguay/Argentina), aporta casi 2/3 de los kWh consumidos en Misiones;
- Urugua-Í (Misiones), suministra casi 1/4 de la electricidad;
- Hidroeléctrica Acaray (Paraguay), abastece casi el 6% de la demanda; y
- Complejo Hidroeléctrico Alejandro Orloff (compuesto por los Saltitos 1 y 2), con su baja potencia, sólo permite aportes marginales.

Misiones cuenta con más del 1% del agua que transportan anualmente todos los cursos de agua del mundo. La represa de Yacyretá genera cerca de 19.080 GWh al año [1], 10 veces más que el consumo de energía por parte de la Provincia. El módulo de generación anual de la Represa de Urugua-Í es del orden de los 360 GWh. En Latinoamérica, la energía hidroeléctrica representa el 35% del suministro, casi el doble del promedio mundial. Teniendo en cuenta que, en la Argentina, la generación media anual de las principales Centrales Hidráulicas [2] es la que se indica en la Tabla 1:

**Tabla 1: Variación Generación Neta Mensual de las Principales Centrales Hidráulicas [2]**

(GWh)	Medio Año Móvil	may-20	may-19	may-18
Alicurá	144	41	83	103
Arroyito	45	37	35	40
Planicie Banderita	40	35	34	27
Chocón	169	129	127	142
Futaleufú	222	234	142	253
Pichi	70	49	48	50
Piedra del Águila	333	218	213	231
Río Grande	46	74	58	29
Salto Grande Argentina	261	154	592	381
Yacyretá	1.186	1.033	1.588	1.509
Resto Hidráulico	276	169	206	242
<b>TOTAL</b>	<b>2.792</b>	<b>2.173</b>	<b>3.126</b>	<b>3.008</b>

Es de destacar que la provincia de Misiones cuenta con poco más de 500.000 hectáreas de bosques implantados de origen exótico de base pinus tanto Taeda como Eliottis, en menor escala especies de Eucaliptus Grandiis o Saligna obteniendo un crecimiento de 9.000.000 de m<sup>3</sup> al año. La Subsecretaría de Desarrollo Forestal del Ministerio del Agro de la Provincia de Misiones calcula que el balance es de 300.000 toneladas de biomasa forestal al año disponibles aún sin aprovechar. Esto implica que, según los modelos generados por el Ministerio de Energía de Misiones (en el

presente, Secretaría de Energía), solo con la actual masa forestal sin aprovechar se podrían abastecer 8 plantas de generación eléctrica con una capacidad de generación de 2 MW [3].

Para abastecer la demanda eléctrica proyectada a nivel país al 2025 resultará necesario instalar entre 17 y 24 GW de capacidad adicional de generación, donde la mitad será renovable. También la provincia se adhirió a la ley nacional N° 26.190 que establece un régimen de fomento para el uso de fuentes renovables de energía [4]. Estarán contemplados por esta ley de anclaje, los usuarios de energía eléctrica que instalen en su red interior un equipamiento de generación eléctrica de origen renovable como los de energía solar fotovoltaica; solar térmica; eólica; micro hidráulica e hidráulica hidrocinética; biomasa; biomasa de captación de gas metano producido por residuos; biocombustibles, entre otras energías renovables certificadas internacionalmente.

En la Tabla 2 presentamos el porcentaje de la demanda del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) cubierta con generación renovable y que asciende a 128.905 GWh, teniendo en cuenta que la variación producida en el año 2019 respecto al año anterior, se ha incrementado en un 6,1% [5].

**Tabla 2: Porcentaje de la Demanda MEM cubierta con Generación Renovable [5]**

FUENTE DE ENERGÍA	AÑO 2011	AÑO 2012	AÑO 2013	AÑO 2014	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017	AÑO 2018	AÑO 2019
Biodiesel	32	170	2	2	0	1	0	0	0
Biomasa	98	127	134	112	195	193	243	252	299
Eólica	16	349	447	613	593	547	616	1.413	4.996
Hidro Renovable	1.255	1.453	1.274	1.457	1.624	1.820	1.696	1.432	1.462
Solar	2	8	15	16	15	14	16	108	800
Biogas	0	36	109	103	84	58	64	145	255
<b>Total GWh</b>	<b>1.403</b>	<b>2.144</b>	<b>1.980</b>	<b>2.303</b>	<b>2.510</b>	<b>2.633</b>	<b>2.635</b>	<b>3.350</b>	<b>7.812</b>
DEMANDA DE ENERGÍA [GWh]	AÑO 2011	AÑO 2012	AÑO 2013	AÑO 2014	AÑO 2015	AÑO 2016	AÑO 2017	AÑO 2018	AÑO 2019
Demanda MEM	116.507	121.192	125.220	126.467	132.110	133.111	132.530	133.010	128.905
<b>Porcentaje de la demanda MEM cubierta con Generación Renovable</b>	<b>1,2%</b>	<b>1,8%</b>	<b>1,6%</b>	<b>1,8%</b>	<b>1,9%</b>	<b>2,0%</b>	<b>2,0%</b>	<b>2,5%</b>	<b>6,1%</b>

Alternativas de generación como las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) empezaron su expansión a principios del siglo XX, caracterizándose por ser tecnologías sencillas, de fácil adaptación e instalación, reducido costo de operación y mantenimiento, moderado o nulo impacto ambiental y larga vida útil, haciéndolas soluciones viables para pequeñas poblaciones no interconectadas con condiciones de topografía, pluviometría e hidrológica convenientes, que pueden reemplazar los generadores de diésel o incluso suministrar, por primera vez, electricidad a comunidades aisladas, para reducir la necesidad de abastecimiento de combustibles fósiles e impulsar el desarrollo socioeconómico en el medio rural [6].

En la actualidad las industrias están limitadas en su crecimiento por la falta de energía eléctrica, donde la mayoría de los aserraderos suplen la falta de energía con una alternativa cara y

contaminante. En virtud de la crisis, se impulsa la creación de prototipos demostrativos de pequeña escala que permitan resolver parcialmente el déficit aprovechando los recursos hídricos disponibles.

El objeto de este trabajo es presentar la experiencia de construcción de una Unidad Piloto Educativa y Comunitaria para el Desarrollo de Energías Renovables por medio del uso de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas de bajo impacto ambiental. Intervienen en el proyecto la Facultad de Ingeniería Oberá (FIO) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), el Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT) de la Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM), Erik Barney del Grupo de Energías Renovables Misiones (GERM), la Asociación Civil Misiones para Todos (ACMPT) y la comunidad de Colonia Pepirí, El Soberbio.

## **2. Materiales y métodos**

Como se propone en el Manual Mini y Microcentrales Hidráulicas: Una Guía Para el Desarrollo de Proyectos [7], para la construcción de proyectos a bajas escalas o “microgeneración eléctrica” encontramos dos esquemas posibles: i) sistema de “derivación”, donde se realiza un desvío parcial del caudal del lecho y se lo canaliza por medio de tuberías hacia la turbina; y ii) sistema de “embalse”, en el cual se efectúa un cierre transversal total del cauce generando así un salto y un reservorio de agua para turbinar.

El sistema de derivación es el más utilizado ya que requiere menor costo de construcción, en lo que a obra civil se refiere, y su simplicidad proporciona una mejor confiabilidad a largo plazo. Desde el punto de vista ambiental, no hay necesidad de inundar tierras y, además, por turbinarse solo una parte del caudal natural del cauce, se asegura un caudal ecológico mínimo de circulación. Todo esto se constata junto con las indicaciones recibidas por Barney del GERM, quien ha realizado numerosos proyectos de esta índole en la Provincia de Misiones.

En primer término, se efectuó un análisis en terreno a fin de estudiar la hipótesis de elevación de nivel a partir de la construcción de un azud en la cual exista un desnivel en el lecho del curso de agua de no menos de 2,50 metros respecto del fondo del cauce existente, de manera de aprovechar el desnivel topográfico para reducir la envergadura de la obra y asegurar de esta forma, el eficiente funcionamiento de la microturbina.

Luego se halló un sitio con las condiciones adecuadas sobre el arroyo Trigeño, ubicado en Colonia Pepirí, donde a menos de 30 metros de la Ruta Provincial N°2 (15 km antes del Parque Provincial Saltos del Moconá), el arroyo presenta un salto de 9 metros de altura, con un caudal de 300 lts/seg el cual permite lograr su funcionamiento óptimo.





Fig. 1. Ubicación Colonia Pepirí.

A priori, estimando dicho caudal en una cuenca de 16 km<sup>2</sup>, se podría obtener unos 12 kW de potencia. Para estas condiciones de caudal y de altura se recomienda trabajar con una turbina Michell-Banki [7]-[9], por su bajo costo y simple construcción, lo cual posibilita a los metalúrgicos de la zona producirla. Para el presente proyecto, el Ing. Barney ha introducido cambios en el modelo original a fin de mejorar el desempeño, lo que permitirá estudiar su rendimiento, evaluar las mejoras y documentarlas. La turbina diseñada originalmente para trabajar con dos metros de altura [10] estaría operando a una altura mayor a la propuesta, dando un aporte de potencia neta de 3 kW; la diferencia entre los 12 kW y los 3 kW se debe a que no se turbinará el total del caudal del arroyo, para preservar su cauce. Los valores obtenidos anteriormente fueron siguiendo el procedimiento descrito en el Manual [7].

Asimismo, ya se han iniciado las obras civiles en el área de intervención y se ha instalado una microcentral de laboratorio de 1 kW para que se disponga de energía eléctrica en obra y la comunidad se familiarice con el uso y mantenimiento del equipo. Se estima concluir la implantación, el ensayo y las capacitaciones comunitarias en el manejo y gestión del sistema durante el segundo semestre del corriente año, sujeto a las condiciones climáticas.

### 3. Resultados y discusión

La implantación del prototipo de microturbina hidráulica en el salto del arroyo Trigeño para autogeneración eléctrica en la Reserva de la Biósfera Yabotí, es la primera iniciativa de esta índole en el Alto Uruguay.



**Fig. 2 (a) - 2 (b). Salto y cauce del arroyo Trigeño.**

La experiencia piloto realizada con la turbina de prueba de 1 kW, fue llevada a cabo por el Ing. Barney en conjunto con estudiantes de la FIO y habitantes de la Colonia Pepirí.

En esta experiencia se utilizó una turbina Michell-Banki, modelo T-12 modificada por GERM y construida por un taller metalúrgico de Oberá, Misiones, bajo las directivas del Ingeniero.



**Fig. 3. Turbina, Manómetro y Generador de Prueba.**

Esta turbina es de menor tamaño, pero de similares características a la que se implantará en el proyecto. La altura de salto neto que se utilizó fue de 5 metros, con un caudal de 30 litros por segundo. El motor empleado como generador es marca WEG que trabaja a 1000 rpm de velocidad de giro en su eje, 50 Hz de frecuencia y una potencia nominal de 2 kW [11].



Para la alimentación de agua a la turbina, se utilizaron tubos sanitarios de PVC de 160 mm de diámetro, lográndose una velocidad del agua de 2 m/seg.



**Fig. 4. Ing. Barney realizando la conexión del generador.**

Bajo estas condiciones la potencia obtenida en el ensayo fue de 1 kW, lo que se confirma las estimaciones de potencia proyectadas para la PCH. La experiencia permitió refutar los valores de rendimiento que se estiman en los cálculos para la determinación de la potencia útil que se puede extraer del aprovechamiento hidráulico.



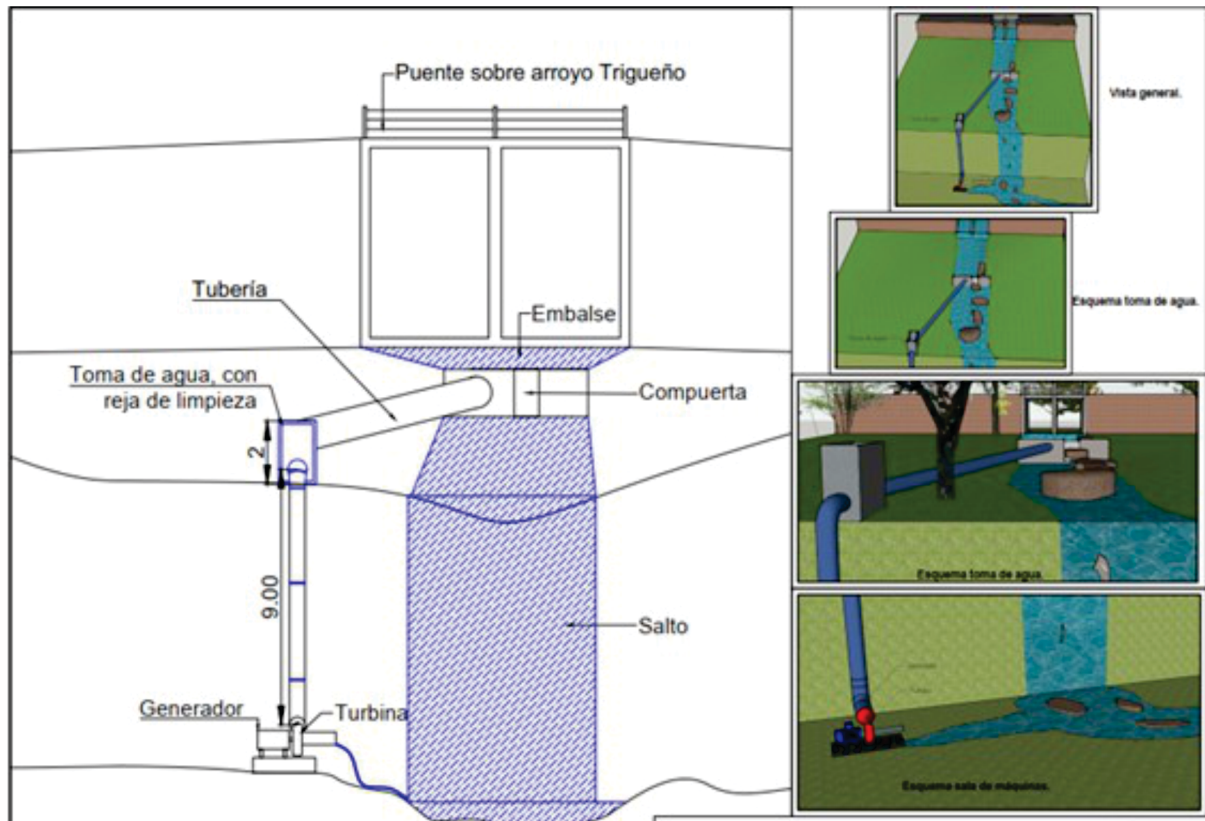
**Fig. 5. Barney y alumnos con la lámpara encendida, signos de generación exitosa.**

El proyecto sobre el arroyo Trigeño podría aportar un total de 12 kW, tal lo comentado en párrafos anteriores; sin embargo, para no ocupar totalmente el caudal natural del curso de agua y por ser un proyecto del tipo prototipo con fines educativos y demostrativos, se instalará equipamiento para obtener 3 kW de potencia, que abastecerá adecuadamente a la demanda comunitaria.

Además, ya se han comenzado con las obras civiles en el área de intervención para la construcción, implantación y puesta en marcha de la microcentral. El diseño se compone de una pequeña obra de toma, que alimentará una tubería, para desviar parte del caudal del arroyo para dirigirlo a la cámara de carga, que cumple la función de asegurar que la tubería de presión esté llena, evitando el ingreso de aire; y posteriormente a la turbina. El tramo de tubos desde el cauce hasta la cámara tendrá la misma función que la de un canal. Debido al mantenimiento que demanda un canal abierto, y el costo debido al bajo caudal, se opta por las tuberías que funcionarán como un canal, pero cerrado. De no ser de esta manera, podría suceder que tanto ramas como otros elementos arrastrados por la corriente podrían terminar en la cámara de carga obstruyendo la circulación del agua.

La tubería irá alojada en un margen del arroyo, por la mayor facilidad de sustento, para evitar las fuerzas de arrastre provocadas por las crecidas y para que el cauce tenga la menor intervención posible.

La PCH trabajará en forma combinada con el sistema solar fotovoltaico del Aula Satélite 618, cuyo equipamiento está en proceso de reparaciones en los laboratorios de la FIO de la UNaM. De manera que la unidad piloto educativa comunitaria integrará en principio, dos tipos de energías renovables complementarias.



**Fig. 6. Esquema desarrollo azud nivelador.**

Como se observa en la Fig. 6, el diseño propuesto contempla que el equipamiento turbina/generador quede resguardado, es decir mediante el desvío con las tuberías se logra la implantación del equipo en “tierra firme”. Esta situación previene los posibles inconvenientes de una eventual crecida del arroyo; también facilitará el acceso para realizar pruebas, mediciones, mantenimientos y guiar a los visitantes.

**4. Conclusiones**

El desarrollo de la unidad piloto educativa y comunitaria para el desarrollo de energías renovables, promueve una solución novedosa para solucionar el déficit de electricidad en las zonas rurales protegidas, ya que no utilizará elementos contaminantes ni tóxicos. No destruirá la selva ni creará campos electromagnéticos de riesgo para la salud. Oficiará como instrumento de difusión, ensayos y educación permanente, para estudiantes de escuelas técnicas y de universidades. También es la primera iniciativa llevada a cabo en el Alto Uruguay, dentro de una zona natural protegida que reclama un tratamiento de la energía compatible con el sostenimiento de la biodiversidad. El desarrollo de las energías limpias resulta imprescindible para combatir el cambio climático y limitar de este modo, sus efectos más devastadores.

Las pruebas realizadas en el ámbito de intervención del arroyo Trigueño arrojan resultados promisorios en términos de potencia de generación de la PCH, sujeto obviamente al caudal de agua.



Con esta experiencia, al mismo tiempo que se empodera a la comunidad local de Colonia Pepirí, se fortalece la educación y la igualdad de acceso a los servicios públicos. A la vez, abre una nueva perspectiva de promoción turística ya que se ubica en el corredor que conduce al Parque Provincial Moconá, que se encuentra a 10 kilómetros de distancia. Y principalmente expone una discusión que aún persiste y genera rechazo de la población: la amenaza de construcción de nuevas megarepresas. El contrapunto necesario a esa visión es la posibilidad de generar microcentrales a escala comunitaria que oficien a la vez de plataforma educativa sobre el aprovechamiento de fuentes renovables de energía.

Como ha demostrado el apagón generalizado que sufrió Argentina en el mes de junio de 2019, es urgente y necesario el fomento de la autogeneración de energía a pequeña escala, el uso eficiente de la energía y las prácticas educativas en zonas naturales protegidas a fin de priorizar el ambiente y resolver antiguas prácticas predatorias. Eso sin duda será viable en tanto se conformen y difundan espacios educativos que integren a la población y fortalezcan la autogestión comunitaria.

En síntesis, el desarrollo de este tipo de experiencias piloto, aspira a plantear de forma visible las divergencias entre los enfoques meramente productivistas que alientan la construcción de megarepresas, y los enfoques sociales donde el centro y finalidad de las acciones se orientan a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

## 5. Referencias

- [1] S. Spaltro, “Yaciretá usa u\$s 450 millones propios para financiar obras en la represa”, *El Cronista*, 23 Julio 2019. [Online]. Disponible en: <https://www.cronista.com/economiapolitica/Yacyreta-adjudicaron-obras-para-ampliar-en-un-10-la-central-hidroelectrica-20190723-0032.html>, Consultado: Mayo, 2020.
- [2] CAMMESA, “Informe Mensual, Principales Variables del Mes”, CAMMESA, 2020. [Online]. Disponible en: <http://portalweb.cammesa.com/MEMNet1/Informe%20Mensual/Informe%20Mensual.pdf>, Consultado: Mayo, 2020.
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Estudio del Empleo Verde, Actual y Potencial, en el Sector de Bioenergías, Análisis cualitativo y cuantitativo Provincia de Misiones”, Colección Documentos Técnicos N° 17, Buenos Aires, Argentina: FAO, 2019.
- [4] Ley 26190, “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”, Argentina, 2006. [Online]. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/120000-124999/123565/norma.htm>, Consultado: Mayo, 2020.
- [5] CAMMESA, “Informe Anual 2019”, CAMMESA, 2020. [Online]. Disponible en: <https://portalweb.cammesa.com/MEMNet1/Documentos%20compartidos/Informe%20Anual%202019%20v%20larga%2006Jun.pdf>, Consultado: Mayo, 2020.
- [6] F. Vargas et al., “Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica”, *Informador Técnico (Colombia)*, Edición 75, pp. 73 – 85, Enero - Diciembre 2011.
- [7] F. Coz et al., “Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: Una Guía Para el Desarrollo

- de Proyectos”, Lima, Perú: Intermediate Technology Development Group, 1995.
- [8] K. Nakarmi et al., “Cross Flow Turbine Design and Equipment Engineering”, MPG Series Harnessing Water Power on a Small Scale, Vol. 3, San Galo, Suiza: SKAT, 1993.
- [9] R. Widmer et al., “Cross Flow Turbine Fabrication”, MPG Series Harnessing Water Power on a Small Scale, Vol. 4, San Galo, Suiza: SKAT, 1993.
- [10] D. Baranger et al., “Guía metodológica para la implementación de pequeños emprendimientos hidráulicos”, Misiones Argentina: FIO UNAM, 1997.
- [11] E. Barney, “Con poca inversión, colonos pueden tener luz de por vida”, El Territorio, 23 de Julio 2017. [Online]. Disponible en: <https://www.eltterritorio.com.ar/con-poca-inversion-colonos-pueden-tener-luz-de-por-vida-0909324431916520-et>, Consultado: Mayo, 2020.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a todas las personas que han hecho posible el desarrollo de este documento, en especial a los habitantes del Consorcio Colonia Pepirí y del Aula Satélite Escuela de Frontera 618.