

Estudio de los caudales del río Huazuntlán para el aprovechamiento del potencial minihidráulico para el auto-abastecimiento

Study of the flows of the Huazuntlán River for the use of the mini-hydraulic potential for self-supply

ESPINOSA-ARENAL, Francisco^{†*}, ALCALÁ-PEREA, Gerardo, SANTIAGO-CEBALLOS, Emerson y ZETINA-BASILIO, Kevin Pastor

*Fac. De Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. Universidad km. 7.5, Coatzacoalcos, Veracruz 96538, México.
Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables, , Av. Universidad km. 7.5, Coatzacoalcos, Veracruz 96538, México*

ID 1^{er} Autor: *Francisco, Espinosa-Arenal* / ORC ID: 0000-0002-3800-757X, CVU CONACYT ID: 45862

ID 1^{er} Coautor: *Gerardo, Alcalá-Perea* / ORC ID: 0000-0003-2186-2323, Researcher ID Thomson: O-7148-2018, CVU CONACYT ID: 270995

ID 2^{do} Coautor: *Emerson, Santiago-Ceballos* / CVU CONACYT ID: 201366

ID 3^{er} Coautor: *Kevin Pastor, Zetina-Basilio* / ORC ID: 0000-0002-2563-9180

Recibido 9 de Octubre, 2018; Aceptado 3 De Diciembre, 2018

Resumen

La Sierra de Santa Marta, la cual forma parte de la biosfera de los Tuxtlas en el Sur de Veracruz, es una región intercultural que aunque es rica en recursos naturales, se encuentra en condiciones de marginación y pobreza. Por este motivo, es importante realizar acciones que aprovechen adecuadamente los recursos naturales existentes, como es el caso de las energías renovables. En particular, esta región posee un recurso hídrico muy importante, el cual abastece a más de 600,000 habitantes de las localidades más importantes del sur de Veracruz. No obstante, pocos estudios se han hecho en esta zona para establecer la viabilidad del aprovechamiento del potencial hídrico y en especial el minihidráulico. Con esta motivación, en el presente trabajo se estiman los caudales de manera remota a lo largo del año para el río Huazuntlán, el cual es uno de los más importantes en esta cuenca hidrográfica. Con base en la caracterización de los distintos puntos, se puede estimar el potencial minihidráulico para la generación de energía eléctrica.

Minihidráulica, Energías renovables, Sierra de los tuxtlas

Abstract

The "Sierra de Santa Marta" (Santa Marta Mountains), which is part of the biosphere of the Tuxtlas in the South of Veracruz, is an intercultural region that is rich in natural resources, but in conditions of poverty and marginalization. For this reason, it is important to carry out actions that adequately take advantage of existing natural resources, such as renewable energies. In particular, this region has a very important water resource, which supplies more than 600,000 inhabitants of the most important towns in southern Veracruz. However, few studies have been carried out in this area to establish the feasibility of using the hydric and specially the minihydraulic potential. Given this motivation, in the present work the flows are estimated remotely throughout the year for the Huazuntlán River, which is one of the most important in this hydrographic basin. Based on the characterization of the different points, the mini-hydraulic potential for the generation of electrical energy can be estimated.

Minihidro, Renewable energies, Tuxtlas mountains

Citación: ESPINOSA-ARENAL, Francisco, ALCALÁ-PEREA, Gerardo, SANTIAGO-CEBALLOS, Emerson y ZETINA-BASILIO, Kevin Pastor. Estudio de los caudales del río Huazuntlán para el aprovechamiento del potencial minihidráulico para el auto-abastecimiento. Revista de Investigación y Desarrollo. 2018, 4-14: 1-9

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: franciespinosa@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En el mundo contemporáneo, la energía eléctrica juega un papel fundamental para el desarrollo de la sociedad, siendo considerada un factor clave para la generación de riqueza, desarrollo social, así como una palanca capaz de ayudar a mejorar la calidad de vida tanto de los países desarrollados como los que se encuentran en vías de desarrollo (Ferreira et al, 2016). En este contexto, Williamson et al. (2014) mencionan que hay un vínculo muy claro entre la pobreza y el acceso a la energía moderna; de tal manera que hay una distinción muy marcada entre las áreas urbanas en donde el porcentaje de la población con acceso a la electricidad es alto, en comparación con las zonas rurales donde los altos costos de conexión de la corriente, complican el abastecimiento óptimo de electricidad para estas; generando adicionalmente gastos en intentar suplir esta necesidad, condiciones de inseguridad, problemas de salud, entre otras afectaciones.

Dada la aspiración que tienen los países de mantener un crecimiento económico continuo, la demanda energética está en aumento constante, siendo a menudo imposible satisfacer las necesidades de los consumidores (Doolla y Bhatti, 2006), manteniendo así una economía sensible a la volatilidad de los precios de los hidrocarburos (Kosa et al., 2011). Además de esto, el consumo irracional de combustibles fósiles ha generado problemas como el calentamiento global, la desertificación y la acidificación del océano. Bajo estas circunstancias es importante sustituir la generación térmica basadas en carbón, petróleo, y gas natural a formas de generación eléctrica que causen un menor impacto ambiental (i.e. gases de efecto invernadero, SO₂, emisiones de NO_x) (Rojanamon et al., 2009). Una de las alternativas a los combustibles fósiles es la energía nuclear, no obstante ha mostrado ser peligrosa. De hecho en Japón todas las operaciones de plantas nucleares han parado desde el accidente nuclear en la estación de Fukushima (Fujii et al., 2017).

La tercera de las alternativas para satisfacer la demanda energética son las energías renovables, las cuales permiten lograr un desarrollo limpio y económicamente sostenible (Panic et al., 2013), además que a diferencia de los combustibles fósiles y de la energía nuclear, la disponibilidad y potencial de este recurso energético renovable son determinados geográficamente, encontrándose así bien distribuidos (Okot, 2013), de tal manera que la dependencia del combustible (sistemas diésel) y también del suministro de red puede reducirse si se tienen generaciones independientes para cumplir con la demanda eléctrica local, (Doolla y Bhatti, 2006), siendo estas por tanto, un área de oportunidad muy importante para el desarrollo. Entre las fuentes de energías renovables más importante se encuentran los recursos hídricos, los cuales tienen un vasto potencial por explotar, así como una tasa de retorno alta, y el menor impacto ambiental de las fuentes de generación eléctrica (Rojanamon et al., 2009). Además, se pueden desarrollar proyectos hidroeléctricos de distintos tipos y escalas, de tal forma que pueden ajustarse a las necesidades y condiciones de cada caso particular (Okot, 2013). La mayor parte del aprovechamiento hídrico es llevado a cabo en centrales hidroeléctricas de gran tamaño, por lo que son las pequeñas y minihidroeléctricas (MHE) en donde hay un gran potencial capaz de hacer contribución significativa a las futuras necesidades energéticas, además de que es una tecnología probada, eficaz y eficiente pero con un margen considerable para la investigación (Doolla y Bhatti, 2006). En particular en zonas montañosas las cuales usualmente son económicamente pasivas y de difícil acceso, las hidroeléctricas a pequeñas escalas son una alternativa energética costeablemente efectiva, desempeñando un rol clave en la electrificación rural en muchos países (Panic et al., 2013). México, tiene varias regiones con gran potencial para el desarrollo a escala mini/micro, siendo en particular, la región de los Tuxtlas, una zona rica en recursos hídricos, con una geografía óptima para su aprovechamiento. Con base en este contexto, en el siguiente trabajo se estudiaría el aprovechamiento hídrico, en específico de la MHE en la Sierra de los Tuxtlas, sin considerar los factores económicos ambientales y sociales.

Potencial mini/micro hidráulico

Los sistemas hidroeléctricos de pequeña escala se pueden dividir en mini, micro y pico hidroeléctrica, con valores máximos a 1 MW, 0.1 MW y 0.01 MW respectivamente. No obstante, no hay un consenso internacional, y esta clasificación puede variar de país en país, adaptándose en muchos casos a las características de cada uno, aunque en general las MHE se consideran para valores menores a 1 MW. La forma de operación de estas centrales se basa en el esquema “a orilla del río”, que consta en almacenar muy poca o nada de agua, de tal manera que la la turbina genera electricidad siempre que el agua esté disponible en el río. Para esto, parte del cauce se desvía mediante una verdadero y se canaliza hasta llegar a un tanque de compensación, en donde el movimiento del agua es amortiguado lo suficiente para que las partículas arrastradas como gravas, madera o basura puedan asentarse y no dañen la turbina. Posteriormente se le permite fluir al agua por una compuerta hasta el cuarto de máquinas en donde hará rotar una turbina para generar electricidad. Por último, el agua empleada es reintegrada nuevamente al río por un conducto (Rojanamon et al., 2009).

El potencial bruto de generación para una MHE (P, kW), depende tanto del caudal, como de la energía potencial asociado a este, y se puede calcular de acuerdo a la siguiente ecuación (Fujii et al., 2017)

$$P = \rho g \eta Q H \quad (1)$$

En donde ($\rho, 1000 \text{ kg m}^{-3}$) es la densidad del agua, ($g, 9.8 \text{ m s}^{-2}$) es la constante gravitacional; η es la eficiencia del MHE; ($Q, \text{m}^3 \text{s}^{-1}$) es la descarga del río; y (H, m) es la cabeza natural, que es la distancia vertical en la que el agua cae. Además la eficiencia η es el producto de la eficiencia de la turbina η_t con el generador η_g , pudiendo tomar valores característicos que oscilan entre 0.6 y 0.9 de acuerdo a la tecnología utilizada.

La energía correspondiente a la potencia que se produce en un intervalo de tiempo Δt (s) es

$$E = \rho g \eta Q H \Delta t \quad (2)$$

El potencial neto de generación, será menor de acuerdo a las restricciones de diseño (P_d, kW)

$$P = \rho g \eta_n Q_d H_n \quad (3)$$

En donde Q_d es el caudal de diseño ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) relacionada con diversos factores como el caudal ecológico (Moiz et al., 2016), y H_n es la carga que resulta de la carga útil menos las cargas por pérdidas por fricción (Kosa et al., 2011).

Cabe mencionar que en México la CFE tiene 42 pequeñas plantas hidroeléctricas en operación con una capacidad total instalada de 301 MW, y no se contempla el potencial de las pequeñas, mini y micro hidroeléctricas. Esto a que los potenciales estimados por la CFE corresponden a proyectos con una capacidad de generación mayor a los 40 GWh/año (Secretaría de Energía, 2012).

Caso de Estudio

El sistema hidrográfico del río Coatzacoalcos es el tercero de importancia en el país por su caudal, después de los sistemas Grijalva-Usumacinta y Papaloapan. Está constituido por importantes afluentes, entre los que destacan los ríos Uxpanapa, Jaltepec, Coachapa y Calzadas. Los primeros nacen en las sierras que delimitan el parteaguas del Istmo de Tehuantepec y el último en la Sierra de los Tuxtlas (CONAGUA, 2015). Por otro lado, el río Calzadas (Figura 1) con una longitud de 126.9232 Km se origina en la vertiente oriental de la Sierra de San Andrés Tuxtla, con el nombre de río Huazuntlán a 1400 msnm; fluye en dirección norte y sur y después circula de occidente a oriente con el nombre de Río Calzadas, para unirse al Coatzacoalcos por la margen izquierda, 4 km aguas arriba de su desembocadura. Su disponibilidad media de acuerdo con el diario oficial de la federación con fecha de 27 de Marzo del 2014 es de 224.53 m^3 (CONAGUA, 2015)

La cuenca del Río Calzadas (Figura 1) con un área de 1215.693 km^2 se encuentra en la Sierra de Santa Marta, y forma parte de la biósfera de los Tuxtlas en el sur de Veracruz. Es una región intercultural abarcando los municipios de Sotepan, Mecayapan y Pajapan (Figura 1) en donde en donde gran porcentaje de la población habla el Popoloca y/o el Náhuatl.

Tiene como actividades económicas principales la agricultura (maíz, café cereza, palma de aceite y frijol) y una ganadería basada principalmente en bovinos.

Esta región abastece a más de 600,000 habitantes de las localidades más importantes del sur de Veracruz. No obstante los importantes recursos de la zona, las poblaciones que la integran se encuentra en condiciones de marginación y pobreza (SEFIPLAN, 2015), obligando en muchos casos a sus habitantes a dejar sus lugares de origen, para buscar mejores oportunidades, en comparación con las pocas opciones que tienen, las cuales en la mayoría de los casos son mal remuneradas.

En este sentido es pertinente realizar estudios de los recursos hídricos que puedan contribuir en el mejoramiento de las condiciones y las oportunidades de los pobladores.

En específico se quiere estudiar el potencial de generación eléctrica mediante una MHE para el río Huazuntán, el cual se observa en la Figura 1. Cerca de la desembocadura, dicho río cambia su nombre a Calzadas y luego a Coatzacoalcos.

Cabe mencionar que en la región ya existía una minihidráulica de aproximadamente 2MW, pero que cerró que actualmente no se encuentra en funcionamiento, en gran medida a cuestiones sociales. Esto es algo que se ha tenido muy presente en el estudio de esta región.



Figura 1 Cuenca del Río Calzadas

Fuente: Mapa generado mediante archivos (INEGI,2018)

Metodología

El potencial minihidráulico puede ser estudiado ya sea realizando mediciones in situ, o de manera remota, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), siendo estos últimos una alternativa adecuada para los casos en que es complicado el acceso a los lugares de medición, o se quieren reducir los costos (Larentis et al., 2010; Punys, 2011). La intención en este trabajo fue minimizar la cantidad de intervenciones en campo, haciendo énfasis en la evaluación de manera remota.

SIG

De acuerdo a la Ecuación 1, el potencial de generación depende tanto del caudal como de la caída natural del agua. Si se quieren caídas naturales con valores altos hay que ir aguas arriba de los ríos, en donde la geografía es más sinuosa, pero con áreas de captación relativamente pequeñas; mientras que en la parte del río cerca de la desembocadura, las cuencas hidrográficas se aproximan a su tamaño máximo, aunque las pendientes son prácticamente despreciables. Se tiene por tanto que para encontrar el potencial óptimo de generación, debe haber un equilibrio entre el tamaño de la cuenca y la cabeza natural.

Como restricción para tener un aprovechamiento factible de la MHE, la carga estática debe tener un mínimo de 2m, siendo las cargas menores a 5 m consideradas como pequeñas, y las menores a 15 m, como cabezas medianas. En este caso vamos a buscar cabezas superiores a 15 m.

Elección de lugar

Para obtener las caídas de agua del cauce, se empleó un mapa digital de elevaciones (MDE), con una resolución espacial horizontal de 15 x 15 m y en la vertical de 1 m, obtenido del Continuo de Elevaciones Mexicanos 3.0 (INEGI, 2018). Con base en el MDE, se generó una red hídrica mediante geoprocetos, utilizando el software libre QGIS. En esta red se identifica el cauce del río Huazuntlán y se traza su perfil de alturas (Gráfico 1), sobre el cual se buscan sitios cuya carga estática natural se encuentre preferentemente arriba de 15 m para una longitud que no exceda 1 km para evitar altas pérdidas por fricción.

En el Gráfico 1 se puede observar que el río descende por debajo de los 100 msnm en una longitud (a lo largo del río) de 29 km. Con base en el cual se eligieron cinco puntos de interés (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5) para los cuales también se consideró el acceso vial y a la red eléctrica y cuyas coordenadas se encuentran en la Tabla 1.

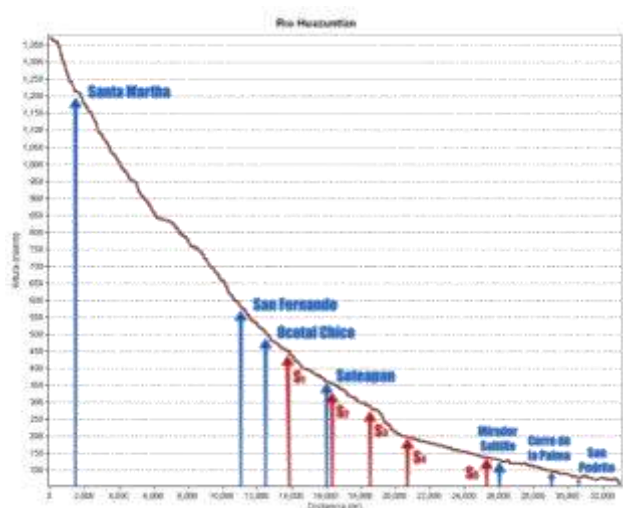


Gráfico 1 Perfil de alturas del río Huazuntlán.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEGI

Sitio	Longitud	Latitud
S ₁	-94.86589838	18.24725217
S ₂	-94.86482714	18.22695296
S ₃	-94.86666878	18.21143174
S ₄	-94.86464002	18.19517118
S ₅	-94.85691627	18.16837711

Tabla 1 Coordenadas de los cinco distintos sitios de medición

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, mediante el MDE se obtiene cuenca hidrográfica para los sitios de interés, un ejemplo se puede ver en la Figura 2.

Estimación del Gasto

Se asume que el volumen (V, m^3) de agua descargada a un río está determinado por la precipitación ($P, mm\ km^{-2}$), el área de la cuenca (A, km^2) y el coeficiente de descarga (L).

Para estimar la descarga al río (V, m^3) en cada elemento de área de la cuenca se ocupa la siguiente fórmula

$$V = PAL \quad (4)$$

De tal manera que el gasto medio (Q, m^3s^{-1}) durante ese mes se expresa como

$$Q = V/\Delta t \quad (5)$$

Los elementos de área vienen dados por la resolución del MDE. Mientras que para estimar la precipitación sobre cada unidad de superficie, los valores de distintas estaciones meteorológicas, obtenidos de (FAO, 2014) se interpolan sobre toda la cuenca estableciendo una dependencia lineal con la altura (Figura 2). Finalmente, para obtener los coeficientes de descarga, se realiza una clasificación supervisada de uso de suelo (Figura 3) utilizando imágenes multiespectrales Land sat8 (EOS, 2018), y la red hidrográfica y de caminos (INEGI, 2018), cuyos valores se asignan de acuerdo a los criterios de la Tabla 2.

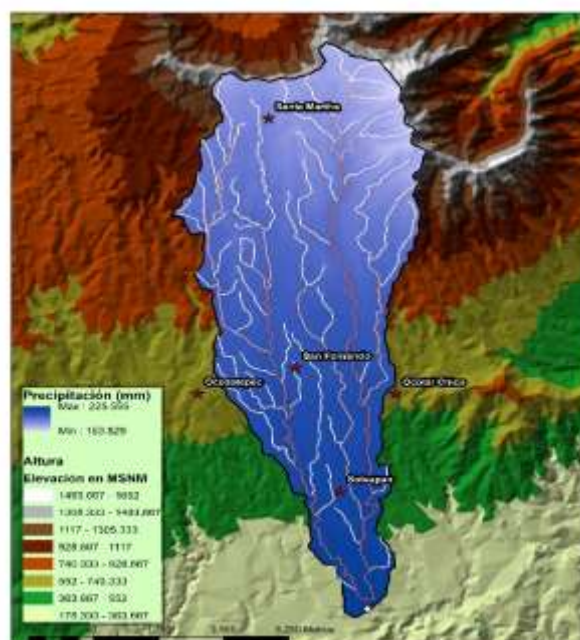


Figura 2 Mapa de precipitaciones

Fuente: Elaboración Propia

Tipo de Suelo	Valor
Cuerpos de agua	1.0
Bosques	0.3
Vegetación	0.4
Suelo desnudo	0.5
Construcciones	0.9
Caminos	0.9

Tabla 2 Coeficientes de descarga

Fuente: (Fujii et al., 2017)

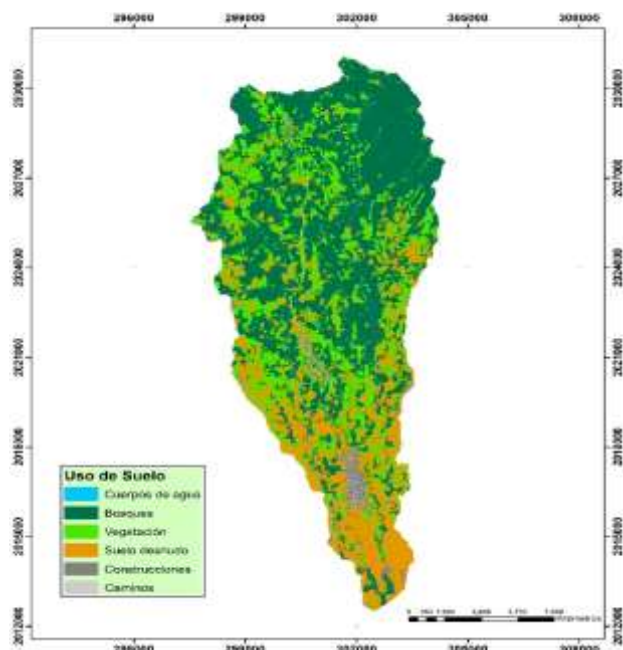


Figura 3 Clasificación de uso de suelo

Fuente: *Elaboración Propia*

Mediciones in situ

Dado que en esta zona no hay estaciones de medición que puedan monitorear los caudales (mediante la profundidad del río) de manera continua; para comparar las estimaciones obtenidas mediante el uso de SIG, se realizaron algunas mediciones in situ de la descarga de las vías fluviales en momentos determinados para los lugares de interés.

La descarga instantánea se obtuvo mediante el método de velocidad-área, de acuerdo a AS3778.3.1 ISO 748 (Australian Standard, 2001), lo cual es el producto de la velocidad promedio de la sección transversal del cauce medida directamente por un medidor de flujo, y el área de descarga de esta. El área de descarga es obtenida integrando con el ancho y la profundidad del río, eligiendo intervalos lo suficientemente cerca para definir el perfil de la sección transversal de manera exacta. De tal manera que la sección transversal está hecha de un número de segmentos cada cual acotado por líneas verticales como se observa en la Figura 4. Se tiene por tanto que las mediciones de la profundidad (sondeos) son tomados en los puntos elegidos (verticales) a través de la corriente, a lo largo de los cuales las velocidades también serán medidas.

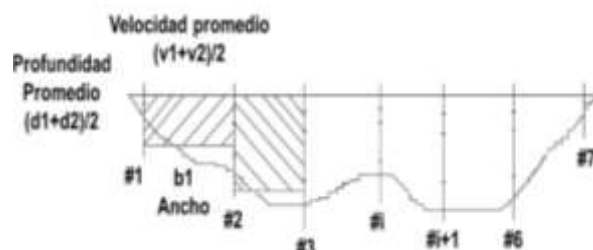


Figura 4 Sección transversal de acuerdo al Método de sección media

Fuente: *Imagen modificada de (Australian Standard, 2001)*

Velocidad media

Para determinar la velocidad media a lo largo de las verticales, se ocupa el método de los puntos reducidos. Para esto las velocidades a distintas profundidades se miden mediante un medidor de flujo de agua (de la marca *flowatch*), y sus valores son ponderados de acuerdo a la cantidad de mediciones realizadas a lo largo de la vertical, conforme lo estipulado en el Australian Standard AS3778.3.1 ISO 748, y así obtener la velocidad media.

Gasto

El gasto Q se integra usando el método de las secciones medias (Australian Standard, 2001), en donde el gasto para cada elemento $q_{(i,i+1)}$, definido para la sección transversal entre las verticales i e $i+1$, corresponde a la siguiente ecuación

$$q_{(i,i+1)} = 0.25(v_i + v_{i+1})(d_i + d_{i+1})b_i \quad (6)$$

Los resultados obtenidos por este procedimiento se muestran en la Tabla 4, y fueron comparados con la metodología SIG.

Resultados

En la Tabla 3 se muestran los caudales obtenidos SIG, para los cinco sitios, en donde Q_i representa el caudal del sitio correspondiente, obteniendo valores mínimos de $0.58 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para Q_1 y máximos de $21.40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para Q_5 .

Gastos Mensuales

Mes	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
Enero	0.69	0.76	1.00	2.01	3.25
Febrero	0.73	0.81	1.07	2.16	3.50
Marzo	0.64	0.72	0.94	1.90	3.08
Abril	0.58	0.66	0.87	1.76	2.82
Mayo	0.94	1.00	1.31	2.63	4.19
Junio	3.77	4.30	5.58	11.17	17.80
Julio	4.85	5.18	6.72	13.43	21.40
Agosto	3.58	3.96	5.14	10.29	16.40
Septiembre	3.93	4.34	5.65	11.31	18.05
Octubre	2.21	2.45	3.19	6.40	10.23
Noviembre	1.27	1.41	1.84	3.68	5.91
Diciembre	0.88	0.97	1.24	2.55	4.09

Tabla 3 Gasto mensual (Q, m^3s^{-1}) estimado en SIGFuente: *Elaboración Propia*

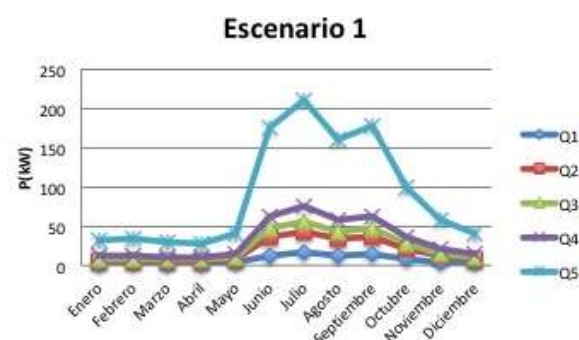
En la Tabla 4 se hace un comparativo de las mediciones in situ las estimaciones mediante SIG. Se observa que al menos para los sitios y fechas en que dichas mediciones pudieron llevarse a cabo, los resultados empatan aceptablemente bien, con una diferencia mínima del 15% y máxima de 58%.

Con base en los gastos se estimaron las potencias (considerando a η con un valor de 0.7) para los escenarios (1,2,3), en donde se consideraron las caídas correspondientes de 500 m, 1 km, 500 y 2 km aguas arriba del punto de interés, respectivamente. Hay que aclarar que estas longitudes son a lo largo del río y no en línea recta, la cual podría ser mínima, dependiendo de tortuosidad del río en la sección de estudio.

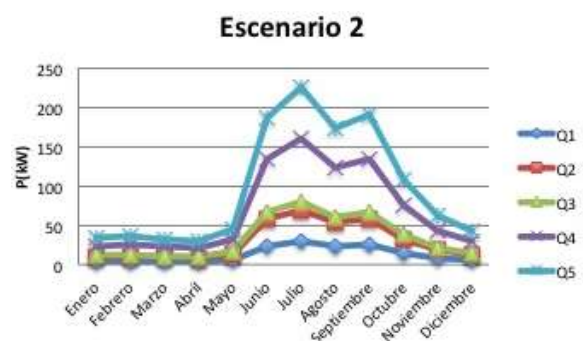
Sitio/fecha	Q _(in situ)	Q _{SIG}	Dif. (%)
S ₂ (27/03)	1.14	0.72	58-37%
S ₄ (14/04)	2.07	1.76	15-18%
S ₄ (05/05)	2.21	2.63	16-19%

Tabla 4 Comparación Gasto (Q, m^3s^{-1}) medido in situ contra estimadoFuente: *Elaboración Propia*

Para el Escenario 1 (Gráfico 2) se observa que el sitio correspondiente al caudal Q₅ tiene una potencia de generación muy alta (llegando a los 210 kW) con respecto a los otros sitios para el periodo que abarca de Junio a Octubre.

**Gráfico 2** Potencia de generación para el Escenario 1
Fuente: *Elaboración Propia*

Para el escenario 2 (Gráfico 3) tanto los sitios correspondientes a los caudales Q₅ y Q₄ pueden generar una contribución importante, llegando a tener valores por de los 200 y 150 kW para cada sitio respectivamente, mientras que el sitio de Q₅ tiene una contribucion muy baja en comparación, que oscila entre los 5 y 30 kW.

**Gráfico 3** Potencia de generación para el Escenario 2
Fuente: *Elaboración Propia*

Por último para el escenario 3 hay valores de generación para todos los sitios excepto el correspondiente a Q₁. En este caso Q₅ sigue siendo debido a su gran caudal, el escenario con una potencia muy por encima del resto (cerca de los 500 kW), no obstante Q₄ y Q₃ tienen una contribución también alta y similar, lo cual nos indica que para este escenario la region ubicada para estos sitios tiene potenciales alrededor de los 300 kW.

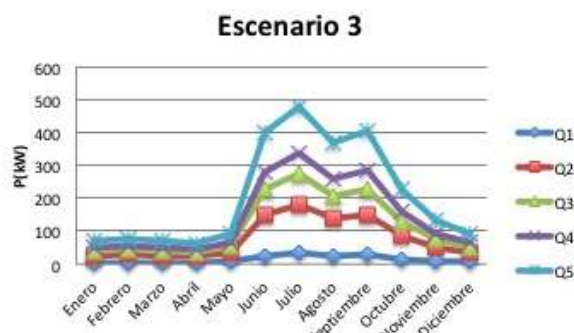


Gráfico 4 Potencia de generación para el Escenario 3
Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones

En este trabajo se pudo estimar el potencial hidráulico de manera remota mediante Sistemas de Información Geográfica, en lugares en los cuales el acceso y las mediciones son complicados por motivos tanto técnicos como sociales. Estas herramientas también fueron útiles para decidir los sitios de interés.

Además, se realizaron un mínimo de in situ, los cuales se asimilaban aceptablemente con los obtenidos mediante Sistemas de Información Geográfica.

Con base en este estudio se conocen tanto los caudales como los potenciales de generación eléctrica en distintas regiones mediante lo cual podemos proponer el escalamiento de hidroeléctrica así como la tecnología de turbina que puede usarse.

Como trabajo a futuro se espera hacer mediciones in situ, en más lugares y en más épocas del año para hacer una mejor comparación con los métodos por SIG. También se espera usar estas herramientas para ampliar los estudios de tal manera que también se puedan incluir aspectos económicos ambientales y sociales.

Referencias

Australian Standard. (2001). *AS778.3.1 ISO 748. Measurement of water flow in open channels. Part 3.1: Velocity-area methods- Measurement by current-meters and floats*. Sydney: Standards Australia International Ltd.

CONAGUA. (2015) Estudios de Alternativas de solución para suministrar agua potable a las ciudades de Minatitlán y Coatzacoalcos. Disponibilidad.

Doolla, S., & Bhatti, T. S. (2006). Automatic generation control of an isolated small-hydro power plant. *Electric Power Systems Research*, 76(9-10), 889-896.

Earth Observing System [EOS]. (2018). Land Viewer. Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: <https://eos.com/landviewer/#%2F>

Ferreira, J. H. I., Camacho, J. R., Malagoli, J. A., & Júnior, S. C. G. (2016). Assessment of the potential of small hydropower development in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 380-387.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2014). Web LocClim: Local Monthly Climate Estimator. Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: http://www.fao.org/nr/climpag/locclim/locclim_en.asp

Fujii, M., Tanabe, S., Yamada, M., Mishima, T., Sawadate, T., & Ohsawa, S. (2017). Assessment of the potential for developing mini/micro hydropower: A case study in Beppu City, Japan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 107-116.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM). Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/index.jsp>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). Conjunto de Datos Vectoriales de Carreteras y Vialidades Urbanas Edición 1.0 (Distribución por Entidad Federativa). Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/vectoriales_carreteras.aspx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0. Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx

Kosa, P., Kulworawanichpong, T., Srivoramas, R., Chinkulkijniwat, A., Horpibulsuk, S., & Teaumroong, N. (2011). The potential micro-hydropower projects in Nakhon Ratchasima province, Thailand. *Renewable Energy*, 36(3), 1133-1137.

Larentis, D. G., Collischonn, W., Olivera, F., & Tucci, C. E. (2010). Gis-based procedures for hydropower potential spotting. *Energy*, 35(10), 4237-4243.

Moiz, A., Kawasaki, A., Koike, T., & Shrestha, M. (2018). A systematic decision support tool for robust hydropower site selection in poorly gauged basins. *Applied Energy*, 224, 309-321.

Okot, D. K. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515-520.

Panic, M., Urosev, M., Pesic, A. M., Brankov, J., & Bjeljic, Z. (2013). Small hydropower plants in Serbia: hydropower potential, current state and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 341-349.

Punys, P., Dumbrasukas, A., Kvaraciejus, A., & Vyciene, G. (2011). Tools for small hydropower plant resource planning and development: A review of technology and applications. *Energies* 4 (9) 1258–1277.

Rojanamon, P., Chaisomphob, T., & Bureekul, T. (2009). Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2336-2348.

Secretaría de Energía. (2012). *Prospectivas de Energías Renovables 2012-2026*

Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz [SEFIPLAN]. (2015). *Cuadernillos Municipales, 2015*. Sotepan. Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2015/05/Sotepan.pdf>

Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz [SEFIPLAN]. (2015). *Cuadernillos Municipales, 2015*. Mecayapan. Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2015/05/Mecayapan.pdf>

Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz [SEFIPLAN]. (2015). *Cuadernillos Municipales, 2015*. Pajapan. Recuperado el 1 de Junio de 2018 de: <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2015/05/Pajapan.pdf>

Williamson, S. J., Stark, B. H., & Booker, J. D. (2014). Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, 61, 43-50.