

Análisis del Cambio Climático en Subcuenca de Río Hondureño y su Impacto en la Generación de Energía Hidroeléctrica

César Emilio Wettstein López, Estudiante Ingeniería en Energía¹, Claudia Paz Paz, M. Sc ¹, Héctor Fernando Villatoro Flores, PhD¹

¹ Universidad Tecnológica Centroamericana, (UNITEC), Honduras, cesarwettstein@unitec.edu, paz_paz@unitec.edu, hector.villatoro@unitec.edu

Resumen– El cambio climático es una realidad que se ha logrado apreciar en las últimas décadas, siendo el incremento de la temperatura una de las más evidentes, además de los cambios de precipitación y otros patrones climatológicos que han presentado aumentos. El sector eléctrico en Honduras no está exento a estos cambios climatológicos y siendo la generación de energía hidroeléctrica un gran porcentaje de la matriz energética, en el presente documento se presenta un análisis del impacto que presentará el cambio climático en la operación y planificación del proyecto hidroeléctrico el tornillito, incluyendo además el impacto del cambio climático sobre la generación de energía en el proyecto. Se utilizó un modelo estadístico y modelamiento a partir de las relaciones de condiciones climatológicas que otorga WEAP (Water Evaluation And Planning) para la proyección de generación de energía eléctrica. Las proyecciones utilizaron como parámetros de entrada un modelo de programación lineal donde le permite al modelamiento calcular la planificación y operación al mínimo costo del sistema. El modelo simula un periodo comprendido entre los años hidrológicos 2000 – 2030, los resultados muestran el impacto que la instalación del proyecto el tornillito en la última década y los cambios significativos en la precipitación de la subcuenca del río Ulúa reduce la generación de energía en un aproximado de un 12%, por motivos de investigación se presenta los efectos que el clima genera sobre la generación de energía eléctrica al proyecto el Tornillito.

Palabras clave: Energía hidroeléctrica, WEAP.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se presencia un evidente incremento de las temperaturas medias del aire y océanos, según (IPCC) [1]. Se han observado numerosos cambios de largo plazo en el clima, incluyendo cambios en la temperatura, cambios en las cantidades de lluvia, patrones de vientos y comportamientos de los eventos extremos, sequías, lluvias intensas, olas de calor e intensidad de los ciclones tropicales.

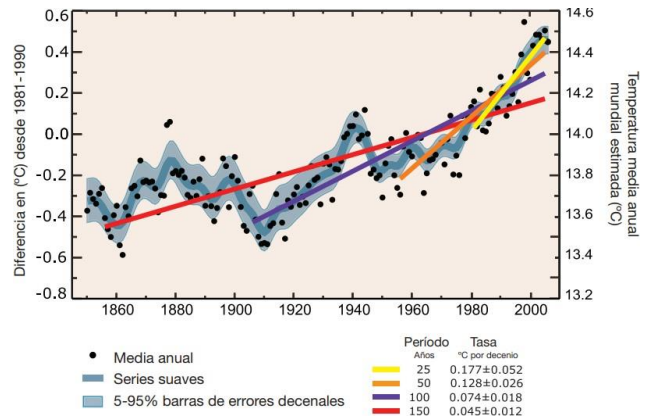


Figura 1- Tendencias De Temperatura Mundial [2].

La temperatura media superficial de la tierra ha presentado un incremento en un 0.76 [°C] del 2005 con respecto al período de 1850 a 1890, con una tasa de calentamiento de 0.13 [°C] por década durante los últimos 50 años. El calentamiento observado en los últimos 30 años es mayor en las altitudes altas del norte y existe evidencia de cambios a largo plazo en la circulación de la atmósfera a gran escala.

Para escenarios futuros, se estima un incremento en las emisiones mundiales de GEI (Gases de efecto invernadero) de entre 25 y 90% en 2030 con respecto al año 2000, donde incrementaría el curso y la magnitud del cambio climático, manifestándose en diferentes escalas temporales y espaciales; los sistemas eléctricos no están ajenos a estos cambios que se han presentado hasta el día de hoy en el ambiente, debido a que los impactos pueden ocurrir tanto en la generación, como en transmisión y consumo [3].

La matriz energética hondureña cuenta con un porcentaje importante de generación hidroeléctrica, por lo que es relevante prepararse para el impacto que presentaría el cambio climático en la generación de energía hidroeléctrica a futuro. Para el presente documento se toma en cuenta la disponibilidad de agua en el río Ulúa (uno de los ríos más importantes del país) para generación, del cual depende directamente de las precipitaciones e indirectamente de las temperaturas.

El presente documento muestra un modelamiento de la subcuenca del río Ulúa en el cual nos permitirá realizar proyecciones de los cambios climáticos que se pueden presentar en la zona en años futuros, por lo que se puede proyectar el efecto que este parámetro de entrada que es el clima puede

presentar en la generación de energía hidroeléctrica del cual las proyecciones también van en función de la precipitación del lugar.

El principal objetivo de la investigación es: Evaluar la disminución del caudal provocado por el aumento de temperatura de forma directa e indirecta en la generación de energía hidroeléctrica en la subcuenca Ulúa Alta en el departamento de Cortés, Honduras.

Las proyecciones realizadas en WEAP, que nos facilita realizar proyecciones de los cambios climáticos que se pueden presentar a partir de regresión lineal, en el presente documento se realizaron de acuerdo con datos históricos meteorológicos que se han presentado, donde la metodología de estudio se diseñó a partir de los datos que se pueden obtener del proyecto el tornillito. Dicha metodología se realizó en cuatro etapas: la recolección de datos climatológicos como parámetros de entrada, y la modelación de la subcuenca del Ulúa que se realizó en WEAP, el software como tal le provee el usuario la facilidad de realizar proyecciones a través de una modelación estadística y un análisis de sensibilidad para denotar resultados más cercanos a la realidad.

Los resultados se muestran partir de la metodología de investigación planteada, donde se muestra como la temperatura muestra cambios de +/- 2 [°C] el cual puede denotar un efecto en la eficiencia del proyecto el tornillito.

El documento consiste en 4 capítulos, en el segundo capítulo se muestra la metodología de estudio implementado en la investigación, en el tercer capítulo se muestran los resultados obtenidos a través del modelamiento realizado en WEAP del río Ulúa, y el último capítulo con las conclusiones realizadas a partir de los resultados obtenidos.

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para la siguiente investigación consta de cuatro etapas tal y como se muestra en la **figura 2**.

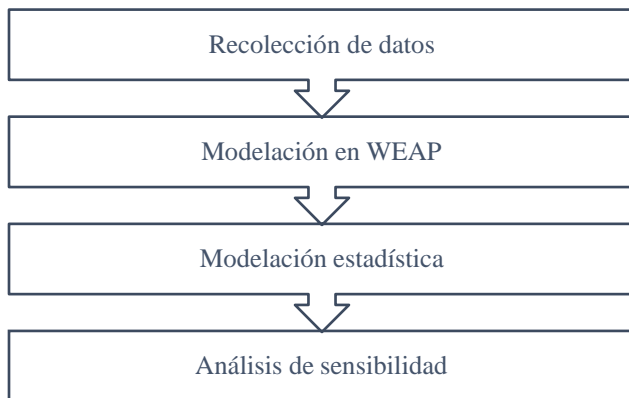


Figura 2- Metodología por etapas.

El río Ulúa está situado en la parte oeste de Honduras el cual nace de un área montañosa de Intibucá, el río en total contiene una longitud de 358 km a una altitud de 1,850 metros, hace un recorrido de 400 km por los departamentos de Santa Bárbara, Cortés, Yoro y Atlántida del territorio hondureño. Los datos que se muestran a continuación son datos recolectados de la

estación meteorológica situada en el río Ulúa proporcionados por [5], complementando a los datos proporcionados por [6].

En la **figura 3** muestra la concentración de humedad específica que se concentra en el río Ulúa, mostrando datos desde el 2001 hasta el 2021, con una diferencia de 10 años entre cada muestra, del cual del 2011 al 2021 muestra un incremento de la humedad en el sitio del 5%, para el 2021 se presentó en promedio una humedad de 17.31 [g/kg] a diferencia el 2011 que se concentró una cantidad 12.5 [g/kg] de humedad específica.

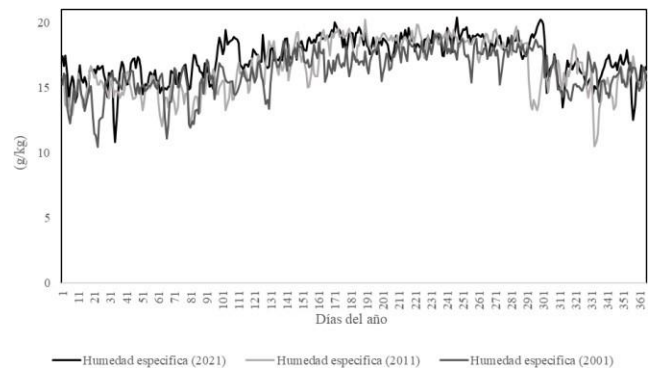


Figura 3- Humedad específica de subcuenca de Ulúa.

En la **figura 4** muestra el registro de temperatura que se presentó en la subcuenca del río Ulúa. En los últimos 10 años se presentó un incremento de un 1%, en promedio, siendo la temperatura más alta en el tiempo previamente mencionado de 29.46 [°C] y una mínima de 18.06 [°C].

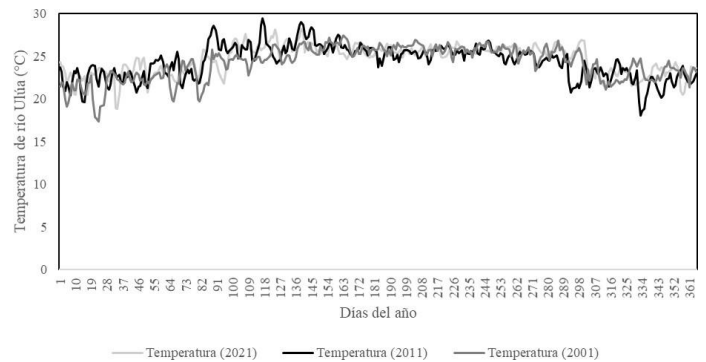


Figura 4- Temperatura de Río Ulúa.

En la **figura 5** muestra los datos de la velocidad del viento de los últimos 10 años se ve que la velocidad del viento descende en un 2%, pasando de 1.35 (m/s) en el 2011 a 1.32 (m/s).

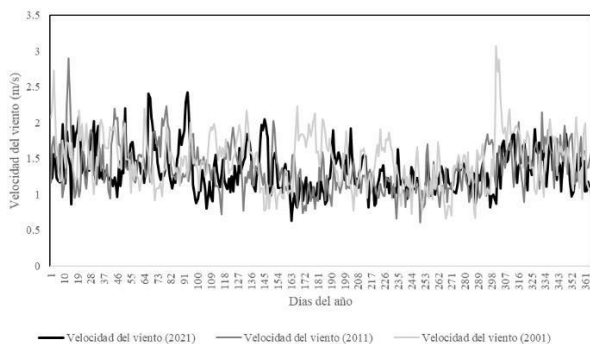


Figura 5- Velocidad del viento en subcuenca de río Ulúa.

En la figura 6, muestra el incremento de temperatura en la delimitación de la subcuenca de Ulúa. A partir de los datos simulados, en el cual se denota un cambio de temperatura hasta de un 1 °C aproximadamente en los últimos años, siendo el 2016 y el 2020 los años que mayor fue el incremento que se registró.

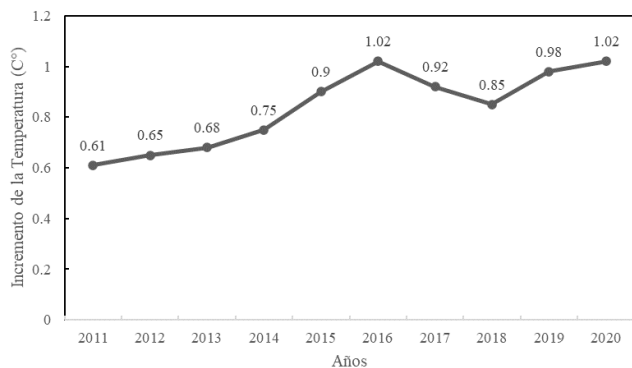


Figura 6- Aumento de temperatura en Subcuenca de Ulúa.

Modelación en WEAP

Con base en los datos adquiridos previamente en la recolección de datos, la modelación en WEAP estará sujeta a los derechos asignados en WEAP para las otras centrales están sujetos a la resolución 105 del año 1983 de la DGA, que estipula derechos mensuales de aprovechamiento de agua sobre el río Maule, obtenidos a 1550m aguas arriba de la bocatoma el Lirio del Canal Maule Sur. La distribución mensual de estos derechos se detalla en la tabla a continuación.

TABLA III
Distribución Mensual Resolución.

Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
80	40	40	40	4	60	140	180	200	200	180	120

El método utilizado es el planteado por [7] que menciona que se utiliza para la comparación de datos observados dentro de un

período de control. Contempla dos pasos, primero de la desagregación espacial de las variables climatológicas, que para el presente documento se estableció la temperatura y la precipitación que se concentra sobre el lugar.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el modelamiento hidrológico del río Ulúa se analizó el comportamiento histórico de las extracciones de la subcuenca del río Ulúa, en la información extraída se concluye que el caudal promedio mensual es de 0.42 m³/s, en la tabla a continuación, se muestra los caudales simulados que se muestran en la tabla IV.

TABLA IV
Caudales simulados

Mes	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Caudal Aportado (m ³ /s)	0.35653	0.254346	0.1859	0.138925	0.17518	0.21795	0.21322	0.41063	0.890938	0.907573	0.746469	0.560067
Caudal Total (m ³ /s)	0.35653	0.254346	0.1859	0.138925	0.17518	0.21795	0.21322	0.41063	0.890938	0.907573	0.746469	0.560067

En la figura 7, se muestra la delimitación de la microcuenca del río Ulúa, donde se tomaron los datos históricos para realizar las proyecciones de caudales en WEAP.

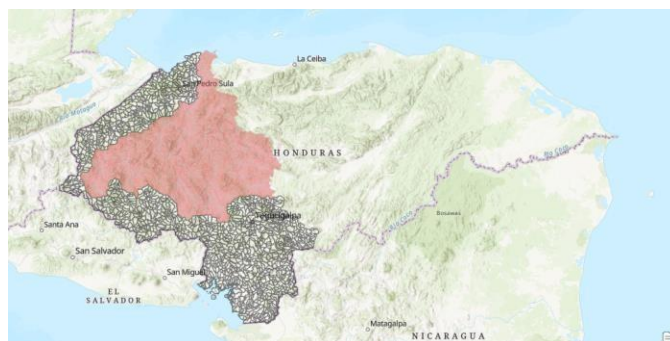


Figura 7- Delimitación de subcuenca de Ulúa.

El modelo en WEAP asigna la desagregación, los parámetros hidrológicos apropiadamente, considerando factores no solo de vegetación sino también geomorfológicos y geológicos, el modelo cuenta los caudales de cabecera simulados para proyecciones futuras del modelamiento de las unidades hidrológicas asignadas en WEAP.

En la figura 8 denota el comportamiento del caudal de cabecera, tomando como punto del sitio de demanda en el departamento de Santa Bárbara, mostrando un comportamiento que cada 4 años el caudal se reduce en 14% aproximadamente.

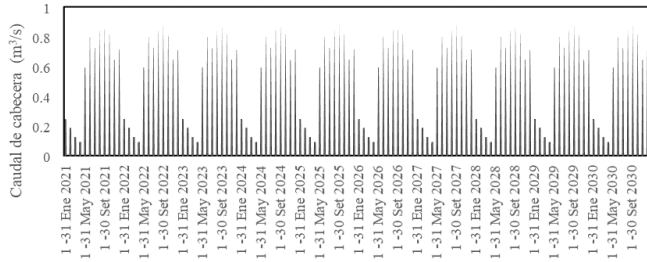


Figura 8- Caudal de cabecera en subcuenca de Ulúa.

En la figura 9 muestra el afluente de agua superficial de la subcuenca del río Ulúa a lo largo del año 2020, en la tendencia mostrado en el año 2020 se denota que el caudal se ve reducido en los meses que mayor temperatura se registra, que son los meses de verano en el sector hondureño.

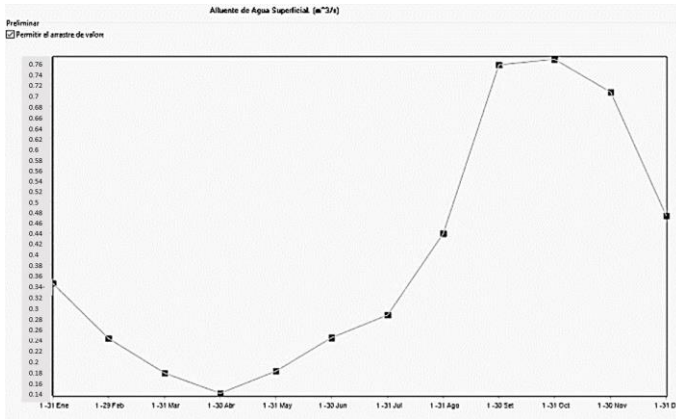


Figura 9- Caudales afluentes de la Subcuenca de Ulúa.

Con el aumento de temperatura que se proyectó a través de las simulaciones de un +/- 2 [°C] aproximadamente por año, podría llegar a reducir el caudal y por correspondiente reducir la capacidad de generación de energía del proyecto el tornillito en un 6% en los próximos años debido a los cambios climáticos que se proyectan en el sector.

En la figura 10 muestra los caudales afluentes de la subcuenca del río Ulúa, el cual el caudal va disminuyendo aproximadamente un 4% aproximadamente, de acuerdo con las proyecciones realizadas.

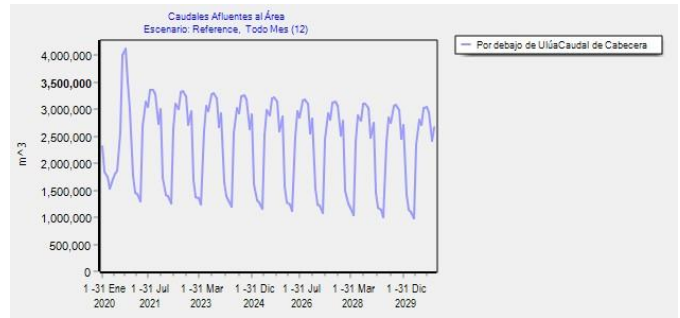


Figura 10- Afluente de área superficial.

Se puede realizar una comparación con los resultados obtenidos en el modelo WEAP con el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) tal y como se describe en la referencia [8].

IV. CONCLUSIONES

La investigación ha logrado cumplir con el objetivo general de denotar los efectos que se puede llegar a presentar en el clima a través de proyecciones realizados en WEAP, los efectos se muestran hasta el año 2030, dichas proyecciones se muestran con la regresión lineal de los datos meteorológicos históricos de la subcuenca del río Ulúa, de acuerdo con los resultados obtenidos se denotan las siguientes conclusiones:

- La subcuenca del río Ulúa se verá afectada negativamente durante los próximos años, en un +/- 2 [°C], el impacto es mínimo climatológicamente, pero afectará de manera significativa el embalse del proyecto el tornillito.
- El incremento de la temperatura puede llegar a reducir el rendimiento del proyecto el tornillito, debido a que el efecto del aumento de la temperatura en un +/- 2 [°C] puede reducir la generación de energía hidroeléctrica en un 6%
- Los caudales afluentes del área se pueden ver reducidos en un 5% cada 3 años debido a los cambios climáticos que se proyectan hasta el año 2030.
- Debido al incremento de temperatura el caudal de cabecera se reduce en 14% aproximadamente

No se cuenta con un registro preciso de ciertas variables hidrológicas, como son los caudales en determinados puntos del río Ulúa, la calidad del agua, ya que para realizar las proyecciones son parámetros de entrada que se requieren, además del porcentaje de cultivos permanentes el cual limita las proyecciones realizadas en WEAP, debido que son variables que no son ingresadas en el modelamiento estadístico que realiza WEAP.

REFERENCIAS

- [1] IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Ginebra, Suiza.
- [2] IPCC. (2018). Obtenido de <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>
- [3] Mideksa , T. K., & Kallbekken, S. (2010). *The impact of climate change on the electricity market: A review*. . doi:doi:10.1016/j.enpol.2010.02.035
- [4] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación (sexta ed.). México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.
- [5] MiAmbiente. (2022). Obtenido de <http://www.miambiente.gob.hn/>
- [6] Nasa. (2022). Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [7] Ayala, Á. I. (2011). . Impactos del Cambio Climático sobre la Operación del Sistema Hídrico de la Laguna Laja. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- [8] Nevárez-Favela, M. M., et al. (2021). Comparación de los modelos WEAP y SWAT en una cuenca de Oaxaca. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(1), 358–401. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-09>

ACKNOWLEDGEMENT

Para la modelación eficiente en WEAP se requiere de una cantidad considerable de datos como parámetros de entrada, el cual ayuda al modelo obtener una mayor comprensión del problema que se quiere llevar a cabo. El escenario que se quiere modelar debe de considerar la demanda como suministro de agua, pueden ser representados en WEAP de una manera flexible, permitiendo identificar el punto límite de interés aguas abajo del río a modelar de la cuenca.