



**FACULTAD DE POSTGRADO**

**TESIS DE POSTGRADO**

**ANÁLISIS DE LA POSIBLE DISMINUCIÓN EN LA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL PROYECTO  
HIDROELÉCTRICO PIEDRAS AMARILLAS “PATUCA III”  
ANTE LA INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS.**

**SUSTENTADO POR:**

**FANY SOBEIDA VILAFRANCA RIVERA**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

**TEGUCIGALPA, F.M., HONDURAS, C.A.**

**OCTUBRE 2016**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA  
UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**LUIS ORLANDO ZELAYA MEDRANO**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTINEZ MIRALDA**

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

**MARLON BREVÉ REYES**

**DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO**

**JOSÉ ARNOLDO SERMEÑO LIMA**

**ANÁLISIS DE LA POSIBLE DISMINUCIÓN EN LA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL PROYECTO  
HIDROELÉCTRICO PIEDRAS AMARILLAS “PATUCA III”  
ANTE LA INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**WILFREDO CESAR FLORES CASTRO**

**ASESOR TEMÁTICO**

**ASDRUBAL MAURICIO STANLEY NUÑEZ**

**MIEMBROS DE LA TERNA**

**JORGE CENTENO**

**MOISÉ STARKMAN**

**JUAN MARTÍN HERNÁNDEZ**



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

# **ANÁLISIS DE LA POSIBLE DISMINUCIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIEDRAS AMARILLAS “PATUCA III” ANTE LA INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS.**

**FANY SOBEIDA VILAFRANCA RIVERA**

### **Resumen**

El presente informe es un análisis sobre la posible disminución en la generación de energía hidroeléctrica ante escenarios de aumento de temperatura en 1 y 2°C en los años 2018 al 2032 en el proyecto hidroeléctrico Piedras Amarillas “Patuca III”, ubicado en Olancho a 5 Km debajo de la confluencia de los ríos Guayape y Guayambre, la cual aún no se encuentra construida y entrará en funcionamiento en marzo del 2018 y está diseñada para una potencia instalada de 104 Mega Watts(MW) y 326,000 MWh de generación hidroeléctrica promedio anual. Para el presente estudio se utilizaron variables climáticas como ser precipitación, caudal, evaporación, humedad relativa y temperatura de la estación meteorológica Cayetano, 2 Km aguas abajo del futuro sitio de la presa, las que fueron ingresadas al programa: Sistema de Evaluación y Planificación de agua(WEAP).

Palabras clave: Evaporación neta, precipitaciones, Temperatura, Kilowatt hora.



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

# **ANÁLISIS DE LA POSIBLE DISMINUCIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIEDRAS AMARILLAS “PATUCA III” ANTE LA INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS.**

**FANY SOBEIDA VILLAFRANCA RIVERA**

### **Abstract**

This present report is an analysis of the possible decrease in power generation in scenarios of temperature increase in 1 and 2 °C in the years 2018 to 2032 in the hydroelectric project *Piedras Amarillas "Patuca III"* located in Olancho 5 km below the confluence of the Guayape and Guayambre rivers, which is not yet built and become operational in March 2018 and is designed for an installed capacity of 104 Mega Watts (MW) and 326,000 MWh of hydroelectric generation to year. For this study climate variables, such as precipitation, flow, evaporation, relative humidity and temperature of the weather station Cayetano 2 Km downstream the future dam site was used, which they were admitted to the program Evaluation and Planning of water System (WEAP).

Keywords: Net evaporation, precipitation, Temperature, KiloWatt hour.

## **DEDICATORIA**

A DIOS POR DARME EL HONOR DE OBTENER EL PRESENTE TÍTULO DE POSTGRADO, A MI FAMILIA POR SIEMPRE CREER EN MÍ Y APOYARME, A MANUEL VILLAFRANCA POR SIEMPRE DARME PALABRAS DE ALIENTO, A AXA RIVERA POR SER UN APOYO INCONDICIONAL.

FANY SOBEIDA VILLAFRANCA RIVERA

## **AGRADECIMIENTO**

A NUESTRO PADRE CELESTIAL POR PERMITIRNOS TENER TAN HONORÍFICO GRADO ACADÉMICO, POR DARNOS ÁNIMO Y ALIENTO, APOYO Y ESTAR CON NOSOTROS EN LOS MOMENTOS MÁS DIFÍCILES Y POR SUPUESTO AYUDARNOS A CREER QUE SE PODÍA HACER.

A MIS PADRES, MANUEL VILLAFRANCA Y AXA RIVERA POR SU DEDICACIÓN PARA APOYARNOS EN TODO, A MIS HERMANOS POR AYUDARME, AL DOCTOR WILFREDO FLORES, POR SER UNA PERSONA RECTA, PULCRA Y MI ASESOR METODOLÓGICO, A MI ASESOR TEMÁTICO ASDRUBAL STANLEY POR SU IMPORTANTE COLABORACIÓN, AL DOCTOR EMILIANO PAZ POR SUS APORTES A ESTA INVESTIGACIÓN, AL CUERPO DOCENTE DE LA MAESTRÍA, A MIS COMPAÑEROS DE MAESTRÍA POR AYUDARME Y APOYARME, A LAS INSTITUCIONES PÚBLICAS QUE FUERON MUY AMABLES EN PROPORCIONAR LA INFORMACIÓN NECESARIA.

FANY SOBEIDA VILLAFRANCA RIVERA

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Antecedentes Del Problema .....	1
1.3 Definición Del Problema.....	3
1.3.1 Enunciado Del Problema.....	3
1.3.2 Formulación Del Problema .....	3
1.3.3 Preguntas De Investigación.....	3
1.4 Objetivos Del Proyecto .....	3
1.4.1 Objetivo General .....	3
1.4.2 Objetivos Específicos: .....	4
1.5 Justificación.....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 Análisis De La Situación Actual .....	6
2.1.1 Situación A Nivel Regional .....	6
2.1.2 Situación En Honduras .....	9
2.1.3 Análisis Del Micro Entorno .....	23
2.2 Teoría De Sustento .....	27
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
3.1 Congruencia Metodológica .....	37
3.1.1 Operacionalización De Las Variables .....	38
3.1.2 Hipótesis .....	39
3.2 Enfoque Y Métodos .....	39
3.3 Diseño De La Investigación .....	41

3.3.1 Población .....	41
3.3.2 Muestra .....	42
3.3.3 Unidad De Análisis .....	44
3.3.4 Unidad De Respuesta .....	46
3.4 Técnicas E Instrumentos Aplicados .....	47
3.4.1 Instrumentos .....	47
3.4.2 Técnicas(Encuestas, Entrevistas) .....	48
3.5 Fuentes De Información.....	48
3.6 Limitantes Del Estudio .....	48
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
5.1 Conclusiones .....	63
5.2 Recomendaciones.....	64
5.3 Trabajos Futuros.....	64
<b>CAPÍTULO VI APLICABILIDAD .....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CENAOS-El Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos

CEPAL-Comisión Económica Para América Latina y el Caribe

COPECO-Comité Permanente de Contingencias

DGRH-Dirección General de Recursos Hídricos

ENEE- Empresa Nacional de Energía Eléctrica

FHIS- Fondo Hondureño de Inversión Social

GEI- Gases de Efecto Invernadero

ha- hectáreas

IHCIT- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra

Kms- Kilómetros

KWh-Kilo Watt hora

m-metro

m<sup>3</sup>-metro cúbico

m<sup>3</sup>/seg-metro cúbico por segundo

mm-milímetros

SEI- Instituto Ambiental de Estocolmo

SMN-Servicio Meteorológico Nacional

WEAP-Sistema de evaluación y planificación del agua

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

ARIDEZ: Un desequilibrio en el ciclo hidrológico del agua en el cual se presentan menor cantidad de lluvias y mayores evaporaciones o hay un desbalance hidrológico, es un fenómeno manifestado por efectos del cambio climático o aumento de la temperatura (UNAH, 2012, p. 68) y (Marinero, Vargas y Geles, 2014, p.152).

EVAPOTRANSPIRACIÓN: la parte del ciclo hidrológico en la cual el agua llega a la atmósfera en forma de vapor, asimismo la transpiración es el agua en forma de vapor en la vegetación (GITS, 2007).

GIGAWATTS-HORA: Es la unidad de la energía en el orden de los millones de millones.

INDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL: Indica la presión sobre el recurso hídrico y es el cociente entre los requerimientos de la población y el potencial hídrico disponible («Domínguez et. al», s. f., p. 1)

KILOWATTS: Unidad de potencia Watts(W) en el orden de los miles.

KILOWATTS-HORA(KWh): Es la unidad de energía (Wh) en el orden de los miles.

MEGAWATTS(MW): La potencia Watts(W) en el orden de los millones, es la medida utilizada en la capacidad instalada por potencia en las plantas de generación.

METEOROLOGÍA: Es la ciencia que es parte de la física y estudia los parámetros climáticos necesarios para crear modelos matemáticos de predicción del clima, derrumbes, deslizamientos, radiación solar y para satisfacer las necesidades de la agricultura. Los parámetros climáticos son medidos mediante estaciones meteorológicas, las cuales tienen parcial o totalmente el equipo para medir las siguientes variables:

- “Temperatura ambiente
- Temperatura del suelo
- Humedad relativa
- Radiación solar
- Brillo solar
- Evaporación.
- Precipitación
- Presión atmosférica
- Viento dirección y fuerza” (IHCIT-UNAH, 2014)

WATTS(W): La unidad de potencia o la rapidez con la que se realiza un trabajo(Joule/segundo) (Carta, Calero, Colmenar y Castro, 2009).

WATTS-HORA(Wh): Es la unidad de energía utilizada en el sub sector eléctrico y es el producto o multiplicación entre la potencia en Watts(W) y el tiempo en horas(h).

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas inundables en Honduras según su relieve.....	15
Figura 2: Diagrama de almacenamiento de la precipitación.....	15
Figura 3: Mapa del corredor seco.....	16
Figura 4: Zonas de escasez de agua, 2010.....	17
Figura 5: Escenario uno, índice de aridez al 2015.....	18
Figura 6: Escenario dos, índice de aridez al 2015.....	18
Figura 7: Escenario tres, índice de aridez al 2015.....	19
Figura 8: Porcentaje total en disponibilidad de agua en Honduras, 2010.....	21
Figura 9: Vista desde arriba en forma tridimensional del futuro proyecto hidroeléctrico Patuca III.....	23
Figura 10: Ubicación del proyecto de patuca III, según la unidad Especial de Proyectos de Energía Renovable(UEPER).....	24
Figura 11: Partes físicas que intervienen en el sitio de la presa, Patuca III.....	25
Figura 12: Transcurso del agua en todas sus formas en el ciclo hidrológico.....	27
Figura 13: Ciclo hidrológico y la influencia del consumo de agua del hombre.....	28
Figura 14: Partes de una cuenca.....	29
Figura 15: Cuenca del río patuca.....	29
Figura 16. Río principal y parteaguas de una cuenca. ....	30
Figura 17: Evaporación, foto tomada en UNITEC, Tegucigalpa, Honduras, tomada en agosto del año 2016. ....	32
Figura 18. Evaporímetro.....	33
Figura 19: Esquema en WEAP®.....	36
Figura 20: Revisión de la literatura y aspectos más importantes para el enfoque y método de estudio.....	39
Figura 21. Diseño de la investigación.....	41
Figura 22. Estación hidrológica Cayetano.....	43
Figura 23. Precipitaciones(mm) medias, mínimas y máximas promedios mensuales, en los años 1973 al 2008, en la estación meteorológica Cayetano, en el río Patuca.....	44
Figura 24. Niveles de almacenamiento de agua de la presa, aguas arriba.....	45
Figura 25. Pasos del proceso llevado a cabo en WEAP® para la generación hidroeléctrica de los años 2017 al 2032, en los escenarios normal, pesimista y optimista, según los datos disponibles del diseño de Patuca III. ....	49

Figura 26. Ingreso del año base y años de escenario (2018 al 2032) .....	49
Figura 27. Variación del caudal mensual del sitio de la presa en metros cúbicos por segundo(m3/seg) en los años 2017 al 2032.....	50
Figura 28. Caudal máximo anual en metros cúbicos por segundo(m3/seg) a través de los años 1973 al 2010. ....	51
Figura 29. Ingreso de la denominación de los años 2018 al 2032 como: Muy seco, seco, normal, húmedo y muy húmedo. ....	53
Figura 30. Evaporaciones netas en los escenarios de referencia, optimista y pesimista para el ingreso de datos a WEAP®.....	54
Figura 31. Generación hidroeléctrica en WEAP®, con temperatura constante promedio anual de 25.4°C de los años 2018 al 2032(Ver ANEXO IV) .....	55
Figura 32. Generación hidroeléctrica en WEAP®, aumento de 1°C 25.4°C de los años 2018 al 2032(Ver ANEXO IV). ....	57
Figura 33. Porcentaje (%) de disminución de la generación hidroeléctrica al aumentar la Temperatura en 1°C a lo largo de los años 2018 al 2032.....	58
Figura 34. Variación del caudal anual del sitio de la presa proyectada en metros cúbicos por segundo(m3/seg) de los años 2018 al 2032.....	59
Figura 35. Generación hidroeléctrica en WEAP, aumento de 2°C de los años 2017 al 2032.....	59
Figura 36. Porcentaje (%) de disminución de la generación hidroeléctrica al aumentar la Temperatura en 2°C a lo largo de los años 2018 al 2032.....	60
Figura 37. Porcentajes de disminución de generación hidroeléctrica total de los años 2018 al 2032 de la Temperatura en 1 y 2°C.....	61
Figura 38. Distribución de estaciones meteorológicas automáticas en Honduras.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Promedio Anual de precipitación del mundo.....	7
Tabla 2: Escenarios de posibles aumentos de Temperatura en las regiones de Centroamérica y México en los años 2016 al 2035, 2045 al 2065 y 2018 al 2100.....	8
Tabla 3: Cantidad de estaciones meteorológicas por administración en Honduras.....	11
Tabla 4: Precipitación media anual por cuenca.....	12
Tabla 5: Nueva clasificación de cuencas propuestas para Honduras.....	13
Tabla 6: Datos climáticos promedios de Honduras.....	13
Tabla 7: Áreas inundables por departamento en Honduras.....	14
Tabla 8: Balance climático potencial anual.....	20
Tabla 9: Porcentaje de área en Kilómetros cuadrados de disponibilidad de agua.....	22
Tabla 10: Especificaciones del proyecto hidroeléctrico Patuca III.....	26
Tabla 11: Categorización del impacto ambiental por generación hídrica en Honduras.....	35
Tabla 12: Matriz de Congruencia Metodológica.....	37
Tabla 13: Operacionalización de las Variables.....	38
Tabla 14: Datos de latitud(Norte) y longitud(Oeste) en grados, minutos y segundos; elevaciones, ríos e intervalos de años de medición en la cuenca del río Patuca.....	43
Tabla 15: Datos de humedad relativa (%), Temperatura mensual(°C), lluvia(mm) y evaporación (mm) mensuales promedio de los años 1973 al 2006 en la estación meteorológica Cayetano.....	43
Tabla 16: Relación entre el volumen y la elevación del reservorio.....	46
Tabla 17: Especificaciones técnicas del diseño de la presa.....	46
Tabla 18: Represas públicas y privadas, con capacidad instalada o por instalar, mayor a 25 MW.....	47

Tabla 19: Denominación del tipo de año para la utilización del método del año agua en WEAP®.....	52
Tabla 20: Precipitaciones, caudal medio (1973-2008), evaporación media (1973-2006) y evaporaciones netas mensuales.....	54
Tabla 21: Generación hidroeléctrica total de los años 2018 al 2032, en los escenarios de precipitación(mm) alta, baja y media, bajo Temperatura constante y con elevaciones de 1 y 2°C.....	55
Tabla 22. Objetivos y resultados.....	56
Tabla 23. Producción de energía hidroeléctrica en disminución de los años 2018 al 2032 a distintos cambios de Temperatura.....	62
Tabla 24. Presupuesto nacional de la instalación y acondicionamiento de la red de estaciones meteorológicas automáticas en las 24 cuencas de Honduras.....	67

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 Introducción

La visión del presente estudio es generar información, utilizando una metodología con programa de planificación y evaluación del agua WEAP con el fin de proyectar el recurso hídrico futuro de los años 2018 al 2032 haciendo uso de variables climáticas como ser las precipitaciones en la clasificación de lluvia (UNAH-IHCIT, 2012, p. 21), evaporación, humedad relativa, caudal, y especificaciones técnicas de diseño del proyecto hidroeléctrico “Patuca III” ubicado en Olancho, cinco Kilómetros debajo de la confluencia de los ríos Guayape y Guayambre, a lo largo del río Patuca, el río principal de una de las cuencas más importantes de Honduras, la cuenca Patuca, de las 24 existentes.

El agua es un recurso natural insustituible (IANAS, 2016), indispensable para el desarrollo económico, materia prima para la generación hidroeléctrica. Honduras es caracterizado por tener un gran relieve, zonas muy montañosas y que pueden almacenar mucha agua, su potencial hídrico es muy alto, pero no del todo aprovechable.

Sin embargo, los efectos medioambientales que mayormente contribuyen al calentamiento global: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por parte de la expansión en el crecimiento poblacional del hombre, han afectado seriamente el comportamiento normal del ciclo hidrológico y Honduras no está exento de ello.

El presente estudio cuantificó la disminución de generación hidroeléctrica, producto de la disminución de las lluvias ante distintas elevaciones de temperatura de los años 2018, que es en el cual se pretende que el proyecto hidroeléctrico entre en operación, hasta el año 2032, utilizando datos registrados de los años 1973 al 2010, en la estación Cayetano, dos Kilómetros aguas arriba del sitio de la presa, los cuales fueron utilizados para el diseño del proyecto.

Cabe destacar que por ser un proyecto hidroeléctrico que está por entrar en operación, no se le ha hecho ningún tipo de estudios climatológicos, destacando así la importancia del estudio.

## 1.2 Antecedentes Del Problema

En el 2015 se presentó un estudio sobre la disponibilidad del recurso con respecto a la demanda y distribución en la cuenca Guadalquivir en España, del cual se observó que el recurso es mayormente utilizado en la agricultura (90%) por lo cual se tomaron en cuenta los llamados Valores Máximos de las Demandas de riego (VMDR) en distintos escenarios de cambio climático a futuro en los cuales los resultados arrojaron una próxima insatisfacción de agua en el consumo humano, aun manteniendo la misma demanda en los pobladores.

Del estudio antes mencionado, también se observa que, aunque se tengan fuertes restricciones para la mayor optimización en la utilización del agua, respetando los requerimientos medioambientales en el caudal ecológico y aplicando fuertes medidas de mitigación para contrarrestar el cambio climático a manera de obtener un desarrollo sostenible, siempre son escenarios críticos puesto que la población tiene una tendencia al crecimiento, el aumento de la tecnología y la producción implica un uso de agua cada vez mayor (Chávez, A y Gonzáles, D,2015).

El presente estudio tomó como referencia el estudio del río Sacramento, el principal abastecimiento de agua para la demanda de agua y la generación hidroeléctrica del estado de California de la cual se incluyeron para el estudio los embalses: Shasta, Oroville y Folsom, los cuales tienen potencia de generación instalada de 714, 644.25 y 198.72 MW respectivamente y según sus estudios, las áreas en las que se encuentran tendrán elevaciones de Temperatura entre los 1.5 y 6 °C, por lo que se crearon escenarios de 2, 4 y 6 °C, y de los cuales al aplicárseles un aumento de 6°C se obtuvo un déficit de generación hidroeléctrica de 9.43, 6.76 y 6.44% del año 2016 al 2064 respectivamente(Elmabrok, Y, 2015).

Asimismo, en el caso de la represa Adolfo López Mateos, mejor conocida como "El Infiernillo" en México construida entre Michoacán y Guerrero, puesta en operación en 1964, se le realizaron escenarios de aleatoriedad en los niveles del embalse a partir de los datos registrados en los que se creó una función matemática con la que se penalizan los derrames y déficit del recurso hídrico, una práctica usual en muchas hidroeléctricas en el mundo, por lo que, en cuanto a planificación se refiere, se puede en los costos de generación, compensar los derrames y los déficits del agua para la generación hidroeléctrica, en ese sentido es posible una disposición para crear **políticas de operación** para embalses de generación de energía eléctrica en el sub sector eléctrico (Arganis, M., Mendoza, R. Domínguez. y Carrizosa, E,2015).

## 1.3 Definición Del Problema

### 1.3.1 Enunciado del problema

El posible impacto en la cantidad de generación eléctrica en el proyecto hidroeléctrico “patuca III” en Olancho, departamento de Honduras, ante la elevación de la Temperatura en Honduras.

### 1.3.2 Formulación Del Problema

La región Centroamericana en especial Honduras, es una de las más afectadas por el cambio climático y de las más vulnerables, lo cual afecta directamente el ciclo hidrológico y consecuentemente el recurso hídrico disponible, la cual **es la materia prima para la generación hidroeléctrica** la cual tendrá una disminución debido al aumento de la temperatura o calentamiento global.

Asimismo, es necesario cuantificar esa disminución de generación eléctrica para el planteamiento de soluciones y tomarlo en cuenta en las planificaciones de este tipo de proyectos.

### 1.3.3 Preguntas De Investigación

¿Cuánto es la producción de energía hidroeléctrica a proyectar en los años 2018 al 2032?

¿Existirá una posible disminución en la generación de energía del proyecto hidroeléctrico al elevar la Temperatura en 1 y 2°C en los años 2018 al 2032 debido al cambio climático?

¿Se pueden proponer medidas para un mejor aprovechamiento del potencial hídrico disponible en Honduras?

## 1.4 Objetivos del Proyecto

### 1.4.1 Objetivo General

Analizar la posible disminución de la generación de energía eléctrica en el proyecto hidroeléctrico “Patuca III” ante de elevaciones de temperatura en distintos escenarios y en un determinado período de tiempo en años.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar escenarios de generación hidroeléctrica de bajas, medias y altas precipitaciones o lluvias en los años 2018 al 2032 con los cuales se obtenga la cantidad de generación hidroeléctrica
- Sensibilizar los anteriores escenarios ante elevaciones de temperatura de 1 y 2 °C para obtener el déficit de generación eléctrica en esos años.
- Plantear soluciones a la problemática de déficit de generación debido al cambio climático.

#### 1.5 Justificación

La incidencia del cambio climático en la calidad de vida de la humanidad es ahora una realidad; sus efectos; son implacables en la vida del ser humano y han sido muy discutidos entre la década de 1970 y 1980 como tema central del desarrollo sostenible.

Sin embargo, desde el punto de vista de la demanda se encontraron casos como el de Baja California Sur en Estados Unidos, en el cual el sistema agrícola había llegado a óptimas cifras de rendimiento agrícola, pero tuvo efectos adversos, como la degradación hídrica (Troyo et al., 2008), y el recurso hídrico disponible se redujo y detuvo **el desarrollo y la calidad de vida de las comunidades**, asimismo en los sectores de salud y educación.

En el presente estudio se toma en cuenta el **sector energético renovable hídrico** el cual está directamente relacionado a desarrollo del país y de las más importantes fuentes de generación eléctrica con **28% de potencia instalada de la matriz energética de Honduras** (ENEE, 2016) y en el mundo en un 20% (Flores, W, 2016). En Honduras, este tipo de generación eléctrica ha servido de respaldo para la energía solar, que por su forma de generación son vulnerables ante el medio ambiente.

Asimismo, Honduras tiene un potencial hidroeléctrico estimado de 5000 MW (Flores, W. et al, 2011), y actualmente se encuentran en operación 520 MW incluyendo la central hidroeléctrica Francisco Morazán de 300MW y muchas pequeñas centrales hidroeléctricas privadas (Flores, W., 2016). Sin embargo, Patuca III, II y II A forman un consorcio de potencia instalada **proyectada** de 524MW (Flores, W., 2016).

Aunque América Latina y el Caribe no son de los mayores aportantes de GEI, los cuales aportan al cambio climático, si son afectados en gran manera por fenómenos de inundación y sequías, de manera irregular (CEPAL, 2015<sup>a</sup>), por lo que predice una inestabilidad en la producción de energía hídrica, uno de los casos señalados es la cuenca del río Ulúa, la cual genera el 98% de la hidroelectricidad en Honduras y se vería afectada por la ausencia de lluvias(GWP,2015).

Se justifica la selección del proyecto Piedras Amarillas, ya que no se le ha hecho ningún tipo de estudio de generación hidroeléctrica a futuro, como por ejemplo en el Cajón y próximamente en Lago de Yojoa (Conde, M, 2016), posee la mayor cantidad de datos disponibles, además es una de las regiones que tiene y tendrá problemas con la sequía a lo largo de los años (UNAH-IHCIT, 2010). De las 24 cuencas que tiene Honduras, el proyecto hidroeléctrico se encuentra en la cuenca del río Patuca, **uno de los más importantes de Honduras**, además de la cuenca del río Ulúa y Coco Segovia (Carvajal, J., 2016).

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Análisis De La Situación Actual

#### 2.1.1 Situación A Nivel Regional

A pesar de que América Latina y el Caribe no son grandes aportantes de GEI, se ven afectados de manera desigual en la región por los grandes emisores (Estados Unidos, China) de Gases de Efecto Invernadero(GEI) de los cuales el dióxido de carbono es el mayor causante del cambio climático o las elevaciones de Temperatura que se han venido presentando a lo largo de los años.

Sin embargo, la región paradójicamente es una solución ante el cambio climático (CEPAL,2015) debido a su gran riqueza vegetal. La población de América Latina crece considerablemente pero también la región es caracterizada por una enorme desigualdad económica, tal como se cita:

Es común que en las tres ciudades principales de cada país se concentre más de una cuarta parte del PIB nacional, según datos de 2008 (ONU-Hábitat, 2012), Destacan además los casos de Santiago de Chile, Lima, Montevideo y Ciudad de Panamá, donde se llegaba a concentrar cerca del 50% del PIB de los países respectivos en 2008” (CEPAL,2015, p.39).

La pobreza, el aumento en el crecimiento poblacional y el aumento del desarrollo en las comunidades; son características de los países Latinoamericanos, los cuales, generan una mayor expansión en el hábitat, por lo cual, las emisiones de GEI aumentan, así como el calentamiento global y la Temperatura, a pesar de que en América Latina existe una disponibilidad de agua per cápita, la población padece de escasez de agua como se cita:

Dos tercios del territorio de la región son áridos o semiáridos lo cual incluye grandes zonas del centro y norte de México, noreste de Brasil, noroeste de Argentina, norte de Chile, y regiones de Bolivia y Perú. Se estima que en América Latina una cuarta parte de la población –más de 100 millones de personas– vive en zonas con estrés hídrico, principalmente en México, Argentina y los países ubicados a lo largo de la costa oeste del continente. PNUMA, 1999(Citado en IANAS, diagnóstico del agua en las Américas,2012).

Chile, Uruguay y Argentina cuentan con la cobertura por red de agua, más altos, los cuales están situados en América del Sur (IANAS, 2012)

**Tabla 1. Promedio Anual de precipitación en el mundo**

Cuadro 1. Promedio anual de precipitación en el mundo						
Región	Precipitación		Evapotranspiración		Precipitación efectiva	
	mm/año	km <sup>3</sup> /año	mm/año	km <sup>3</sup> /año	mm/año	km <sup>3</sup> /año
Europa	700	8	507	5.23	283	2.97
Asia	740	32	416	18.1	324	14.1
África	740	22	587	17.7	153	4.6
América del Norte	756	18	418	10.1	339	8.18
América del Sur	<b>1600</b>	28	910	16.2	685	12.2
Oceanía	791	7	511	4.57	280	2.51
Antártida	165	2	0	0	165	2.31
Total	800	119	485	71.9	315	46.87
* Rebouca, Aldo C. et al. "Aguas dulces en Brasil. São Paulo", Escrituras Editora, 1999.						

Fuente: (IANAS, Diagnóstico del agua en las Américas, 2012)

En la Tabla 1. se observa que América del Sur cuenta con la mayor precipitación, también, el agua está regida por las características propias de cada ecosistema y su participación en el ciclo del agua.

En cuanto a casos cercanos y muy similares a Honduras sobre el recurso hídrico y la utilización en la energía, Costa Rica hace su conteo de potencial hídrico por área y no por volumen, consecuentemente tienen un estrés hídrico bajo (5.1%), lo cual no lo hace planificar a futuro mediante gestión del recurso, lo que tiene consecuencias grandes pues no contabiliza la extracción del agua en acuíferos que alcanza niveles altos de 16% a 62.5% entre 1996 y 2000 (IANAS, diagnóstico del agua en las Américas, 2012, p. 230) por lo que, datos hidrológicos como caudal y humedad deben mejorarse.

**Guatemala es muy similar a Honduras en cuanto a sequías** por el fenómeno del niño y aun cuando sus períodos han terminado vuelven a aparecer, debido a los aumentos de temperatura en los mares, los ciclones tropicales se alcanzan con mayor facilidad (IANAS, diagnóstico del agua en las Américas, 2012, p.301), también mediante una gestión de riesgos que son de mayor implementación en el periodo post que ex-ante, se preparan para aliviar catástrofes, las cuales han dejado secuelas devastadoras como ser el huracán Mitch en 1998, que igualmente afectó a Honduras.

#### 2.1.1.1 El Cambio De Temperatura En El Mundo

El aumento del clima hará que el invierno sea menos frecuente en los continentes, que las regiones secas lo sean más y la precipitación se encarezca, sobre todo en los climas tropicales húmedos como en Honduras, asimismo el casi descongelamiento de la zona del Antártida antes del 2050 y el aumento del nivel de los océanos que debido a una mayor emisión de dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el gas de efecto invernadero que impacta mayormente en el calentamiento global produzca una mayor acidificación de ellos (CEPAL, 2015, p.18).

La elevación en la Temperatura es inevitable y en los escenarios uno, dos, tres y cuatro (optimista, medio, pesimista y muy pesimista) de la siguiente tabla se observa que aún con el mayor cuidado al medio ambiente, el evento es inevitable.

**Tabla 2. Escenarios de posibles aumentos de temperatura en las regiones de Centroamérica y México en los años 2016 al 2035, 2045 al 2065 y 2081 al 2100.**

Centroamérica y México									
			2016-2035		2045-2065		2081-2100		
Variable		Escenario	Media	Rango Probable	Media	Rango Probable	Media	Rango Probable	
<b>Cambio en la Temperatura</b>		1	0.7	0.5 a 1.3	1	0.6 a 1.9	1	0.4 a 2.1	
<b>media de la superficie</b>		2	0.9	1.4 a 1.3	1.5	1 a 2.4	1.9	1.2 a 3	
<b>(en grados Celsius)</b>		3	0.7	0.4 a 1.2	1.4	1.1 a 2.1	2.3	1.8 a 3.5	
		4	0.9	0.5 a 1.4	2.1	1.5 a 3	3.9	2.9 a 5.5	
<b>Precipitación</b>		1	0	-6 a 6	0	-9 a 6	0	--15 a 9	
<b>(En porcentaje)</b>		2	-1	-8 a 6	-2	-14 a 6	-2	-17 a 9	
		3	0	-4 a 7	-1	-15 a 5	-3	-17 a 5	
		4	-1	-11 a 6	-5	-14 a 7	-8	-26 a 11	

Fuente:(Elaboración propia a partir de los datos de CEPAL, 2015)

### 2.1.2 Situación En Honduras

En Honduras los frentes fríos se manifiestan entre los meses de noviembre a marzo y es en la costa norte por su relieve donde más llueve, también se presentan los ciclones tropicales de junio a noviembre(UNAH,2012)

Honduras se ve afectada por el fenómeno del Niño el cual da lugar a déficit de lluvias en la **zona sur, sur-Occidente, Oriente y Central** y se define como la presencia de aguas inusualmente cálidas en la zona de la Costa Occidental de Sudamérica que afecta la circulación de los vientos alisios, los cuales promueven las lluvias, asimismo tiene serios impactos económicos y naturales.

Sin embargo, el fenómeno de la "Niña" o fase fría es el proceso contrario el cual no presenta ciclones tropicales, más aún lluvias intensas, tales años se pueden definir como alternados (año: húmedo, muy húmedo, seco), dependiendo de la proporción de meses secos y húmedos y de apariciones sin una tendencia a la predicción (SEI, 2015).

la Zona de Inter convergencia Tropical en la zona sur de Honduras(ZIT) crea desde el sur del país una condensación del agua en forma de gas de manera desigual en Honduras, en la que los vientos alisios producen la lluvia en la franja del litoral pacífico y en junio empiezan a acarrear lluvia a otros lugares, lo que produce los frentes fríos que no llegan a Nacaome, (Carvajal, J., 2106)

También, el clima es muy variado y consecuentemente las precipitaciones, por lo que existen zonas con altas y bajas precipitaciones, pero, aunque en un lugar llueva abundantemente, es necesario tomar todas las consideraciones que afectan el ciclo hidrológico (permeabilidad de los suelos y su uso, temperatura,) (UNAH y IHCIT,2012)

Según, Duque y Jaramillo,2011; Dai,2011 (como se citó en la CEPAL,2015) "en Centroamérica los ríos muestran una tendencia a la sequía", también, Manuel Conde, Jefe de la Unidad de Hidrología de la ENEE afirma que se han hecho estudios por parte de la Organización Latinoamericana de energía (OLADE) en siete centrales hidroeléctricas a nivel centroamericano y ellos muestran que la represa hidroeléctrica Francisco Morazán en Honduras, más conocida como "El Cajón" tendrá a futuro producciones de energía hidroeléctrica afectadas por los aumentos de temperatura

Actualmente se está ejecutando un estudio para Lago de Yojoa que abastece varias centrales hidroeléctricas importantes en el país (Conde, M, 2016).

Honduras es afectado por eventos naturales debido a que la distribución de lluvias varía de norte a sur, en la que uno de sus factores predominantes es su relieve en el que el viento asciende al pie de las montañas, lo que conlleva a las precipitaciones y masas de aire cargadas de humedad y se calientan en su continuo descenso(norte-este), con precipitaciones de alrededor de 800mm, mientras que en el Caribe y pacífico son de 2500mm. (UNAH, 2012, p. 20).

La precipitación media en el país es mayor en comparación con la evapotranspiración (Avalos, R,2008). El valor promedio de la lluvia es de 1880 mm/año y la evapotranspiración potencial de 1315 mm/año, por lo que se considera un país con una alta humedad relativa en el ambiente y de alto potencial hídrico (Avalos, R, 2008).

La Asociación Mundial para el Agua (GWP,2015, p.8) establece que las tasas de aprovechamiento de agua es poca, en los sistemas de captación y represamiento (1880milímetros por año) y con gran variación en todo el año

Cabe destacar que "Honduras cuenta con una oferta total de 87,653 Millones de m<sup>3</sup>"(GWP,2015) y según (Domínguez, et. al, s.f, p.1), para que una población se encuentre en una situación de escasez de agua, debería de tener una oferta de 1000m<sup>3</sup>, por lo que la oferta total es 87 veces la que se necesita, es decir, aún con un crecimiento considerable en la población hondureña, no debería existir problemas de escasez, más sin embargo hay como en los casos observados una mala distribución del recurso, así como su aprovechamiento el cual se estima que es de un cinco por ciento.

Por lo tanto es importante estudiar los fenómenos climáticos que afectan a Honduras, para hacer una adecuada planificación del recurso y su aprovechamiento por lo que se puede estudiar: La presión en el recurso hídrico, la adaptación de la agricultura al cambio de estaciones y las sequías prolongadas y en el enfoque que se estudia , en el sector de energía hídrica, serían los posibles déficits energéticos debido a la posible disminución del recurso hídrico directamente afectadas por la temperatura(CEPAL, 2015, p.26)

### 2.1.2.1 Estaciones Hidrometeorológicas En Honduras

**Tabla 3. Cantidad de estaciones meteorológicas por administración en Honduras.**

Institución	No. De estaciones
Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA)	20
Servicio Meteorológico Nacional (SMN)	42
Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE)	128
Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA)	149
Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)	14
Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)	1
Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA)	1
Standard Fruit Company-DOLE	21
Instituto Hondureño del CAFÉ	5
Escuela Agrícola Panamericana Zamorano	1
División Municipal Ambiental de SPS	18
Estaciones de los países vecinos (SNET, INETER, INSIVUMET)	12
Estaciones hidrométricas y telemétricas	60
Sumatoria	472

Fuente:(GWP,2015, p.17(Citado de la actualización del balance hídrico nacional, fase 1).)

En la tabla anterior, se muestra, la cantidad de estaciones meteorológicas por institución en Honduras, las cuales, miden variables climáticas como: Temperatura, humedad relativa, evaporación, lluvia y caudal, por lo que se afirma que:

En algunas cuencas el número y ubicación de las estaciones representa razonablemente el patrón natural de las lluvias (Ulúa y Choluteca), sin embargo, otras cuencas presentan déficits debido a que no existen suficientes estaciones en su superficie (Aguan y Gracias a Dios), (GWP,2015, p.17).

También, en la búsqueda para la recolección de datos del presente estudio, se detectó que muchas estaciones meteorológicas en distintas cuencas, no llenaban los estándares de confiabilidad, asimismo, se observó una discontinuidad en sus mediciones.

**Tabla 4. Precipitación media anual por cuenca**

Cuenca	Km2	Promedio (mm/año)	Maximo (mm/año)	Minimo (mm/año)
Islas de la Bahía	229.68	1945.69	2441	1620.41
Cayos del Pacífico	126.99	2074.44	2278.38	1898.54
Laguna de Los Micos	348.54	2469.55	2860.38	1918.79
Río Aguán	10679	1631.32	2605.33	1039.71
Río Chamelecón	4174.9	1444.15	2519.82	1109.66
Río Choluteca	7575.6	1263.37	2345.48	999.74
Río Coco o Segovia	4899.5	1668.64	2560.27	1225.55
Río Coco o Segovia - Sur	419.49	1291.81	1426.4	1111.46
Río Cruta	1418.3	2330.51	2654.1	1823.27
Río Cuyamel	1143.8	1469.34	2435.24	1100.62
Río Goascorán	1730.7	1667.67	2124.29	1212.78
Río León	1156.3	2411.95	3086.63	1493.74
Río Lempa	5495.6	1619.59	2120.96	1197.88
Río Lis Lis	1167.5	2169.37	2587.12	1592.92
Río Motagua	1524.4	1390.04	1571.08	1267.93
Río Nacaome	2808.3	1570.53	2183.74	1152.21
Río Nakunta	3425	2252.2	2687.36	1676.59
Río Negro	937.87	1992.91	2312.61	1382.98
Río Patuca	26803	1491.89	2658.78	939.84
Río Platano	2841.3	1839.6	2279.49	1436.59
Río Sampire	593.11	2110.58	2306.2	1585.74
Río San Juan y Río Cuero	2139.6	2709.8	3125.81	1609.57
Río Sico	7769.9	1609.04	2316.08	1154.26
Río Ulua	22118	1447.72	2826.61	1046.92
Honduras	112,492.00	1599.95	3125.81	939.84

Fuente (Elaboración propia a partir de los datos de IHCIT-UNAH, 2014)

La Tabla 4. muestra, según el Informe del Estado del Ambiente (GEO, Honduras, 2014), se calcularon los promedios de las precipitaciones con 162 estaciones hidrometeoro lógicas, las cuales tienen un convenio entre la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y la Dirección General de recursos Hídricos en Honduras (DGRH)

La recolección de datos que se ejecutó para 30 años, tiempo en el cual los estudios de hidrología son confiables (FHIS, n.d). y se determinó que las precipitaciones media, altas y bajas eran de 1600, 3125 y 940 mm al año, de las que las primeras clasificaciones son comparables a América del Sur (Tabla. 1).

**Tabla 5. Nueva clasificación de cuencas propuestas para Honduras**

No.	Cuenca	Área(Km2)	No.	Cuenca	Área
1	Islas de la Bahía	229.68	15	Río Lempa	5495.6
2	Cangrejal	892.93	16	Río Lis-Lis	1167.5
3	Cayos del Pacífico	126.99	17	Río Motagua	1524.4
4	Cuero	318.51	18	Río Nacaome	2808.3
5	Laguna de los Micos	348.54	19	Río Nakunta	3425
6	Río Aguán	10679	20	Río negro	937.87
7	Río Chamelecón	4174.9	21	Río Patuca	26803
8	Río Choluteca	7575.6	22	Río perla	404.68
9	Río Coco y Segovia	4899.5	23	Río Plátano	2841.3
10	Río Coco o Segovia Sur	419.49	24	Río Sampire	593.11
11	Río Cruta	1418.3	25	Río san Juan	523.59
12	Río Cuyamel	1143.8	26	Río Sico	7769.9
13	Río Goascorán	1730.7	27	Río Ulúa	22118
14	Río Lean	1156.3			

Fuente:(Elaboración propia a partir de los datos de GWP,2015)

En la tabla 5. Se muestra otra clasificación de las cuencas de Honduras, la cual propone la Asociación Mundial del Agua (GWP, 2015).

**Tabla 6. Datos climáticos promedios de Honduras**

Zona	Temperatura máxima media(C)	Meses más secos	Meses más lluviosos	Humedad relativa(%)	Días con lluvias	Precipitación promedio
Zona de litoral	30	abril-mayo	Junio-Noviembre	82		anual (mm).
Atlántico					167	2643
Zona norte del interior	30	enero-abril	Junio-Noviembre	75	150	1128
Zona central	27.1	enero-abril	mayo-octubre	70	118	1004
Zona occidental mayor a 1400 mts	23	diciembre-marzo	mediados de abril a noviembre	76	160	1290
Zona occidental menor a 1400 mts	23	diciembre-abril	mayo a noviembre	76	144	1395
Zona Oriental	30.2	diciembre-abril	mayo a noviembre	74	153	1200
Zona Sur	34.4	diciembre-abril	mayo a octubre	66	102	1680

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de UNAH-IHCIT, 2014)

En la Tabla 6. Se muestran datos climáticos promedio de Honduras por regiones, se observa que la región más lluviosa es la del Litoral Atlántico seguida de la zona sur, debido a la Zona de Inter convergencia Tropical (ZIT).

#### 2.1.2.2 Zonas Inundables en Honduras

**Tabla 7. Áreas inundables por departamento en Honduras**

No	Departamento	Área total	Área de inundación	Porcentaje de área inundable
1	Atlántida	4362.7	1316.96	30.2
2	Colón	8237.83	1727.02	21
3	Comayagua	5120.78	135.43	2.6
4	Copán	3239.66	72.96	2.3
5	Cortez	3911.11	620.28	15.9
6	Choluteca	4397.56	1019.26	23.2
7	El Paraíso	7383.85	201.39	2.7
8	Francisco Morazán	8580.87	189.23	2.2
9	Gracias a Dios	16156.27	8303.37	51.4
10	Intibucá	3126.81	44.03	1.4
11	Islas de la Bahía	229.68	0	0
12	La Paz	2534.51	29.89	1.2
13	Lempira	4285.7	38.29	0.9
14	Ocatepeque	1639	25.7	1.6
15	Olancho	23997.35	1605.15	6.7
16	Santa Bárbara	5013.35	133.31	2.7
17	Valle	1618.25	431	26.6
18	Yoro	7827.9	754.4	9.6

Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de UNAH,2012)

Los departamentos más susceptibles a la inundación son Gracias a Dios, Atlántida y Valle. Asimismo, el territorio inundable en Honduras es del 12%(UNAH,2012).

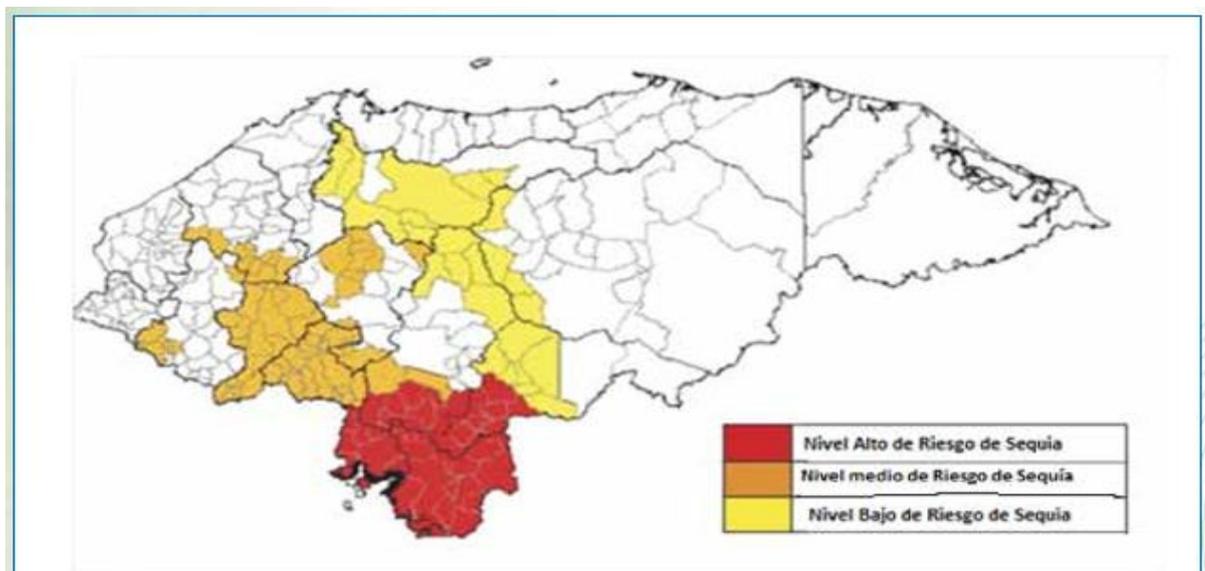
También se observa que la zona de Olancho no es una de las áreas con mayor porcentaje de inundación según su topografía, como se muestra en la tabla 7.



### 2.1.2.3 Sequia

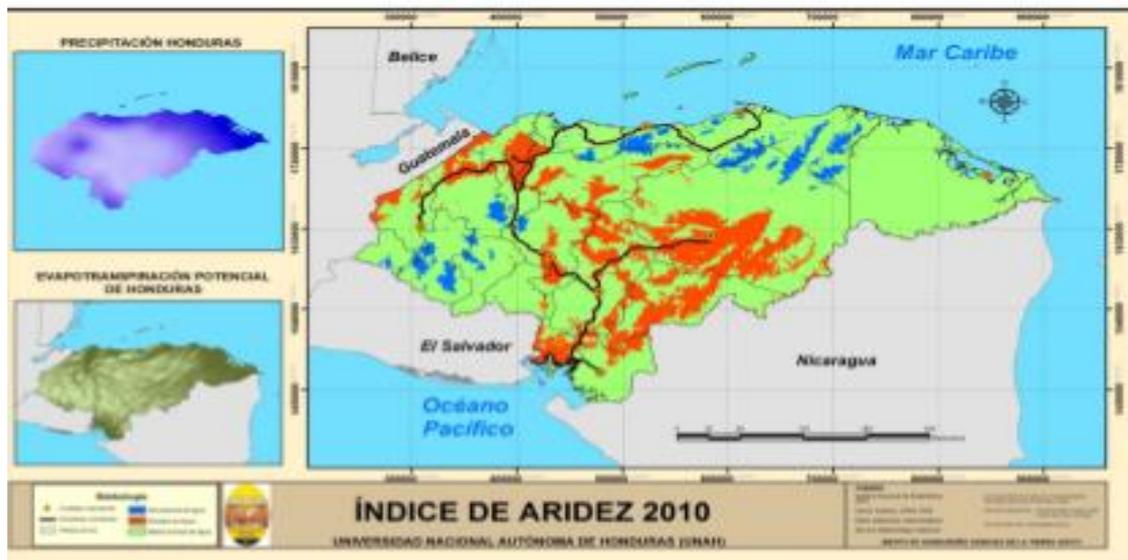
Existen dos tipos de sequía en Honduras: las que son causadas por el fenómeno del niño(ENOS) “Como las que acontecieron en 1982-1983, 1997-1998, 2001-2002 y 2005” (GEO, Honduras,2014, p.124) debido al cambio climático y las que son provocadas por la mala gestión del recurso hídrico, porque se utiliza de una manera indiscriminada, no planificada y **por no contar con políticas regulatorias**.

Una de las causas de las sequías es el desarrollo humano, en el caso de Honduras, el proyecto denominado “El Corredor Seco”, el cual abarca los departamentos de “Choluteca, Valle, La Paz, El Paraíso, Francisco Morazán, Intibucá, Lempira y parcialmente los departamentos de Comayagua, Santa Bárbara, Yoro y Olancho” (GEO, Honduras, 2014, p. 125), afectando lo que sería la zona de construcción del proyecto hidroeléctrico “Patuca III”.



**Figura 3. Mapa del corredor seco**

Fuente (Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y sequía (GIZ, MIAMBIENTE,2006. Citado en GEO,2014, p. 125)



**Figura 4. Zonas de escasez de agua, 2010.**

Fuente: (UNAH-IHCIT,2012)

En la figura 4. Se muestra el mapa de Honduras y las zonas de color rojo y con escasez de agua las cuales son en su mayor porcentaje: Valle, El Paraíso, Cortez, Francisco Morazán, Olancho, Yoro, también es preocupante que en Francisco Morazán exista un índice de aridez alto tomando en cuenta que en él departamento se encuentra la mayor concentración de personas en el país.

Asimismo, se encuentra una de las más importantes proyectos hidroeléctricas como ser la represa hidroeléctrica Francisco Morazán mejor conocida como “el Cajón” el cual tiene una potencia instalada de 300MW.



**Figura 5. Escenario 1. Índice de aridez al 2015.**

Fuente: (UNAH-IHCIT,2012).

En la Figura 5. Se muestra el mapa con un escenario de desarrollo en las localidades, los niveles de crecimiento en la población son constantes y crecientes, asimismo, tiene un crecimiento económico per cápita modesto, así como los cambios tecnológicos.



**Figura 6. Escenario 2. Índice de Aridez al 2025.**

Fuente: (UNAH-IHCIT, 2012).

El segundo escenario de la figura 6. se describe como heterogéneo, en el cual las sociedades preservan su cultura e identidad, crecen de manera media en lo económico y posteriormente crecen constante, continuamente **y de una manera menor a al primer escenario.**



**Figura 7. Escenario 3. Índice de Aridez al 2050.**

Fuente (UNAH,2012).

En general, en los dos primeros escenarios no hay mucha variación en el índice de aridez. En un escenario proyectado para el 2050, como en la figura 7., más del 90% del área del país se verá afectada por la sequía.

Es recomendable tomar en cuenta estos factores y crear medidas de mitigación y **adaptación al cambio climático**, en ese sentido, tener en cuenta la planificación ante las posibles pérdidas de generación hidroeléctrica en los proyectos.

#### 2.1.2.4 Disponibilidad del Agua

##### Balance Climático Potencial

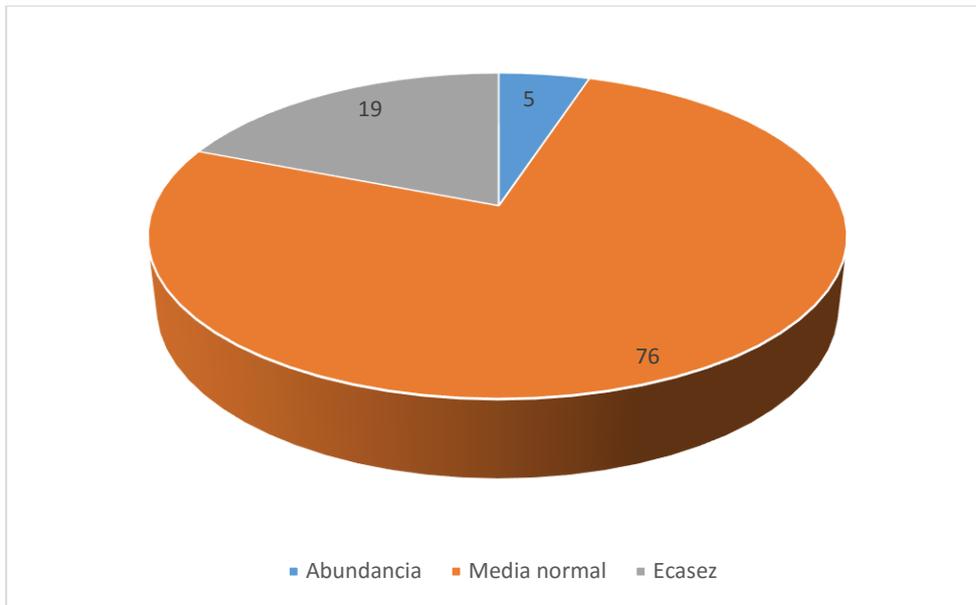
Se define el balance climático potencial como la diferencia entre las precipitaciones(mm) y la evapotranspiración en milímetros(mm) (GWP,2015, p.), o como la precipitación efectiva, la disponibilidad de agua, más no necesariamente la aprovechada y/o uniformemente distribuida para la población.

**Tabla 8. Balance climático potencial anual**

Mes	Comportamiento
Enero	El comportamiento muestra que para la zona del litoral atlántico, existe un superávit, mientras que el resto del país presenta un déficit del agua.
Febrero	Este mes presenta el mismo comportamiento que en enero.
Marzo	Únicamente las cuencas del río Lean, río San Juan y río Cuero presentan un superávit, mientras que el resto del país presenta un déficit.
Abril	Todo el país presenta un potencial déficit del recurso.
Mayo	Las cuencas del litoral del pacífico y parte del oriente del país (río Nakunta y Cruta) comienzan a tener un balance climático positivo.
Junio	De acuerdo al comportamiento de la precipitación, para este mes todo el país presenta un superávit de agua, siendo las cuencas del litoral del pacífico las que presentan los valores más altos, junto a la microcuenca del Lago de Yojoa.
Julio	El período de la canícula se observa para la región centro-sur, por lo cual la cuenca del río Choluteca y zona centro-sur del país exhiben un déficit en su balance climático potencial.
Agosto	El déficit de agua únicamente se presenta en la región central del país y los rangos alcanzan valores de hasta 230 mm en la región sur de Choluteca, parte de la cuenca del río Lempa microcuenca del Lago de Yojoa.
Septiembre	Este mes presenta los valores más altos de hasta 360 mm, principalmente en las cuencas del litoral del pacífico, pero siempre todo el territorio cuenta con un balance climático de valores positivos.
Octubre	Los valores máximos durante este mes alcanzan los 315 mm en el litoral atlántico, mientras que los valores mas bajos se encuentran en la region central.
Noviembre	Este mes posee los rangos más altos que van hasta los 440 mm en el litoral atlántico, mientras que la región central, occidente y sur del país presentan déficit del recurso.
Diciembre	El comportamiento del mes anterior se replica en este mes, sin embargo los valores máximos alcanza los 330 mm y, la microcuenca del lago de Yojoa presenta áreas de déficit.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de (UNAH- IHCIT,2014)

En la tabla 8. se observan las características del balance climático potencial mensual, en las cuales presenta un balance climático positivo o superávit en las cuencas y es la diferencia de la precipitación y la evapotranspiración, cuando se presentan déficit en el balance climático es decir hay más evapotranspiración que lluvia, lo cual se traduce en sequía o aridez, puede ocurrir sólo uno de ellos (abril, junio y septiembre) o los dos simultáneamente en distintas zonas del país.



**Figura 8. Porcentaje total de disponibilidad de agua en Honduras,2010**

Fuente: (Elaboración propia a partir de los datos de UNAH-IHCIT,2012)

En general el porcentaje de disponibilidad de agua promedio de Honduras se cuantifica como el 76% en la media normal, 19% en la escasez y 5% en la abundancia del recurso, pero como se observa anteriormente, el recurso hídrico tendrá una tendencia a la escasez (Figura 7).

**Tabla 9. Porcentaje de área en Kilómetros cuadrados con disponibilidad de agua.**

No.	Departamento	Área	Disponibilidad de agua(Km2)			Porcentaje de área con disponibilidad de agua (%)		
			Abundancia	Media	Escasez	Abundancia	Media	Escasez
1	Atlántida	4288.96	699.59	3589.37	0	16.31	83.69	0
2	Colón	8184.85	1649.19	6535.66	0	20.15	79.85	0
3	Comayagua	5120.78	148.54	3769.16	1203.07	2.9	73.61	23.49
4	Copán	3220.85	0.08	2614.35	606.41	0	81.17	18.83
5	Cortez	3885.17	50.54	2316.83	1517.8	1.3	59.63	39.07
6	Choluteca	4531.9	0	3596.21	755.7	0	82.64	17.36
7	El Paraíso	7375.63	0	4142.3	3233.34	0	56.16	43.84
8	Francisco	8580.83	0	5991.52	2589.31	0	69.82	30.18
9	Gracias a	15633.41	114	15519.41	0	0.73	99.27	0
10	Intibucá	3124	243.56	2871.76	8.69	7.8	91.93	0.28
11	Islas de la	200.23	0	200.23	0	0	100	0
12	La Paz	2534.01	4.85	2369	160.16	0.19	93.49	6.32
13	Lempira	4284.83	872.28	3412.08	0.47	20.36	79.63	0.01
14	Ocotepeque	1628.87	208.37	1420.39	0.12	12.79	87.2	0.01
15	Olancho	23991.54	791.56	16149.93	7050.05	3.3	67.32	23.39
16	Santa Bárbara	4987.07	385.15	3650.04	948.88	7.73	73.23	19.04
17	Valle	1554.65	0	556.87	997.78	0	35.82	64.18
18	Yoro	7827.89	212.92	5469.08	2145.9	2.72	68.87	27.41

Fuente:( UNAH,2012)

En la Tabla 9. Se muestra que los departamentos con mayor porcentaje de escasez en el agua son: Valle (64.18%), El Paraíso (43.84%), Cortez (39.07%), Francisco Morazán (30.18%), Yoro (27.41%), Comayagua (23.49%) y Olancho (23.39%).

### 2.1.3 Análisis Del Micro Entorno

Para el presente estudio, se seleccionó la cuenca del río Patuca que alimentará la represa hidroeléctrica "Patuca III", ya que se hicieron investigaciones en la unidad de hidrología de la ENEE y se constató que la represa es la única que no ha tenido estudios de los efectos del clima sobre la generación hidroeléctrica y es el proyecto hidroeléctrico que cuenta con mayor cantidad de datos disponibles (Conde, M., 2016).

**Figura 9. Vista desde arriba, en forma tridimensional del futuro proyecto hidroeléctrico Patuca III.**



Fuente (SINOHYDRO, 2011)

Una simulación de cómo se verá la estructura en su totalidad, se puede observar en la figura 9, la represa no ha sido terminada en su construcción y actualmente solo está hecha "la cortina" o la estructura de retención del embalse.

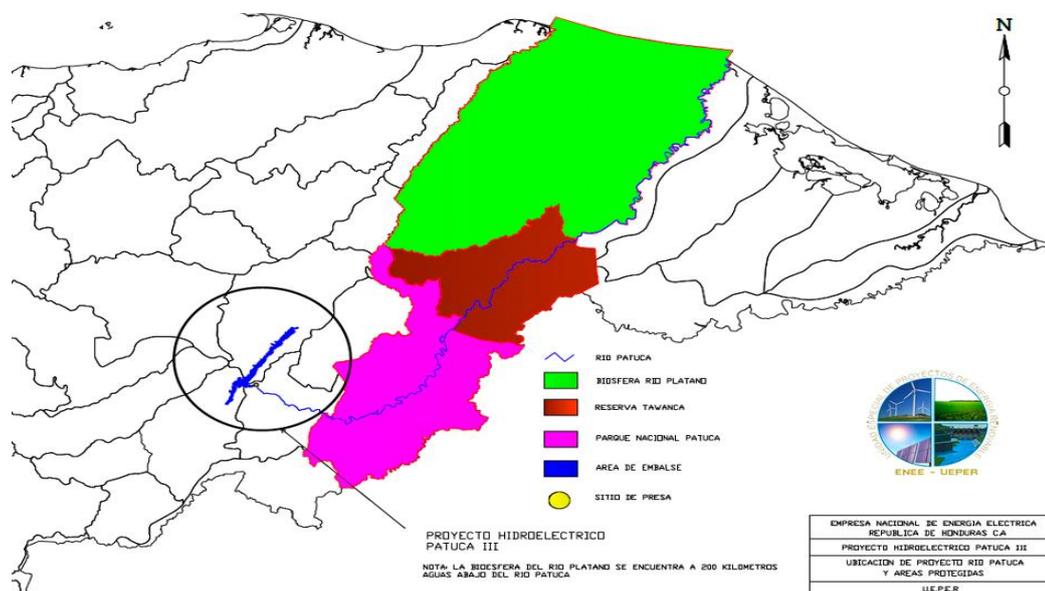
#### 2.1.3.1 Características Del Proyecto

El proyecto Patuca III o Piedras Amarillas se ubica en la zona Oriental de Honduras, principalmente en Olancho, entre los municipios de Catacamas y Patuca, conformado por los ríos de Guayape-Guayambre, a unos 5 Km de su confluencia, aguas abajo.

El proyecto generará un promedio anual de energía de 326 GWh y en la de medida en la que se factura la energía eléctrica en Honduras: 326 millones de KiloWatt hora(KWh).

Tiene planificada una capacidad de potencia instalada de 104 MW, está diseñado con un embalse estacional o de regulación de caudal mediante un hidrograma o secuencia de tiempo de caudales (ENEE, 2016) y con coordenadas satelitales: 14°26'50.3"N 85°57'36.4"W (Google, 2016).

**Figura 10. Ubicación del proyecto de Patuca III, según la Unidad Especial de Proyectos de Energía Renovable(UEPER)**



Fuente: (ENEE b, 2016)

La compañía de Energía Eléctrica de Honduras, empresa contratada para los servicios de Construcción, abastecimiento e ingeniería o Engineering procurement and Construction (EPC) por sus siglas en inglés, obtuvo el primer contrato de construcción en esa modalidad, concebido en Honduras por la empresa de diversos servicios SINOHYDRO la cual tiene sede en Pekín, China y varias partes del mundo (ENEE b, 2016), (acciona, n.d) y (BNA, n.d)

A inicios del 2011, el proyecto había sido concebido para un periodo de construcción de 3 años e inauguración el 2014, pero luego se cambió el periodo a uno más realista de 4 años, y tienen una fecha de inauguración proyectada para marzo del 2018(SINOHYDRO, 2011).

Figura 11. Partes físicas que intervienen en el sitio de la presa, Patuca III



Fuente (SINOHYDRO, 2011)

En la figura 11.se muestran las partes físicas que conforman el proyecto, entre sus partes más importantes se tiene: Los ríos que lo alimentan (Guayape y Guayambre), la zona donde confluyen, la ubicación de la estación meteorológica Cayetano y el sitio de la presa.

**Tabla 10. Especificaciones del proyecto hidroeléctrico, Patuca III**

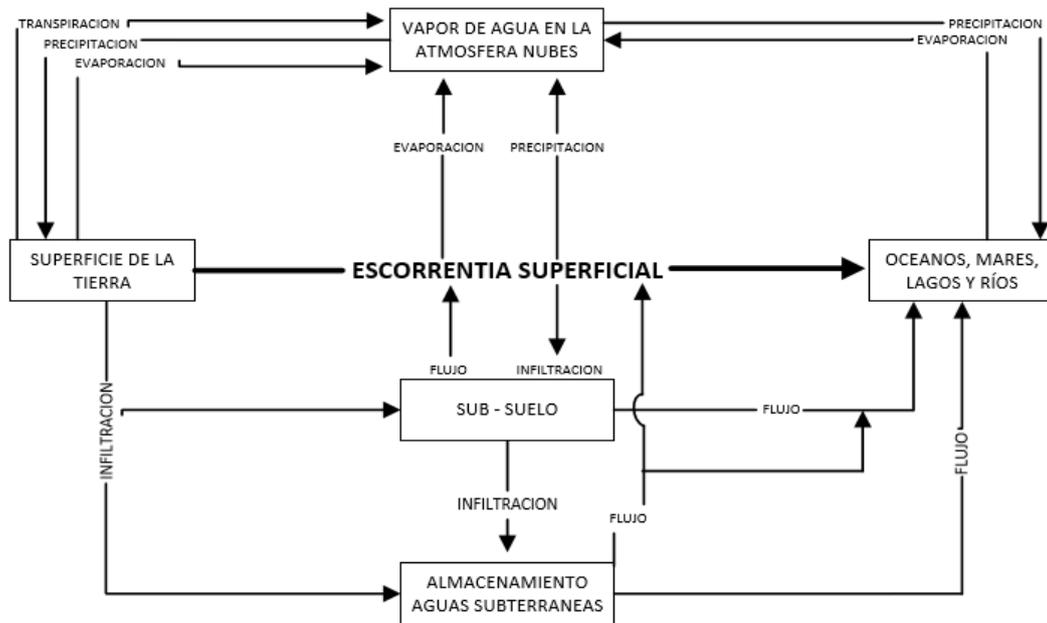
Número de Turbinas	2
Capacidad Normal de Turbina	52 MW
Capacidad Normal del Generador F. P	65 MVA
Transformador, número K.v.	50/60 MVA
longitud de línea de transmisión, km; No. De circuitos	47 km
Capacidad entregada (Juticalpa)	104 W
Energía promedio anual entregada, (Juticalpa),	326 GWh/año
Factor de Plata	38
Capacidad total de embalse	1200 m3
Ríos	Guayape y Guayambre Los cuales forman el rio Patuca
Sitio de Presa	Piedras Amarillas
Departamento	Olancho
Municipio	Patuca
Ciudad más cercana	Juticalpa, Catacarnas, Danlí
Aldeas más cercanas	Terrero Blanco, Santo Domingo, Las Flores, Las Planchas y Las Mangas
Acceso kms	Tegucigalpa-Danlí:92km Danli-Patuca:101km Juticalpa-Patuca:40krm Catacarnas-Patuca: 90 km
Coordenadas	14° N, 85° W
Coordenadas UTM	1,596,940 N y 611,450 E
Área de Drenaje	12,300 km2
Carga Total Anual de Sedimentos	12,000,000 m3
Cota Máxima Normal del Embalse, (m)	290
Área del Superficie del Embalse	51 km2
Tipo de Presa	Represa de concreto por gravedad RCC
Altura de Presa	57 m
Cota de Cresta de Presa, m	293.5
Compuertas de Descarga de Fondo	260 m y dimensiones 5.5 m x 6 m
Caída Total Bruta, m	42.41
Caudal de la Central	270 rn3/s
Tipo de Turbina	Kaplan de Eje Vertical

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de la ENEE b, 2016)

## 2.2 Teoría de Sustento

### 2.2.1 El Ciclo Del Agua

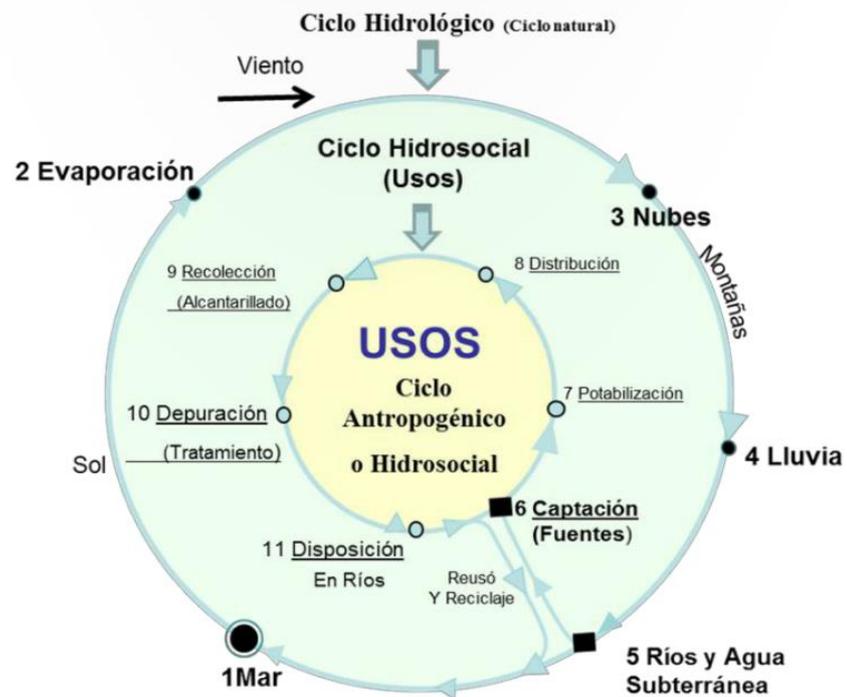
Es el agua presentada a través de todas sus formas físicas: Precipitación, condensación, lluvia de precipitaciones, lluvia de escorrentía o caudal y granizo (FHIS, n.d)



**Figura 12. Transcurso del agua en todas sus formas en el ciclo hidrológico.**

Fuente: (Elaboración propia a partir de datos del FHIS, s. f)

En la figura 12. se presenta el transcurso del agua en todas sus formas, se observa que el agua llega a la atmósfera mediante la transpiración de las plantas y la evaporación pero vuelve a la superficie terrestre mediante la lluvia y se mantiene en ella mediante el caudal o escorrentía pero no de manera neta puesto que una parte del agua se infiltra y dependiendo del tipo de suelo lo satura, lo que conlleva al almacenamiento de las aguas subterráneas, en las que parte de ella se transporta a los océanos, mares, lagos y ríos; todo lo anterior se repite de manera cíclica formando lo que se conoce como el balance hídrico o lo que es lo mismo la cantidad de agua de entrada de agua y cantidad de agua de salida es la suma de la cantidad de agua total.



**Figura 13. Ciclo Hidrológico y la influencia del consumo del hombre.**

Fuente: (Ochoa, R.,2013)

Como se observa en la figura 13., el ciclo hidrológico viene influenciado por el uso del agua del hombre, el cual los programas de gestión del recurso toman en cuenta demanda y flujo de retorno del agua, como parte del balance hídrico (SEI, 2015), y el presente estudio no tiene como objetivo de estudio.

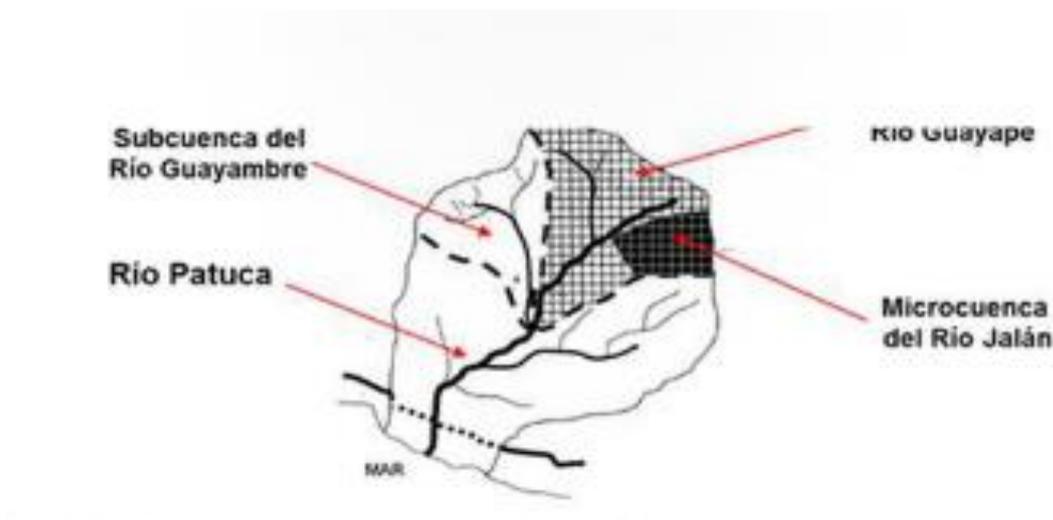
### 2.2.2 Cuenca

Es un sistema hidrológico, que se define en un área o superficie, por un parte aguas (punta de cerros) o curva de elevación más alta y sirve como colector de precipitación de escorrentía la cual desemboca en un único sitio, el río principal (Ochoa, 2013).



**Figura 14. Partes de una cuenca**

Fuente (Ochoa, 2013)



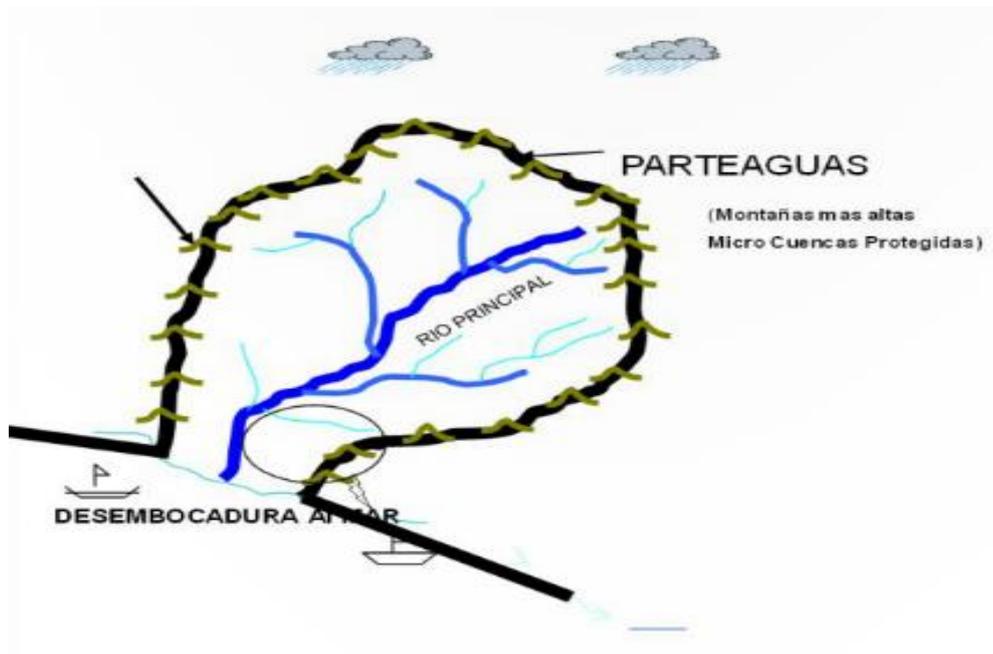
**Figura 15. Cuenca del río patuca**

Fuente (Ochoa, 2013)

Las cuencas están constituidas por río principal (en este caso Patuca), en el cuál confluyen todos los ríos y sub cuencas (cuenca de una cuenca).

También el río principal tiene la elevación(altura) más baja a lo largo de su trayectoria, las cuencas están caracterizadas por tener una pendiente de cuenca, en el presente estudio empieza desde la confluencia de los ríos Guayape y Guayambre.

Asimismo, se pueden clasificar por parte alta (cabecera del río principal), cuenca media (elevación de estudio) y cuenca baja (la menor elevación).



**Figura 16. Río principal y parteaguas de una cuenca**

Fuente: (Ochoa, 2013)

En la figura 16. Se muestra el río principal y se define como como el escurrimiento de las precipitaciones de las lluvias hacia un cauce (río principal), que sigue la topografía descendiente desde su perímetro hasta la zona más baja donde escurre, en la cual, el agua que circula tiene como destino el mar (Ochoa, 2013)

También es en la desembocadura del agua que se combina los arroyos y se concentra en surcos, irregularidades en la superficie terrestre o depresiones, el agua que llega a los ríos es parte del ciclo hidrológico y las precipitaciones, a las cuales se les deduce la evaporación y el agua que absorbe el ambiente, por ejemplo, la vegetación, la cual, recoge la lluvia o precipitación de la escorrentía o el caudal (Andia, A., Yugar, W.,2009)

El parteaguas o división de aguas: Es una línea equipotencial misma medida de alturas) y que sirve de “línea divisoria” para demás cuencas y sub cuencas, la cual no es única y pueden existir varias.

### 2.2.3 Precipitación

Es la caída y llegada al suelo de cualquier forma de humedad como ser niebla, agua, hielo (GITS,2007). Las precipitaciones se clasifican en: precipitación máxima de 24 horas y precipitación de corta duración por ejemplo por cada 5 minutos, **mensuales y anuales en su promedio**, a lo que se llama intensidad de precipitación, de corta o larga duración(GITS,2007), un ejemplo son los milímetros/segundo(mm/seg).

Su medición se hace en estaciones pluviométricas mediante un aparato llamado pluviómetro(probeta) y pluviógrafo (Registro de gráficos) (**VER ANEXO I**), en la que se toma en algunos casos la mayor de las mediciones en milímetros de agua(mm)

En este caso sólo se tomarán en cuenta las gotas de lluvia de forma laminar, aunque teóricamente se habla del diámetro de la gota de agua, las medidas son de longitud en milímetros(mm), asimismo la precipitación es influenciada por la superficie de llegada como ser la vegetación y la permeabilidad del suelo.

También, son los milímetros(mm) por metro cuadrado(m<sup>2</sup>), es decir 5 mm de lluvia almacenada son 5 litros por metro cuadrado o bien en una Hectárea de terreno han caído 50 metros cúbicos de agua, en todos los casos anteriores asumiendo que el terreno es impermeable (GITS,2007) y (UNAH,2012)

También, es todo tipo de humedad que llega a la tierra en forma de agua, vapor, granizo o nieve, se mide en estaciones meteorológicas mediante pluviómetros, en los que se mide la longitud de la lámina de agua “que se acumulara si la precipitación permaneciere donde cayó” (Andia, et. al, 2009)

#### 2.2.4 Evaporación



**Figura 17. Evaporación, foto tomada en la Universidad Tecnológica Centroamericana(UNITEC), Tegucigalpa, Honduras, agosto del año 2016**

Fuente: (Propia)

Es la diferencia o resta entre el agua que cae desde el proceso de condensación y la que llega hasta la superficie terrestre o el agua que “desaparece”, se origina por la radiación solar, la cual aumenta la temperatura del agua, hielo o vapor y hace que las moléculas de agua se mantengan en movimiento y se separen hasta obtener un mayor volumen, es medida principalmente por milímetros de agua al día(mm/día) y milímetros de agua al mes (mm/mes).



**Figura 18. Evaporímetro en el Comité Permanente de Contingencias(COPECO), sede de El Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos(CENAOS), antes, el Servicio Meteorológico Nacional(SMN), Tegucigalpa, Honduras, tomada en agosto del año 2016.**

Fuente: (Propia)

Los métodos para medir la evaporación son el balance hídrico mediante, mediciones meteorológicas en estaciones con evaporímetros(Figura.18).

La evaporación neta es la diferencia o resta entre la evaporación(mm) y precipitación en milímetros(mm) de agua por metro cuadrado(m<sup>2</sup>), un número negativo del resultado indica un exceso de agua (SEI, 2015)

La evapotranspiración es la humedad que llega a la atmosfera por la evaporación y la transpiración de las plantas.

#### 2.2.5 Caudal

También se le llama escurrimiento o gasto (m<sup>3</sup>/seg, Hm<sup>3</sup>/año, m<sup>3</sup>/mes), donde m<sup>3</sup>: metros cúbicos de agua(volumen).

Se define como el escurrimiento superficial o el que recorre la superficie de un cauce de agua y que no se infiltra, la base del agua de los ríos es el escurrimiento subterráneo y sub superficial (el que se infiltra en la primera capa de la tierra o su saturación) (Andia, et.al, 2009).

También se denomina escurrimiento, al agua que fluye a través de la superficie terrestre, en este caso los ríos y cuencas.

#### 2.2.6 Humedad Relativa

Es el cociente o división entre la cantidad de vapor de agua que se encuentra en un determinado lugar de medición (estación meteorológica) en milímetros de agua(mm) y la cantidad total de vapor de agua que podría haber al estar totalmente saturado, el porcentaje (%) se encuentra multiplicando el resultado anterior por 100%, también representa la cantidad de vapor de agua en el ambiente.

#### 2.2.7 Estrés Hídrico

Es la presión sobre el recurso hídrico disponible, cuando la demanda de la población está por alcanzar la oferta de agua. También cuando no se guarda un equilibrio entre los requerimientos de uso humano y medioambientales (Chávez, A et.al, 2015)

El caso más claro es el uso indiscriminado y desregulado del agua para la agricultura, también por un crecimiento en la población y el aumento en la cantidad y necesidades debido al cambio climático (Chavez,A et.al, 2015) “Se considera que una cuenca padece estrés hídrico cuando su disponibilidad de agua por habitante es inferior a 1.000 m<sup>3</sup> al año”(«Domínguez, Rivera, Sarmiento y Moreno et.al », s. f., p. 2) (tomando como base el promedio histórico de la escorrentía), o “cuando el cociente entre la extracción de agua y el promedio anual histórico de escorrentía es superior a 0,4” ( IPCC, 2008; citó en Cepal,2015)

#### 2.2.8 Sequia

**“La sequía se define como disminución en los totales de lluvia con respecto de las condiciones normales o previstas de precipitación”** (Argeñal, F, 2010), es decir, respecto a una media estadística o un promedio, este déficit de precipitación se puede presentar en poco tiempo o tardar varios meses en manifestarse a través de la disminución del caudal de los ríos, y de los niveles de los embalses o de la altura de las aguas subterráneas. “La evolución sigilosa de la sequía hace que, en ocasiones, sus efectos tarden semanas o meses en hacerse visibles” (UNAH,2012) por lo tanto la sequía es un fenómeno del clima predecible a lo largo de mucho tiempo.

Lo que sucede en el fenómeno de la sequía en el ciclo hidrológico en un descenso en las lluvias, consecuentemente de la evaporación y la transpiración. También en la aridez se considera un aumento de la temperatura y un descenso de las lluvias en un momento del tiempo y la sequía puede manifestarse en un momento corto del tiempo (días y semanas) y a lo largo de los años.

### 2.2.9 Categorización De Los Proyectos De Generación Hidroeléctrica En Honduras

Las actividades, obras o proyectos se ordenan en cuatro diferentes categorías (uno, dos, tres y cuatro) en la cual según el artículo 5 se tiene la categoría uno o de bajo impacto ambiental y no se hacen trámites de permiso, la dos como moderado impacto ambiental, la tres como alto impacto ambiental, y la cuatro como muy alto impacto ambiental (La gaceta, 2015)

**Tabla 11. categorización de impacto ambiental por generación de energía hídrica en Honduras**

Nombre de la actividad	Descripción	Categoría de impacto/riesgo ambiental y sanitario			
		1	2	3	4
Generación de electricidad a partir de fuentes hidráulicas	<b>Hidroeléctrica</b>	<b>Hasta 3 MW</b>	<b>&gt;3-15 MW</b>	<b>&gt;15-30MW</b>	<b>&gt;30MW</b>

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de La gaceta, 2015)

Para objeto de análisis y delimitación del estudio, se seleccionarán los proyectos de categoría tres.

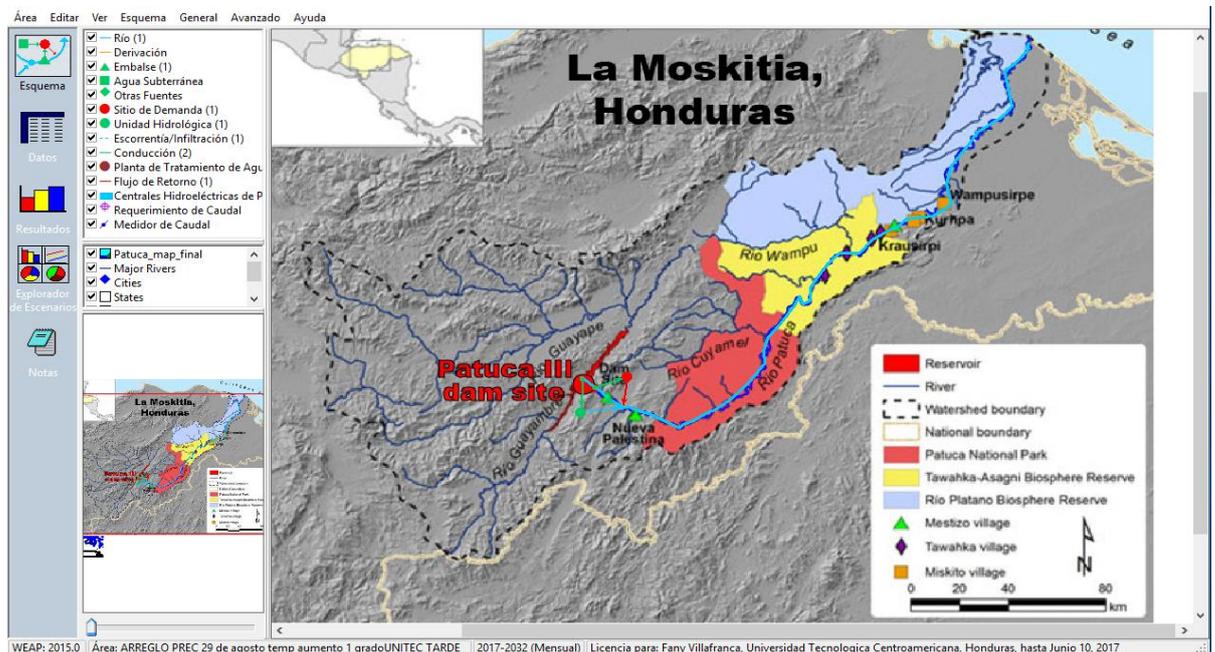
### 2.2.10 Sistema de Evaluación y Planificación del Agua(WEAP)

WEAP® es un software creado por el instituto de Estocolmo en Suecia en 1988, con tutoriales para su utilización y aprendizaje en línea y en países en vías de desarrollo como en Honduras son otorgadas sus licencias gratuitas por un año para fines académicos, ver <http://www.weap21.org/index.asp?action=8> . El programa permite modelar y pronosticar el recurso hídrico disponible en cuencas hidrográficas mediante escenarios con demandas específicas para su distribución, empleándose en pequeñas obras de captación de agua hasta vastas cuencas, con el fin de crear programas para la gestión y planificación del agua, calidad , agua subterránea, generación hidroeléctrica, aguas tratadas y contaminadas, simulación de distintos escenarios y políticas, de tal manera que se observa y simula la disponibilidad de la oferta de agua(SEI,2009) se puede obtener un **balance hídrico o aguas de entrada y de salida** pues trabaja con todas las formas en las que se presenta el agua y las variables climáticas. 35

Para calibrar WEAP, se utilizaron datos de caudal mensual y anual, precipitaciones, humedad relativa promedios de los años 1973 al 2008(ENEE, 2013), en la evaporación y la humedad relativa los datos promedios, son desde el año 1973 al 2006 (SINOHYDRO, 2011).

Asimismo, el comportamiento del caudal máximo anual(m3/seg) derivado del método “Año-agua” o recurso hídrico disponible(m3/seg) se simuló a partir de datos promedio históricos de los años 1993 al 2008 porque en ese lapso de tiempo hay 16 años, misma cantidad que hay entre el año 2018 al 2032, en ese sentido el estudio se pudo extender hasta 30 años (1973 al 2008).

El año base o cuenta corriente es el punto de inicio (2017) se seleccionó así porque el proyecto hidroeléctrica Patuca III entra en operación en el año 2018, los datos del 2017 son heredados a los escenarios de referencia, optimista y pesimista con años desde el 2018 al 2032, WEAP tiene la posibilidad de crear mucho más escenario con la facilidad de heredar datos del año base a todos ellos. Las explicaciones de los procedimientos anteriores se observan paso a paso en el capítulo III.



**Figura 19. Esquema en WEAP**

Fuente: (Elaboración propia a partir de WEAP y de la imagen del mapa con fuente:<https://intercontinentalcry.org/topics/rivers/> )

En la figura 19. Se observa la pantalla WEAP®, el cual funciona con Sistemas de Información Geográfica(SIG) tomadas de distintas bases institucionales o ARCGIS y ARCVIEW, los cuales hacen mayormente precisos este tipo de estudios pues toman en cuenta el tipo de suelo y vegetación.

En este caso se tomaron imágenes en formato JPG. o imágenes raster o guardadas en Microsoft Word en el mapa en manera de imagen introducida al programa es para ubicación, en la cual se debe establecer sitios de demanda (El futuro sitio de la presa y asentamientos de personas, círculos rojos), el río (Línea azul continua), conducción (línea verde), escurrentía (línea azul punteada) y derivación para un sitio de demanda de personas (línea roja), los cuales se arrastran y se suelta para ubicarlos

### CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Congruencia Metodológica

**Tabla 12. Matriz de Congruencia Metodológica**

Tema de investigación	Planteamiento del problema	Preguntas de Investigación	Objetivos	
			General	Específico
Análisis de la posible disminución en la generación de energía del proyecto hidroeléctrico piedras amarillas “Patuca III” ante la influencia de variables climáticas.	Determinación de los efectos del cambio climático en la producción de energía hídrica en el proyecto hidroeléctrico Patuca III en Olancho departamento de Honduras	Cuanto es la producción de energía hidroeléctrica a proyectar en los años 2018 al 2032	Analizar la posible disminución de la generación de energía eléctrica en el proyecto hidroeléctrico “Patuca III” ante de elevaciones de temperatura en distintos escenarios y en un determinado período de tiempo en años.	Diseñar escenarios de generación hidroeléctrica de bajas, medias y altas precipitaciones o lluvias en los años 2018 al 2032 con los cuales se obtenga la cantidad de generación hidroeléctrica
		Existirá una posible disminución en la generación de energía del proyecto hidroeléctrico ante el cambio climático en los años 2018 al 2032.		Sensibilizar los anteriores escenarios ante elevaciones de temperatura de 1 y 2 °C para obtener el déficit de generación eléctrica en esos años.
		Se pueden proponer medidas para un mejor aprovechamiento del potencial hídrico disponible en Honduras		Plantear soluciones a la problemática

En la Tabla 12. Se muestra la matriz de congruencia metodológica en la cual las preguntas de investigación van alineadas con los objetivos específicos. El fin de la investigación es ser congruentes con lo que se plante desde un inicio de la investigación.

### 3.1.1 Operacionalización De Las Variables

**Tabla 13. Operacionalización De Las Variables**

<b>Generación Hidroeléctrica(KWh)</b>	<b>Variables</b>	<b>Operacionalización de las variables</b>	<b>Simbología</b>	<b>Aumento de 1 y 2°C de Temperatura</b>
<b>Pesimista</b>	<b>Independiente(X):</b> Evaporación, lluvia mínima <b>Dependiente(Y):</b> Evaporación neta pesimista	Evaporación neta Pesimista: <b>Evaporación-lluvia mínima</b>	<b>ENP=E-Pmín</b>	-A un <b>aumento</b> de temperatura, <b>es igual la generación de energía</b> en el proyecto hidroeléctrico para los años 2018 al 2032.
<b>Media</b>	<b>Independiente(X):</b> Evaporación, lluvia media <b>Dependiente(Y):</b> Evaporación neta pesimista	Evaporación neta De referencia: <b>Evaporación-lluvia media</b>	<b>ENR=E-Pmed</b>	-A un <b>aumento</b> de temperatura, <b>es menor la generación de energía</b> en el proyecto hidroeléctrico para los años 2018 al 2032.
<b>Optimista</b>	<b>Independiente(X):</b> Evaporación, lluvia máxima <b>Dependiente(Y):</b> Evaporación neta pesimista	Evaporación neta Optimista: <b>Evaporación-lluvia máxima</b>	<b>ENO=E-Pmáx</b>	-A un <b>aumento</b> de temperatura, <b>es menor la generación de energía</b> en el proyecto hidroeléctrico para los años 2018 al 2032.

Fuente: (Elaboración propia)

En la tabla 13. Se observa la operacionalización de las variables, la cual tiene el propósito, de definir, trabajar y descubrir la solución del problema planteado, mediante el estudio de las variables. Proporciona un panorama más claro del problema y lo desarticula en pequeñas partes del pensamiento para su mejor comprensión (Hernández, et.al,2010).

La operacionalización de las variables de la presente investigación se basa en la experimentación, buscado si existe un tipo de relación la Temperatura(°C) y las cantidades encontradas(KWh), ya que se establece qué variables son dependientes e independientes, , se observará si existe, en todos los casos, de manera implícita posible disminución del recurso hídrico que se reflejaría en la posible disminución de la generación hidroeléctrica debido a fenómenos climáticos (Hernández, R., Fernández, C y Baptista, M., 2010).los datos de las variables estaban se escogieron de manera que exista una congruencia entre ellas, en el periodo de tiempo de las mediciones de datos (1973-2010).

Para el ingreso de los datos en WEAP, se calibrará el año 2017, como año base (SEI, 2015), de la siguiente manera:

- Caudal: De cabecera o comienzo de la cuenca promedio anuales y mensuales de los años: 1973-2008.
- Precipitación(mm): Media, mínimas y máximas(mm) promedios mensuales de los años: 1973-2008.
- Evaporación(mm): Promedio mensual de los años: 1973-2006.

Se ingresará los datos para proyectar la generación de energía eléctrica y la temperatura lineal uniforme creciente de 0 a 1 y 2 °C al 2032

### 3.1.2 Hipótesis

A la elevación de Temperatura, es igual la producción de energía en el proyecto hidroeléctrico Patuca III para los años 2018 al 2032(Falso)

A la elevación de la Temperatura, disminuye la producción de energía en el proyecto hidroeléctrico Patuca III para los años 2018 al 2032(verdadero)

### 3.2 Enfoque Y Métodos



**Figura 20. Revisión de la literatura y aspectos más importantes para el enfoque y método de estudio.**

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 20. Se muestran los aspectos más importantes de la revisión de la literatura, como directrices para el enfoque del estudio.

Se muestra la secuencia de la metodología de la investigación, la cual se basa en la entrevista para determinar los proyectos hidroeléctricos que tuvieran datos disponibles y suficientes del diseño de la presa (ENEE, 2013 SINOHYDRO, 2011), los cuales SINOHYDRO Ltd. Aceptó, en el año 2011, como válidos de parte de la ENEE para la construcción de la presa.

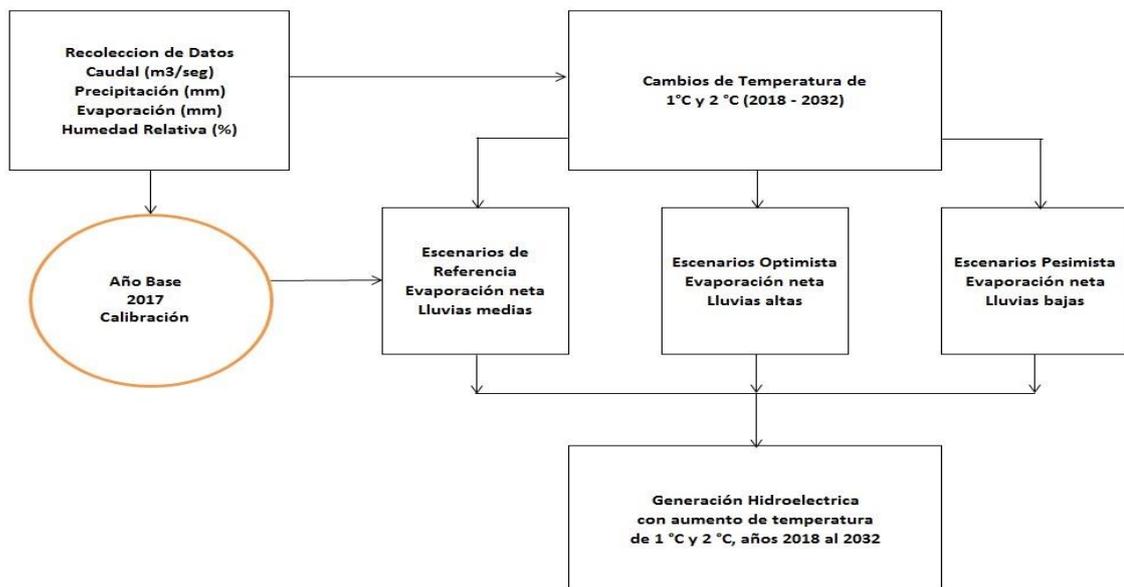
El primer paso es hacer la selección de los departamentos en el país que actualmente padecen y padecerán de sequía, posteriormente, seleccionar, de esos lugares, los proyectos hidroeléctricos construidos y por construir que tengan una potencia instalada mayor a los 25MW, y condicionarlos, en la manera de obtener los lugares más factibles y con mayor cantidad de datos disponibles y confiables.

Una vez que se hace el inventario de los datos disponibles, se promueve a elaborar un diseño de algoritmos para la creación de distintos escenarios.

Se observará la relación entre la Generación hidroeléctrica(KWh) y el cambio de temperatura( $^{\circ}$ C) para hacer un análisis de los resultados, en los cuales se espera exista una disminución de la generación.

El estudio tiene un enfoque cuantitativo experimental y al mismo tiempo pretende observar relaciones entre las la Temperatura y la generación hidroeléctrica.

### 3.3 Diseño De La Investigación



**Figura 21. Diseño de la investigación**

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 21. se toma como año base el año 2017, para ingresar en WEAP® el caudal promedio mensual, que, será el mismo que influirá en todos los años del 2018 al 2032, también, las lluvias, altas y bajas y las dos elevaciones de Temperatura, crearán seis escenarios que mostraron las diferencias en la generación hidroeléctrica del proyecto (Figura 21).

#### 3.3. 1 Población

Históricamente la ENEE ha manejado treinta y seis estaciones, de las cuales 27 recaudan información sobre precipitaciones y nueve son las llamadas de descanso, las cuales toman datos diarios y mensuales de evaporación, lluvia, temperatura, velocidad y dirección del viento, y, toman mayor cantidad de datos que las que sólo toman lluvia o precipitación(mm).

Las estaciones de la ENEE con datos más completos son 20:

“Guayabillas, Cayetano, Santa María, San Isidro, S. Fco De Becerra, Las Meseta, San Antoni, El Vijao, Manto, S. Pedro de Catacamas, Concordia, Guaymaca, Azacualpa, El Junquil, Río Abajo, Catacamas, Las Animas, San Isidro, San Felipe y El Junqui, etc.” (SINOHYDRO, 2011) **(VER ANEXO II)**

Los datos fueron tomados diariamente y analizados en el intervalo de años de 1973-2006, entre mayo y noviembre se encuentra la mayor cantidad de lluvia (85.8%) (SINOHYDRO, 2011)

Siete estaciones de medición de la escorrentía se fijan en la cuenca del río Patuca, entre las que se encuentra la estación Cayetano, la cual está a dos Kilómetros aguas arriba del sitio de la presa, Valencia y Kurpha se establecen en la corriente principal del río Patuca, y las cuatro estaciones de descanso se establecen aguas abajo y entre las anteriores sólo la estación Cayetano tiene datos confiables (SINOHYDRO, 2011)

### 3.3.2 Muestra

**Tabla 14. Datos de latitud(Norte) y longitud(Oeste) en grados, minutos y segundos; elevaciones, ríos e intervalos de años de medición en la cuenca del río Patuca.**

Estación	Norte	Oeste	Elevación	Río	Intervalo años
Cayetano	14° 25' 28"	85° 58' 18"	299	Patuca	1973-1998 y 2000-2007
kurpha	15° 08' 30"	84° 42' 23"	56	Patuca	1974-1995
Valencia	14° 43' 05"	85° 14' 10"	98	Patuca	1981-1996
Ocote	14° 27' 28"	86° 01' 10"	260	Guayambre	1992-1994
Chirinos	14° 26' 00"	85° 59' 10"	255	Guayape	1973-1994
Corralitos	14° 18' 09"	86° 29' 40"	472	Jalan	1972-1996
Cuyamel	14° 38' 37"	85° 20' 17"	120	Cuyamel	1988-1996

Fuente (SINOHYDRO, 2011)

La estación Cayetano está en la misma corriente del río principal, y a 2 Kilómetros aguas arriba del proyecto hidroeléctrico Patuca III, en la misma zona valle o alta, los datos se tomaban tres veces al día cada seis horas, desde su año de construcción 1973 al 2010, llevados a cabo por ENEE, con un nivel de confiabilidad de datos del 0.978 en la correlación entre el máximo caudal mensual en metros cúbicos sobre segundo(m<sup>3</sup>/seg) del sitio de la presa y el máximo caudal diario promedio(m<sup>3</sup>/seg) en la estación hidrológica Cayetano, por lo que se definieron confiables para diseñar el sitio de la presa y para el presente estudio.

**Tabla 15. Datos de humedad relativa (%), Temperatura mensual(°C), lluvia(mm) y evaporación(mm) de la estación meteorológica Cayetano mensuales promedio de los años 1973 al 2006.**

Estadística de datos de la estación meteorológica Cayetano						
Mes	Humedad relativa(%)		Temperatura promedio(°C)		Lluvia(mm)	Evaporación(mm)
Enero	82.9		23.3		67.7	83.9
Febrero	79.3		23.8		35.2	102.7
Marzo	71.1		24.8		25.1	159.4
Abril	67.1		26.7		32.4	178.4
Mayo	69.7		27.7		121.2	172.7
Junio	79.6		26.7		221.3	129.7
Julio	84.3		25.8		256.6	109
Agosto	83.2		26.3		230.8	119.3
Septiembre	83		26.4		198.2	123.5
Octubre	82.7		26		178.3	112.7
Noviembre	83.6		25		117.3	89.6
Diciembre	84.5		23.7		72.1	80.7
Promedio	79.3		25.5		129.7	121.8
Máximo	84.5		27.7		256.6	178.4
Mínimo	67.1		23.3		25.1	80.7
Total anual					1556.3	1461.6

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de SINOHYDRO, 2011).

Por lo que SINOHYDRO determinó que el sitio de la presa tiene casi las mismas características que la estación Cayetano a dos Kilómetros aguas arriba del sitio de la presa a construir, además con una medición larga de variables de más de 30 años, y lo que se aseguró que es suficiente para el diseño.



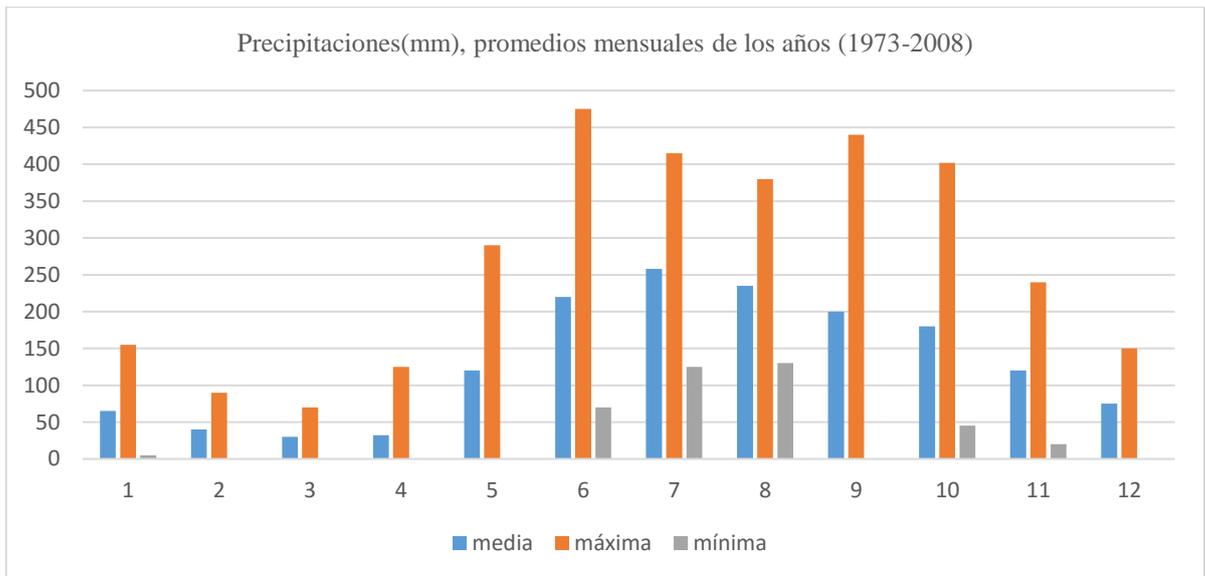
**Figura 22. Estación hidrológica Cayetano**

Fuente:(SINOHYDRO, 2011)

### 3.3.3 Unidad De Análisis

#### Variables Meteorológicas

La unidad de análisis es la precipitación(mm), el caudal(m<sup>3</sup>/seg) la evaporación(mm), Temperatura(°C), humedad relativa(°C) de la estación hidrológica Cayetano y las especificaciones técnicas del proyecto hidroeléctrico Patuca III.



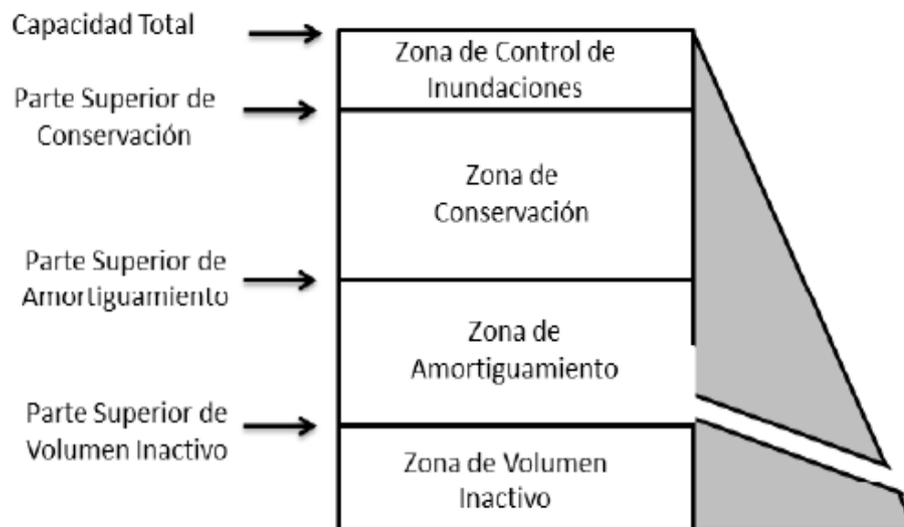
**Figura 23. Precipitaciones(mm) media, mínimas y máximas promedios mensuales de los años 1973-2008 en la estación meteorológica de Cayetano en el río Patuca.**

Fuente (Elaboración propia a partir de los datos de la ENEE,2013)

La figura 23 representa las precipitaciones(mm) media, mínima y máximas promedio de los años 1973-2008 obtenidas en las mediciones de la estación hidrológica Cayetano.

## Especificaciones Técnicas Del Proyecto Hidroeléctrico

Las siguientes son especificaciones técnicas de diseño del proyecto hidroeléctrico Patuca III requeridas por WEAP® (SEI, 2015):



**Figura 24. Niveles de almacenamiento de agua de la presa aguas arriba.**

Fuente (SEI, 2015)

De la figura 24. Se define la zona superior de amortiguamiento, que, es aquella en la que hay una disminución del recurso hídrico más sin embargo está por encima del volumen inactivo, en el cual, es el nivel donde el agua debe permanecer y es el límite inferior por debajo del cual no es posible su reducción.

La parte superior de conservación es la zona por encima de las dos anteriores en la que se puede responder al requerimiento de agua. El coeficiente de amortiguamiento representa el requerimiento mensual público del agua (Elmabrok, Y, 2015, p.28), los datos anteriores, correspondientes al proyecto hidroeléctrico Patuca III son los siguientes:

Parte superior conservación: 1200 metros cúbicos(m<sup>3</sup>),

Parte superior de amortiguamiento: 620 metros cúbicos(m<sup>3</sup>)

Parte superior de volumen inactivo: 580 metros cúbicos(m<sup>3</sup>)

Coefficiente de amortiguamiento (debe ser menor que uno): 13.7%(SINOHYDRO, 2011)

Capacidad total del embalse: 1200 m<sup>3</sup>(ENEE b, 2016)

**Tabla 16. Relación entre el volumen y la elevación del reservorio**

Volúmen(m <sup>3</sup> )	Elevación(m)
0	290
1423	290
2032	291.51

Fuente (Elaboración propia a partir de los datos de SINOHIDRO, 2011)

La tabla 16. describe la relación existente entre el volumen y la elevación del reservorio, las diferencias de volumen elevación tienen el objetivo de plasmar el volumen de agua en metros cúbicos(m<sup>3</sup>) con respecto al nivel de elevación de agua en la presa en metros(m).

**Tabla 17. Especificaciones técnicas de la presa.**

Especificaciones de la presa	Patuca III
Capacidad Instalada(MW)	104
Máximo caudal de turbina(m <sup>3</sup> /seg)	318
Elevación de agua de turbina(m)	290
Eficiencia (%)	90
Factor de planta (%)	38

Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de la ENEE b, 2016., ENEE, 2013, p.5., ENEE, 2013, p.4, Elmabrok, 2015 y ENEE b, 2016 respectivamente).

#### 3.3.4 Unidad De Respuesta

La unidad de respuesta son los escenarios promedios, pesimista y optimista de generación hidroeléctrica en WEAP®, ingresados en el intervalo de años 2017-2032.

Asimismo, el posible impacto en la generación hidroeléctrica ante un aumento en la temperatura en la producción de energía hidroeléctrica.

### 3.4 Técnicas E Instrumentos Aplicados

Las técnicas e instrumentos utilizados, se definen a continuación.

#### 3.4.1 Instrumentos

Entrevistas con el personal de la unidad de hidrología de ENEE, personal de pronósticos de CENAOS y al Jefe del Departamento de la Dirección General de Recursos Hídricos(DGRH).

##### 3.4.1.1 Tipos De Instrumentos

**Tabla 18. Represas Públicas y privadas, con capacidad instalada o para instalar mayor a 25 MW**

Proyecto	Lugar	Capacidad instalada MW	Fecha a Generar	Sector
Los Llanitos	Santa Bárbara	80	No construido	Estatad
Jicatuyo	Santa Bárbara	210	No construido	Estatad
La Vegona	Yoro y Cortez	38.5	Actualmente	Privada
Francisco Morazán	Yoro, Cortez, Comayagua	300	Actualmente	Estatad
Rio Lindo	Lago de Yojoa	80	Actualmente	Estatad
Cañaveral	Lago de Yojoa	29	Actualmente	Estatad
Piedras Amarillas (Patuca III)	Olancho	104	No construido	Estatad
Valencia	Olancho	270	2022	Estatad
La Tarrosa	Olancho	150	2022	Estatad

Fuente:(Elaboración propia a partir de datos de COHERSA, ENEE, 2016)

En la tabla 18., se hizo una selección de los departamentos más secos del país, posteriormente se clasificaron sus represas hidroeléctricas existentes y por existir para luego seleccionar las que tengan una capacidad instalada mayor de 25 MW, por lo que son proyectos hidroeléctricos construidos y por construir, de categoría tres (tabla 11) y en los lugares más secos de Honduras (Figura 4), asimismo, Lago de Yojoa se encuentra entre los departamentos de Santa Bárbara, Cortes y Comayagua.

#### 3.4.1.2 Proceso De Validación De Los Instrumentos

Para la validación de los instrumentos se utilizó la entrevista, por la cual se seleccionó el proyecto hidroeléctrico "Patuca III" o "Piedras Amarillas" pasa por el parque nacional Patuca y la biosfera del río plátano en el departamento de Olancho en la cuenca del río Patuca.

También se hicieron investigaciones en la unidad de hidrología de la ENEE y se constató que la represa es la única que no ha tenido este tipo de estudio de proyección de los efectos del clima(Temperatura) sobre la generación hidroeléctrica, y es la que cuenta con mayor cantidad de datos disponibles (Conde, M., 2016).

Asimismo, el proyecto hidroeléctrico no ha sido terminada en su construcción y actualmente solo está hecha "la cortina" o la estructura de retención del embalse, y sería muy útil poder proyectar su generación de energía eléctrica a futuro.

#### 3.4.2 Técnicas (Encuestas, Entrevistas, Etc.)

La técnica empleada para determinar el lugar de estudio y la gestión de datos hidrológicos, fue a través de entrevistas en distintas entidades gubernamentales: Unidad de Hidrología, la cual es dependencia de la ENEE y la Dirección General de Recursos Hídricos(DGRH) la cual es dependencia de la Secretaria de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas(MiAmbiente).

### 3.5 Fuentes De Información

#### 3.5.1 Fuentes Primarias

Las entrevistas que se llevaron a cabo.

#### 3.5.2 Fuentes Secundarias

La bibliografía, referencias, bases de datos consultadas y plasmadas en el documento

### 3.6 Limitantes De Estudio

La difícil gestión de los datos.

## CAPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1 Pasos Del Proceso Llevado A Cabo En WEAP



**Figura 25. Pasos del proceso llevado a cabo en WEAP® para la generación hidroeléctrica de los años 2017 al 2032 en los escenarios normal, pesimista y optimista, según los datos disponibles del diseño de Patuca III.**

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 25. se muestra el proceso de ingreso a WEAP® del año base (2017) y el caudal de cabecera(m3/seg), de evaporación promedio mensual de los años 1973 al 2006 del cual el escenario de referencia heredará, asimismo los datos para la creación de escenarios normal, optimista y pesimista a partir de las precipitaciones media, alta y baja promedio mensual de los años 1973 al 2008, los cuales heredarán los datos del escenario de referencia, los pasos anteriores se describen a continuación.

#### 4.1.1 Ingreso De Los Años Base Y Escenarios

Se ingresa el año base (2017) y el último año de escenario (2032), de manera que el escenario de referencia, optimista y pesimista corresponden también del 2018 al 2032.

Incrementos de años y tiempos

Horizonte de tiempo  
Año de Cuentas corrientes: 2017  
Último Año de Escenarios: 2032

Pasos de Tiempo por Año  
12  
 ¿Agregar Días Bisiestos?

Límite del incremento de tiempo  
 Basado en un calendario mensual  
 Todos los pasos de tiempo son de igual longitud  
 Establezca la longitud del incremento de tiempo

Año de Inicio del Agua.  
Enero

#	Titulo	Abreviar	Longitud	Inicio	Final
1	Enero	Ene	31	1 Ene	31 Ene
2	Febrero	Feb	29	1 Feb	29 Feb
3	Marzo	Mar	31	1 Mar	31 Mar
4	Abril	Abr	30	1 Abr	30 Abr
5	May	May	31	1 May	31 May
6	Junio	Jun	30	1 Jun	30 Jun
7	Julio	Jul	31	1 Jul	31 Jul
8	Agosto	Ago	31	1 Ago	31 Ago
9	Septiembre	Set	30	1 Set	30 Set

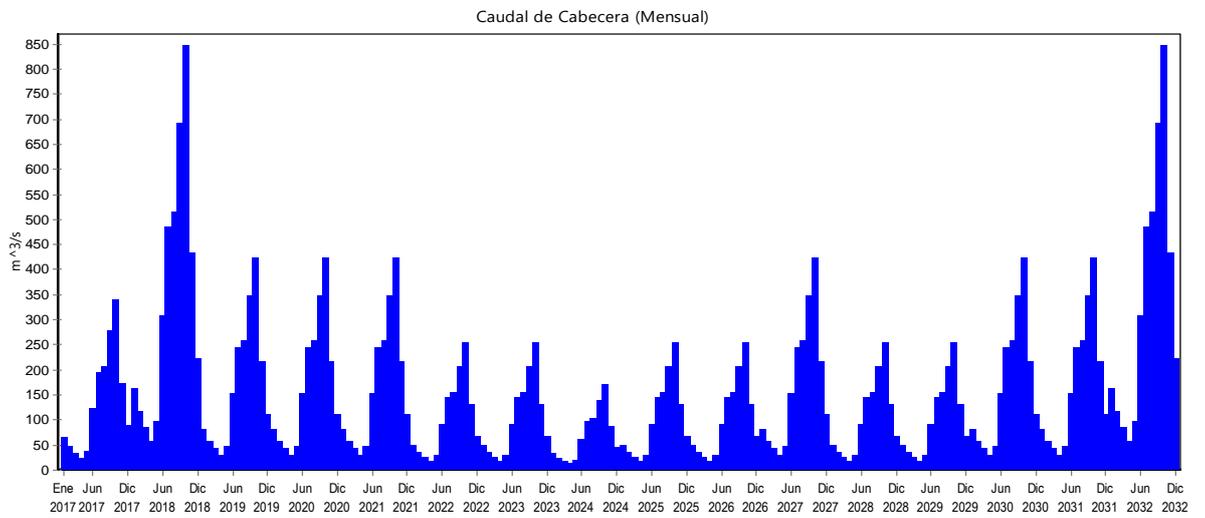
Formato Nombre Paso de Tiempo: Octubre / Oct

El periodo de estudio será de Enero, 2017 a Diciembre, 2032.

**Figura 26. Ingreso del año base y años de escenario (2018-2032)**

Fuente (Elaboración propia a partir de WEAP®)

4.1.2 Ingreso De Datos De Caudal De Cabecera Y Evaporación Mensual Promedio De Los Años 1973 Al 2008.



**Figura 27. Variación del caudal mensual del sitio de la presa en metros cúbicos por segundo(m<sup>3</sup>/seg) en los años 2017 al 2032.**

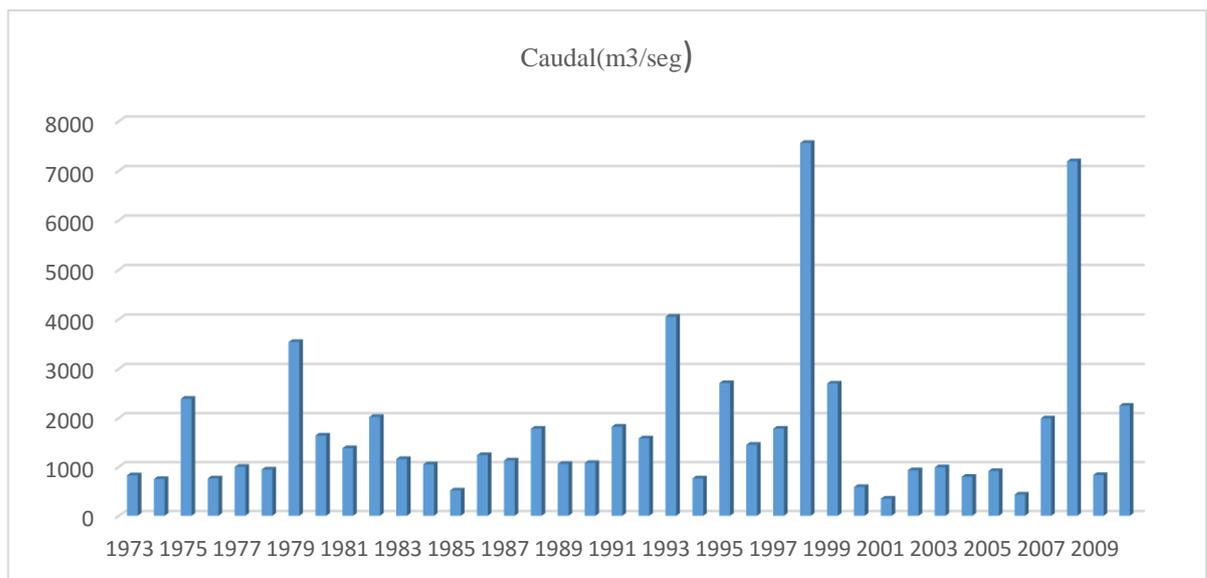
Fuente:(Elaboración propia a partir de WEAP®)

Según la Figura 27. Se determinó el año base o cuenta corriente es el 2017, el cual contiene los datos mensuales de caudal promedio(m<sup>3</sup>/seg) y junto al método año agua en la siguiente sección, se determinó el comportamiento del caudal anual máximo anual de los años 2018 al 2032.

#### 4.1.3 Método Del Año Agua

Según el Instituto Ambiental de Estocolmo (2015) para describir si un año fue húmedo o seco, se puede hacer una simulación del clima que predominó los años 1973-2010, el cual no tiene un comportamiento tendencial, sino de altas y bajas, en ocasiones repentinas, por ejemplo, eventos catastróficos como el Huracán Mitch por los fenómenos del niño(sequía) y la niña(inundación).

Por lo cual, es muy difícil proyectar los efectos del clima(humedad) a través de los años 2018 al 2025 con medidas de tendencia en estadística: Regresión lineal o mínimos cuadrados y pronósticos. Se dice que para un rango de datos de 1998-2010, el año más catastrófico fue 1998(7560m<sup>3</sup>), seguido del 2008(7190m<sup>3</sup>) (ENEE, 2013, p.37). También el caudal máximo promedio a través de los años que sigue en orden descendente es de 4050 m<sup>3</sup>, por lo que el año 1998 no se consideraría incluido en este tipo de eventos de la proyección de años futuros (ENEE, 2013).



**Figura 28. Caudal máximo anual en metros cúbicos por segundo(m<sup>3</sup>/seg) a través de los años 1973-2010**

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de SINOHYDRO, 2011)

La figura 28 se muestra el caudal máximo anual por interpolación para la serie de años 1973 al 2010(SINOHYDRO. 2011) el cual es utilizado como un indicador de cuan húmedo o seco pudo ser el año de estudio y tiene unidades de metros cúbicos por segundo(m<sup>3</sup>/seg).

Los años de medición de la estación Cayetano fueron de 1973 al 2008, para el presente estudio se tomó en cuenta el comportamiento climático de los años 1978 a 1993 para simular los años 2018 al 2032 ya que el año 1978 está denominado como húmedo y se espera que el 2018 también lo sea.

De igual manera se pudo escoger otro intervalo de tiempo, eliminando del análisis datos que pueden crear sesgo en la investigación como ser el año 1998, para simular los años 2018 al 2032

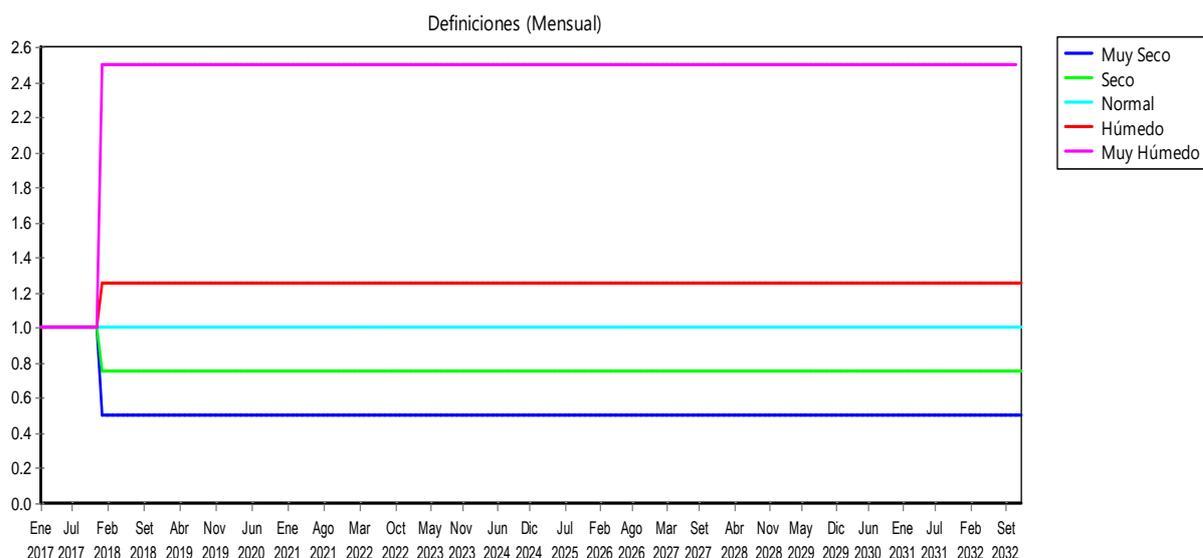
Asimismo, los escenarios media, baja y alta precipitación tienen la misma probabilidad de suceder, por lo cual el supuesto de utilizar un cierto tipo de año dispone también de tres posibles eventos.

**Tabla 19. Denominación del tipo de año, para la utilización del método año agua en WEAP**

Año	Caudal máximo anual en los años 1978 a 1993 (m <sup>3</sup> /seg)	Proporción: Caudal /caudal máximo	Tipo de año	Valor para WEAP
2017	945	0.233333333	seco	0.75
2018	3540	0.874074074	Húmedo	1.25
2019	1640	0.404938272	Normal	1
2020	1380	0.340740741	Normal	1
2021	2020	0.498765432	húmedo	1.25
2022	1160	0.286419753	seco	0.75
2023	1050	0.259259259	seco	0.75
2024	517	0.127654321	muy seco	0.5
2025	1240	0.30617284	Normal	1
2026	1130	0.279012346	seco	0.75
2027	1780	0.439506173	húmedo	1.25
2028	1060	0.261728395	seco	0.75
2029	1080	0.266666667	seco	0.75
2030	1820	0.449382716	Húmedo	1.25
2031	1580	0.390123457	Normal	1
2032	4050	1	muy humedo	2.5

Fuente (Elaboración propia a partir de los datos de SINOHYDRO, 2011)

En la tabla anterior se muestran los caudales máximos anuales promedio de la figura(anterior), los cuales se dividen cada uno entre el máximo caudal(4050m<sup>3</sup>/seg), con el propósito de encontrar un número, que no tiene unidades y que caracterice el año como: Muy húmedo (2.5), húmedo (1.25), normal (1), seco (0.75), muy seco (0.5). Los valores en WEAP anteriores, se encontraron por la regla de tres de proporciones, sabiendo que el año normal es uno por defecto, como se muestra en WEAP en la siguiente figura.



**Figura 29. Ingreso de la denominación de los años (2018-2032) como: Muy seco, seco, normal, húmedo, muy húmedo.**

Fuente (Elaboración propia a partir de WEAP)

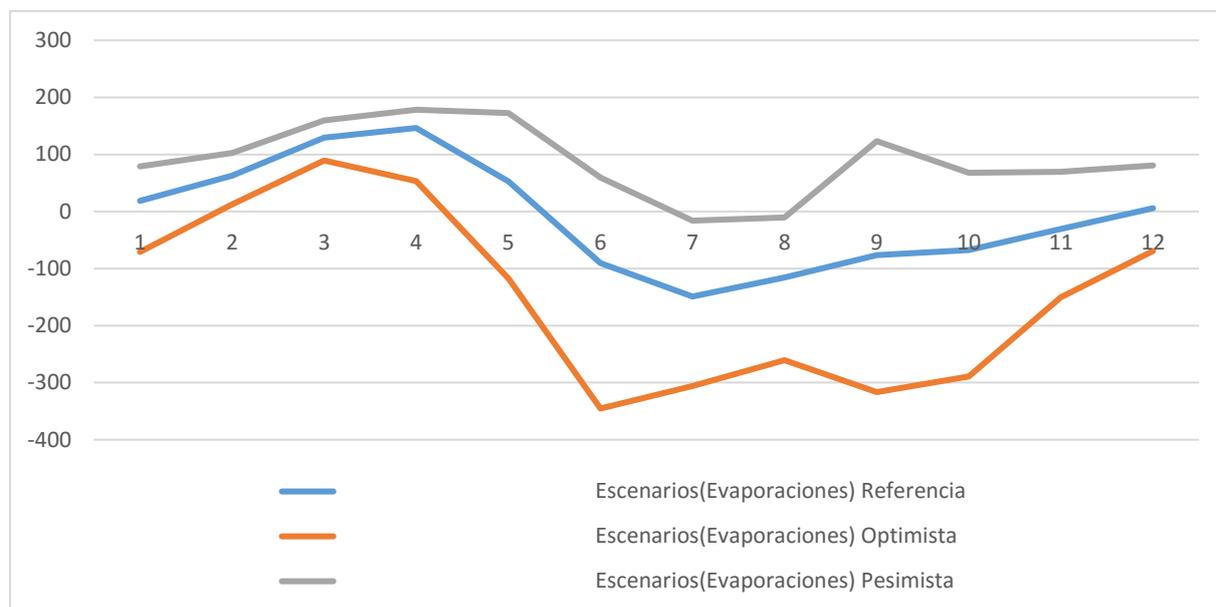
**Tabla 20. Precipitaciones, caudal medio (1973-2008), evaporación media (1973-2006) y evaporaciones netas.**

Meses	Precipitaciones(mm), años (1973-2008)			años(1973-2008) Caudal(m3/seg)	años (1973-2006) Evaporación(mm)	Escenarios(Evaporaciones)		
	media	máxima	mínima			Referencia	Optimista	Pesimista
Enero	65	155	5	65	83.9	18.9	-71.1	78.9
febrero	40	90	0	46	102.7	62.7	12.7	102.7
marzo	30	70	0	33	159.4	129.4	89.4	159.4
abril	32	125	0	23	178.4	146.4	53.4	178.4
mayo	120	290	0	38	172.7	52.7	-117.3	172.7
junio	220	475	70	123	129.7	-90.3	-345.3	59.7
julio	258	415	125	194	109	-149	-306	-16
agosto	235	380	130	206	119.3	-115.7	-260.7	-10.7
septiembre	200	440	0	277	123.5	-76.5	-316.5	123.5
octubre	180	402	45	339	112.7	-67.3	-289.3	67.7
noviembre	120	240	20	173	89.6	-30.4	-150.4	69.6
diciembre	75	150	0	89	80.7	5.7	-69.3	80.7
						-113.4	-1770.4	1066.6

Fuente (Elaboración propia a partir de datos de la ENEE, 2013 y SINOHYDRO, 2011)

En la Tabla 20. Se muestra el cálculo de los escenarios(evaporaciones) o evaporación neta es la diferencia o resta entre las precipitaciones (Figura 23.) y la evaporación, los números negativos indican un incremento de la cantidad de agua (SEI, 2015), asimismo, en la tabla, se encuentran los caudales mensuales promedio (1973-2008) para los años 2018 al 2032.

El gráfico de los resultados de la Tabla 19. de las evaporaciones netas, se muestra a continuación:



**Figura 30. Evaporaciones netas en los escenarios de referencia, optimista y pesimista para el ingreso a WEAP®.**

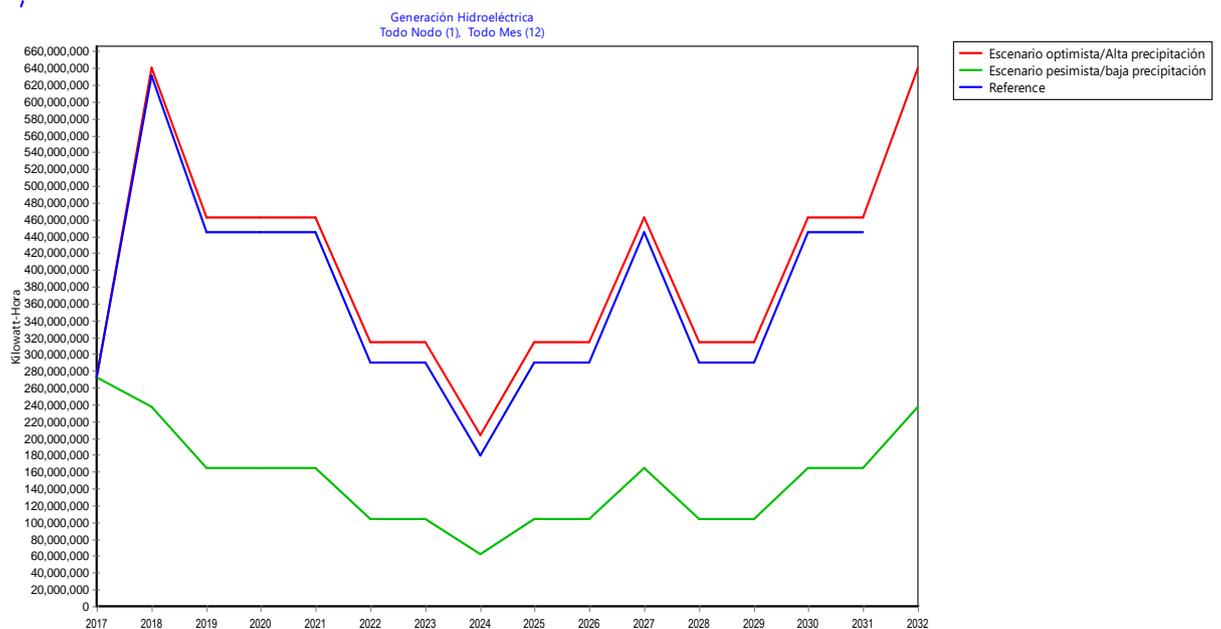
Fuente: (Elaboración propia a partir de WEAP)

Para el escenario de referencia el cual le hereda a los escenarios optimista y pesimista la información, se estimó la humedad relativa promedio mensual de los años 1973 al 2008 y la temperatura promedio anual de la estación meteorológica Cayetano la cual es de 25.5 °C , (Tabla primera de la sección de muestra 3.4.2), la cual va creciendo linealmente hasta elevarse 1 y 2°C, también se ingresa una velocidad del viento promedio por defecto de un metro sobre segundo(m/seg), latitud de 14 grados (°) y otros datos de la vegetación y área de la cuenca (ver ANEXO III)

## 4.2 Resultados Y Análisis

### 4.2.1 Comparación Entre Unidad De Análisis

Al hacer la comparación de la unidad de análisis en las precipitaciones baja, media y alta mensual promedio de los años 1973 al 2008 obtenidas de la estación Cayetano, 2 Kms. aguas arriba del sitio para la construcción de la presa, se constató que las producciones de energía hidroeléctrica a generar en los años 2018 al 2032 tienen un comportamiento alto, bajo y promedio en el escenario base o sin cambio de Temperatura.



**Figura 31. Generación hidroeléctrica en WEAP®, con temperatura constante promedio anual de 25.5 °C de los años 2017 al 2032(ver ANEXO IV)**

Fuente: (Elaboración propia a partir de WEAP®)

**Tabla 21. Generación hidroeléctrica total de los años 2016 al 2032 en los escenarios de precipitación(mm) alta, baja y media bajo Temperatura constante y con elevaciones de 1 y 2 °C.**

Escenarios de lluvias	Generación hidroeléctrica		Escenarios de cambio de Temperatura(°C)	
	Total de los años 2018 al 2032 en KWh(25.5°C)		1°C	2°C
Escenario optimista/Alta precipitación	4,966,898,322.58		4,927,579,681.68	4,893,793,435.64
Escenario pesimista/Baja precipitación	2,420,186,700.62		2,382,369,981.57	2,367,175,880.02
Referencia/Media precipitación	4,801,887,219.35		4,762,538,704.64	4,728,766,857.58

Fuente:(Elaboración propia)

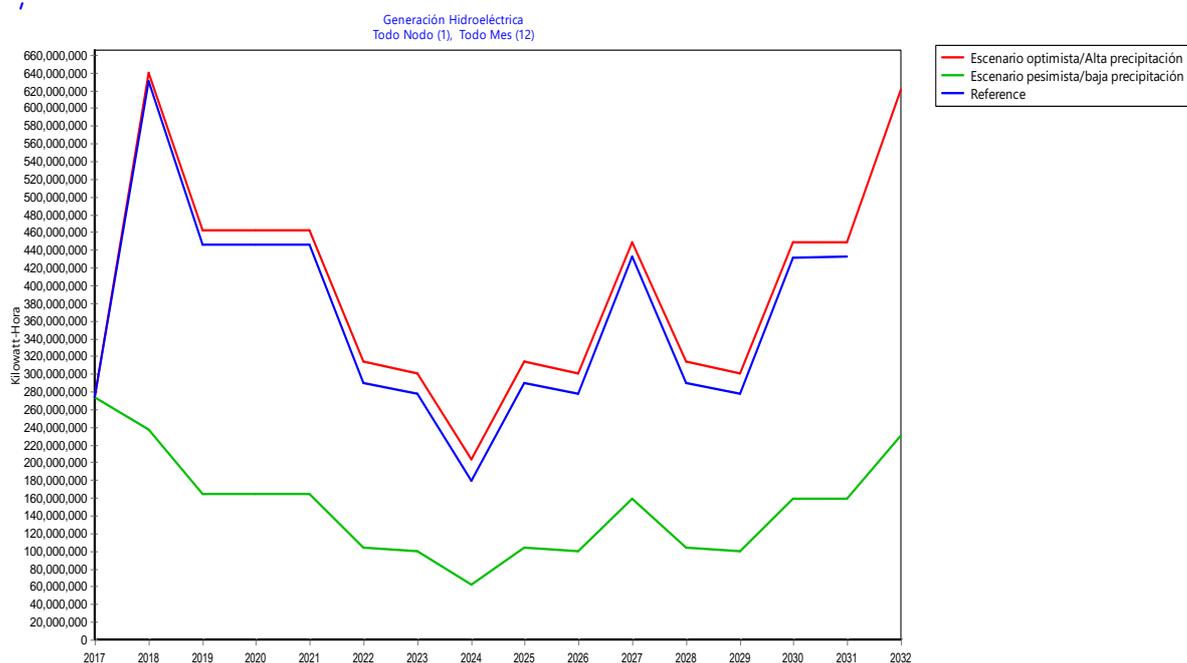
En la Tabla 21. Se muestran los resultados en acumulación de energía eléctrica total de los años 2018 al 2032, los cuales WEAP puede exportar a Microsoft Excel, originados de la figura 31, se observa que a medida que aumenta la Temperatura en °C, el total de generación hidroeléctrica en los años disminuye en cada escenario de precipitación alta, media y pesimista, estando así sus generaciones hidroeléctricas de manera decreciente(Por ejemplo en el caso de la tercera columna correspondiente al aumento de Temperatura de 1°C la energía eléctrica es de **4,927,579,681.68; 4,762, 538,704.64 y 2,382,369,981.57 KWh**, respectivamente).

**Tabla 22. Objetivos y Resultados**

Tema de investigación	Planteamiento del problema	Preguntas de Investigación	Objetivos		Resultados
			General	Específico	
Análisis de la posible disminución en la generación de energía del proyecto hidroeléctrico piedras amarillas “Patuca III” ante la influencia de variables climáticas.	Determinación de los efectos del cambio climático en la producción de energía hídrica en el proyecto hidroeléctrico Patuca III en Olancho departamento de Honduras	Cuanto es la producción de energía hidroeléctrica a proyectar en los años 2018 al 2032	Analizar la posible disminución de la generación de energía eléctrica en el proyecto hidroeléctrico “Patuca III” ante de elevaciones de temperatura en distintos escenarios y en un determinado período de tiempo en años.	Diseñar escenarios de generación hidroeléctrica de bajas, medias y altas precipitaciones o lluvias en los años 2018 al 2032 con los cuales se obtenga la cantidad de generación hidroeléctrica	Mediante los datos meteorológico y de diseño de construcción disponibles del proyecto hidroeléctrico, resultados indicados, <b>ANEXO IV</b> y siguiente sección.
		Existirá una posible disminución en la generación de energía del proyecto hidroeléctrico ante el cambio climático en los años 2018 al 2032.		Sensibilizar los anteriores escenarios ante elevaciones de temperatura de 1 y 2 °C para obtener el déficit de generación eléctrica en esos años.	Haciendo comparaciones con la proyección de generación hidroeléctrica de los años 2018 al 2032 sin y con cambios de, Temperatura, lo cual se muestra en la figura 38.
		Se pueden proponer medidas para un mejor aprovechamiento del potencial hídrico disponible en Honduras		Plantear soluciones a la problemática	Mediante un plan de acción Nacional capítulo VI.

Fuente:(Elaboración propia)

## 4.2.2 Elevación De Temperatura De Un Grado Celsius (°C) Para Los Tres Escenarios De Lluvias



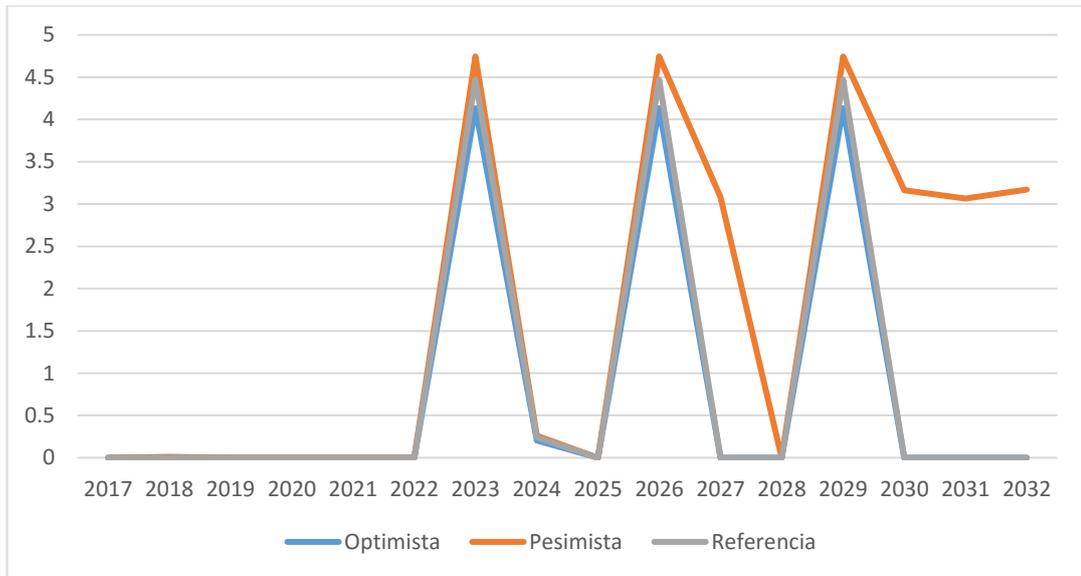
**Figura 32. Generación hidroeléctrica en WEAP, aumento de 1°C de los años 2017 al 2032**

Fuente: (Elaboración propia a partir de WEAP)

El siguiente es un análisis de comparaciones entre el caudal anual en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/seg) (Figura 34) la cual denomina que años son húmedos y que años son secos, los cuales están proyectados para los años 2018 al 2032 y el porcentaje de disminución en generación hidroeléctrica por la elevación de 1°C de manera lineal creciente a través de esos años (Figura 33)

En la figura 33. del **escenario pesimista, optimista y de referencia**, se observa que del 2018 al 2022 hay cero porcentaje (%) de disminución de generación de energía hidroeléctrica, se puede decir que existe congruencia porque el caudal máximo anual (2018 de 850 m<sup>3</sup>/seg y del 2019 al 2022 del 400m<sup>3</sup>/seg de la figura 34)

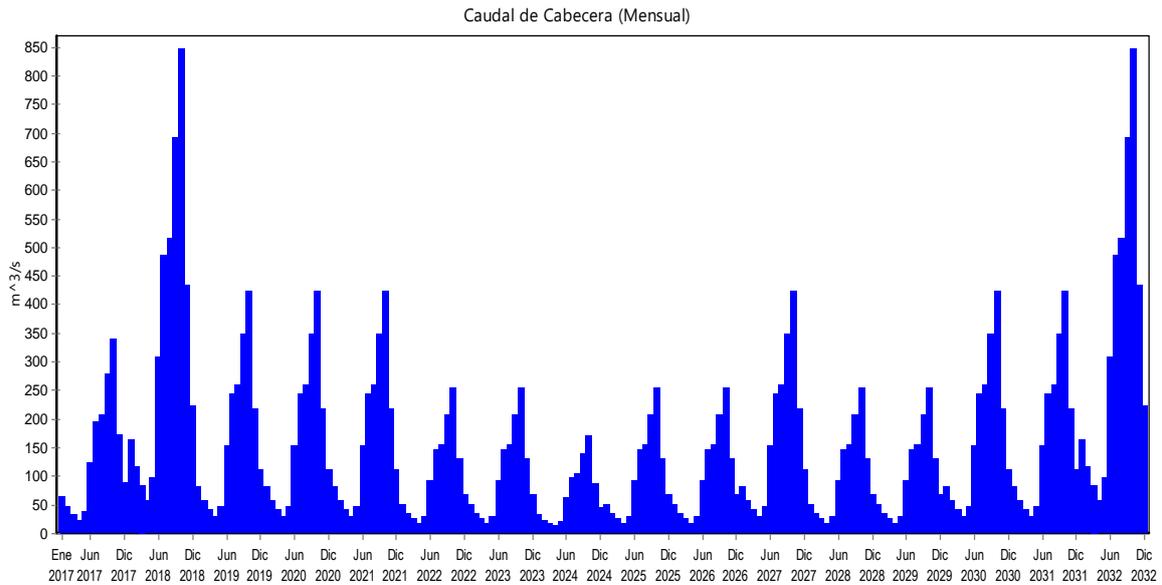
Los años 2023, 2026 y 2029 son años secos, por lo que en los **tres escenarios** existe congruencia ya que son años secos. Pero en el 2027, 2030 al 2032 en el **escenario pesimista** se observa que existen pérdidas de generación eléctrica anuales entre un 3 y 3.5%. Comprobándose la teoría de que la disminución de la generación hidroeléctrica es provocada por la sequía y es observable a lo largo de los años, sobre todo en escenarios pesimistas.



**Figura 33. Porcentaje (%) de disminución de la generación hidroeléctrica al aumentar la Temperatura en 1 °C a lo largo de los años 2018 al 2032.**

Fuente: (Elaboración propia)

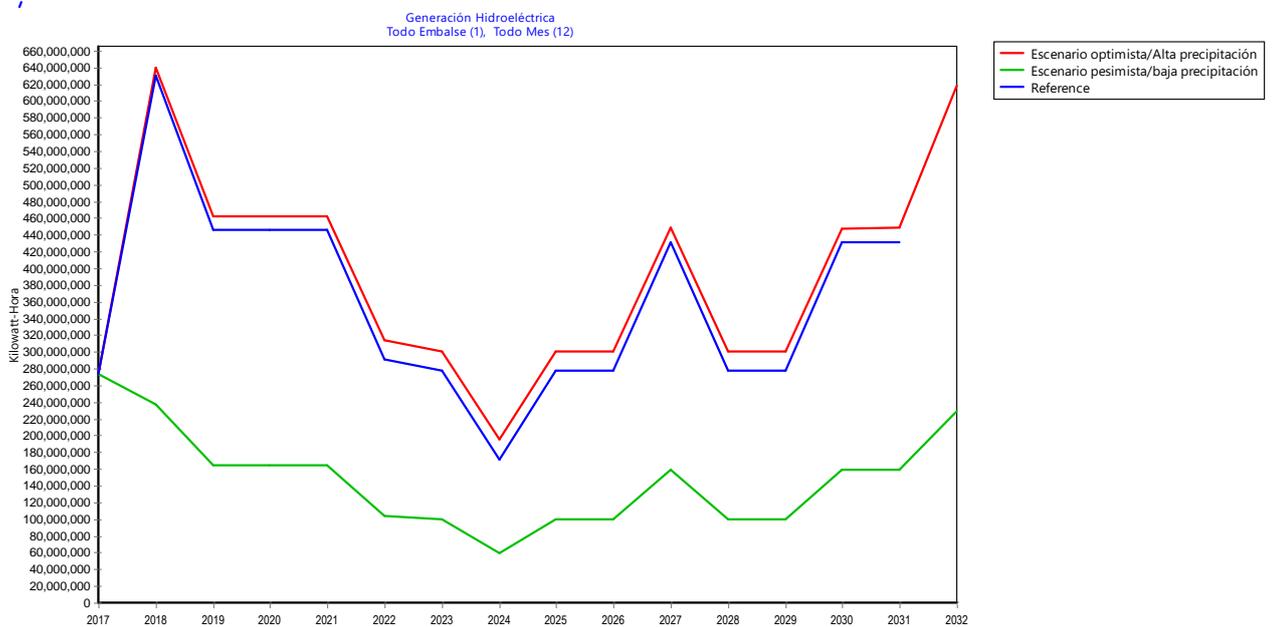
Asimismo, las disminuciones de la producción de la generación hidroeléctrica en los escenarios de referencia y optimista son notables a lo largo del tiempo cuando se suman las pérdidas de generación a través de los años (Tabla 22).



**Figura 34. Variación del caudal anual del sitio de la presa proyectado en metros cúbicos por segundo(m3/seg.) de los años 2018 al 2032**

Fuente: (Elaboración propia)

#### 4.2.3 Elevación De Temperatura De 2 Grado Celsius (°C) Para Los Tres Escenarios De Lluvias



**Figura 35. Generación hidroeléctrica en WEAP, aumento de 2°C de los años 2017 al 2032**

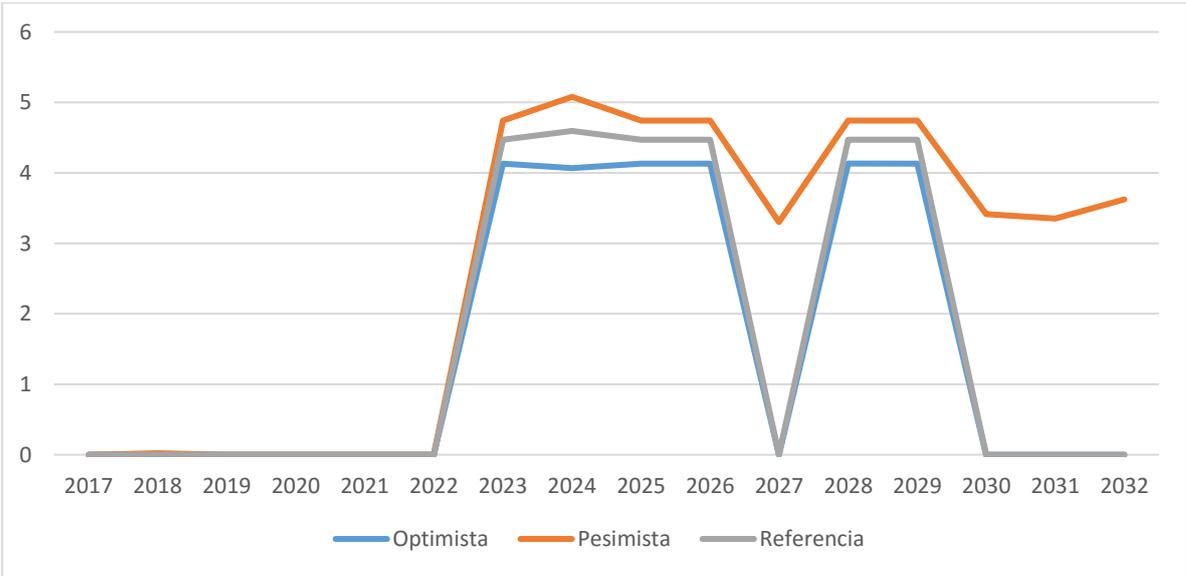
Fuente: (Elaboración propia a partir de WEAP)

El siguiente es un análisis de comparaciones entre el caudal anual en metros cúbicos por segundo(m<sup>3</sup>/seg) lo cual denomina que años son húmedos y que años son secos, proyectados para los años 2018 al 2032(Figura 34) y el porcentaje de disminución en la generación hidroeléctrica del proyecto por la elevación de 2°C de manera lineal creciente a través de esos años (Figura 36)

En la figura 36. Es visible que, en los tres escenarios, en los años 2023 al 2026, 2028 y 2029 son años secos según la figura 34. Por lo cual es congruente que existan perdidas de generación hidroeléctrica las cuales rondan entre un 4 y 5%.

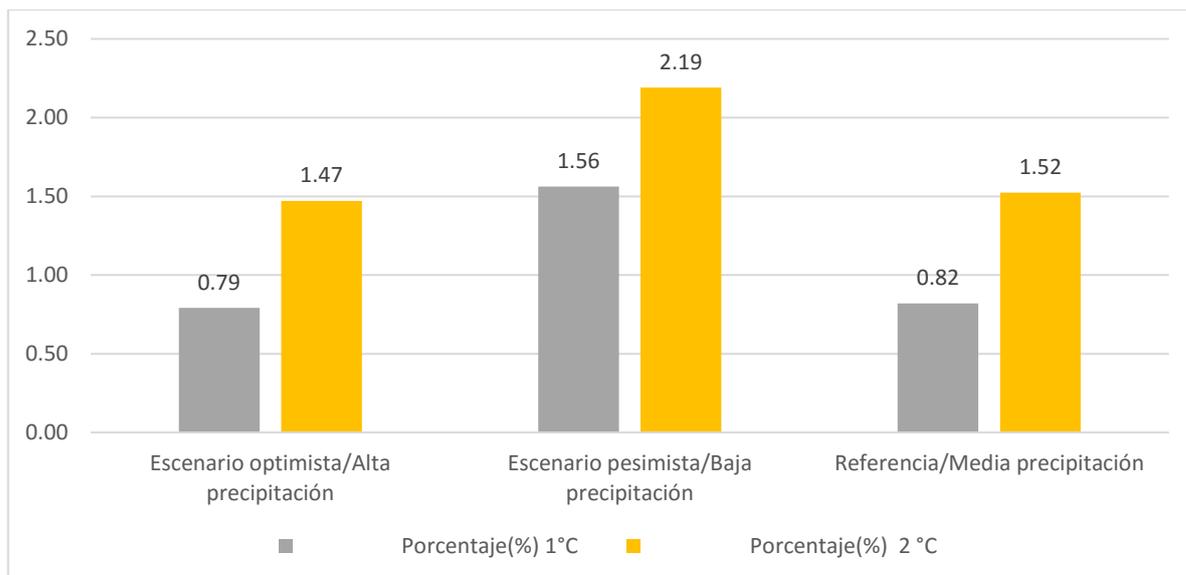
Sin embargo, en el escenario **pesimista** se observa que, en los años 2027, 2030 al 2032 se presentan perdidas de generación hidroeléctrica de un 3.5%, lo cual no es observable en los demás escenarios.

El análisis total de los escenarios optimista y de referencia se encuentran en los resultados finales de la tabla 22.



**Figura 36. Porcentaje (%) de disminución de la generación hidroeléctrica al aumentar la Temperatura en 2 °C a lo largo de los años 2018 al 2032.**

Fuente: (Elaboración propia).



**Figura 37. Porcentajes de disminución de generación hidroeléctrica total de los años 2018 al 2032 al cambio de Temperatura en 1 y 2 °C.**

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 37. se muestran los porcentajes totales de disminución de generación hidroeléctrica total de los años 2018 al 2032 al cambio de Temperatura en 1 y 2 °C.

Es observable que cada aumento de grado Celsius de Temperatura es un poco menos del doble en los escenarios optimista y de referencia, en cuanto a los porcentajes de pérdidas de generación eléctrica total en el intervalo de años.

Sin embargo, en la figura 37. se observa que en el total del déficit de generación en los años 2018 al 2032 para los cambios de Temperatura de 1 y 2°C, los efectos del cambio climático no eran perceptibles en los escenarios de lluvias optimista y de referencia, ya que había congruencia entre la disminución de generación hidroeléctrica causada por caudales de años secos y muy secos(Figura 35) los efectos de la sequía son notables y se observan al final de los años, comprobándose la teoría de que este fenómeno es perceptible a lo largo del tiempo(Tabla 22) y que la sequía es sigilosa en un punto exacto del tiempo y es difícil de percibir en el presente.

**Tabla 23. Producción de energía hidroeléctrica en disminución de los años 2018 al 2032 a distintos cambios de Temperatura(°C)**

Fuente:(Elaboración propia)

Porcentaje y producción de energía hidroeléctrica en disminución(2018-2032)	Porcentaje(%)		Energía hidroeléctrica(KWh)	
	1°C	2 °C	1°C	2 °C
Aumento de Temperatura(°C)	1°C	2 °C	1°C	2 °C
Escenario optimista/Alta precipitación	0.79	1.47	39,318,640.91	73,104,886.94
Escenario pesimista/Baja precipitación	1.56	2.19	37,816,719.04	53,010,820.59
Referencia/Media precipitación	0.82	1.52	39,348,514.71	73,120,361.76

En la tabla anterior se muestra el total de generación hidroeléctrica en KWh, la cual surge de la Tabla 21. De generaciones totales de los años 2018 al 2032, se observa asimismo que las disminuciones de generación hidroeléctrica son decrecientes desde el escenario optimista, de referencia al pesimista respectivamente. Es así que en la columna cinco, las disminuciones hidroeléctricas son de **73,104,886.94; 73,120,361.76 y 53,010,820.59 KWh** respectivamente y lo mismo ocurre en el caso de aumento de 1°C de Temperatura (Columnas 4).

Para los porcentajes de disminución de generación sucede lo contrario, puesto que a mayor cantidad de energía eléctrica producida menor es el porcentaje de pérdidas de energía en disminución, tal es el caso de la columna dos(Porcentaje para1°C) en el cual sus cantidades van en orden decreciente en los escenarios pesimista, de referencia y optimista(**1.56, 0.82 y 0.79%**), lo mismo ocurre para el caso de porcentaje de disminución de energía hidroeléctrica para la elevación de 2°C de Temperatura(Columna 3).

#### 4.3 Comparación De La Hipótesis

**A un aumento de la Temperatura, es igual la generación de energía en el proyecto hidroeléctrico Patuca III para los años 2018 al 2032(Falso)**

De acuerdo al análisis de Tabla 21 y 23 se observa que la Temperatura influye directamente en el porcentaje de disminución de generación hidroeléctrica del proyecto

**A aumento de la Temperatura, es menor la producción de energía en el proyecto hidroeléctrico Patuca III para los años 2018 al 2032(verdadero)**

En el análisis de la Tabla 23.se puede constatar que a mayor aumento de Temperatura existe una mayor perdida en la producción de la generación hidroeléctrica a lo largo de los años.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Se diseñaron modelos matemáticos utilizando variables meteorológicas promedio anuales (Caudal máximo anual, Temperatura) y mensuales (Caudal promedio mensual, Humedad relativa y lluvias) mediciones correspondientes a los años 1973 al 2010. Existe una congruencia en la generación hidroeléctrica en orden decreciente de lluvias: alta, de referencia y baja (**4,966,898,322; 4,801,887,219.35 y 2,420,186,700.62 KWh, Tabla 21**) a través de los años **2018 al 2032**. El proyecto hidroeléctrico “Patuca III” se diseñó para una generación de energía promedio anual de 326 GWH o de **5,216,000,000 KWh** en su generación de diseño o nominal.
- De la generación hidroeléctrica total de los años 2018 al 2032 se evaluó la disminución en la generación hidroeléctrica y su porcentaje los cuales fueron de: **39,318,640.91; 39,348,514.71 y 37,816,719.04 KWh (0.79, 0.82 y 1.56%)** en los escenarios optimista, de referencia y pesimista para la elevación de **1°C** de Temperatura y de **73,104,886.94; 73,120,361.76 y 53,010,820.59 KWh (1.47, 1.52 y 2.19%)** respectivamente para la elevación de **2°C** de Temperatura (Tabla 23). Estos resultados indican que cuando llueve mucho el déficit de generación es menor que en escenarios de pocas lluvias (1.56 y 2.19%). Asimismo, las pérdidas de generación en escenarios lluviosos son mayores que en los escenarios pesimistas lo cual sucede debido a que a mayor generación de energía hay mayor cantidad de pérdidas de energía eléctrica en comparación al hecho de que existan pocas lluvias.
- Los aumentos de Temperatura próximos son inevitables, aún los escenarios de mayores de medidas de mitigación, cuidado al ambiente y cambios en la generación por energía renovable, no lograrán combatirlo, por ello es necesario tomarlos cuenta para el diseño de proyectos hidroeléctricos en la planificación, haciendo simulaciones del recurso hídrico a los años siguientes mediante programas como WEAP®  
Asimismo, creando **políticas de operación de déficit de generación hidroeléctrica**, para poder paliar los efectos de las pérdidas de energía, como en el caso de la represa hidroeléctrica el “Infiernillo” en México y muchas más en el mundo, las cuales cuentan con un ministerio de energía y planificación. La energía eléctrica, además de ser un fenómeno de la naturaleza, es un bien que se puede comprar y vender, por lo que su déficit de generación representaría también pérdidas monetarias para el país.

## 5.2 Recomendaciones

Honduras debe considerar crear una red meteorológica más confiable y darle un mayor seguimiento para que sean útiles, ya que tiene un gran potencial hídrico que aparentemente no ha sido explotado aún y la información meteorológica debería estar más al alcance del ciudadano.

Más aún, por la gran riqueza hídrica del país, es conveniente ampliar este tipo de proyectos, también tomando en cuenta no sólo la lluvia(mm) sino también variables como a evaporación, la temperatura, la humedad relativa, **permeabilidad de los suelos, agua subterránea, las cuales influyen en la cantidad de agua disponible en los ríos**

El país debe contar con una mayor cantidad de estaciones meteorológicas en las más importantes cuencas del país, las cuales son 24 y cuentan con el mayor potencial hídrico de Centroamérica.

También se recomienda completar aquellas en las que sólo mide lluvia, con datos como: Evapotranspiración, evaporación, humedad relativa; así como un mayor cuidado de la toma de datos en las estaciones, lo cual debería ser una prioridad nacional, puesto que el país tiene un enorme potencial hidroeléctrico), para hacer simulaciones en WEAP®, es necesario contar con datos de mediciones de por lo menos un año y simular el clima de la serie de años a futuro.

Aunque, el personal de CENAOS indica que tienen una preferencia por los datos que conllevan la manipulación humana, en la cuenca del río Patuca se observó que de todas las estaciones las cuales eran siete (**Ver ANEXO II**) sólo una resultó confiable, esto debido a que se le dio poca importancia de parte de las instituciones públicas e indirectamente del gobierno. Las estaciones automáticas o que necesitan de mantenimiento y recolección de datos desde una base de datos inteligente, separada de la estación, son una excelente opción.

## 5.3 Trabajos Futuros

Además de tomar en cuenta variables climáticas como la evaporación, la humedad relativa y la temperatura para el cálculo del potencial hídrico disponible, se necesita tomar en cuenta la transpiración de las plantas ya que a mayor cantidad de vegetación mayor conservación del agua. En Honduras los estudios para cuantificar la deforestación son estimados por varias instituciones del país (ICF, 2011) y todas divergen bastante.

## **CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD**

### 6.1 Título De La Propuesta

Plan Nacional De Estimación Del Potencial Hídrico Disponible En Las Cuencas Del País A Través De La Instalación De Estaciones Meteorológicas Automáticas.

### 6.2 Introducción

Los efectos del calentamiento global o elevación de temperatura son inevitables, si bien es cierto en el escenario optimista de muy baja generación de Gases de Efecto Invernadero(GEI) (tabla de cambio de Temperatura) se pronostica que la Temperatura subirá entre 0.5 y 1.3°C en el intervalo de años del 2016 al 2035.

Honduras tiene una altas magnitudes de precipitación media anual por cuenca (un promedio de 1600mm, tabla promedio de cuencas) comparable con América del Sur, las más elevada magnitud de lluvias de la región (1600mm, tabla primera precipitaciones en el mundo) por lo cual se le denomina como un país con alta riqueza hídrica.

Por lo cual puede llegar a ser aprovechable el recurso pero es necesario contar con datos meteorológicos confiables de largos períodos de tiempo en años(más de 30; FHIS, n.d )para una correcta gestión del recurso hídrico, lo cual será útil no sólo para proyectar la generación de electricidad de un proyecto hidroeléctrico sino para una distribución equitativa del agua, su disponibilidad para la creación de un balance hídrico actualizado a lo largo de los años para conocer la cantidad disponible del recurso a través de un balance climático de lluvias y para estudiar los desastres naturales.

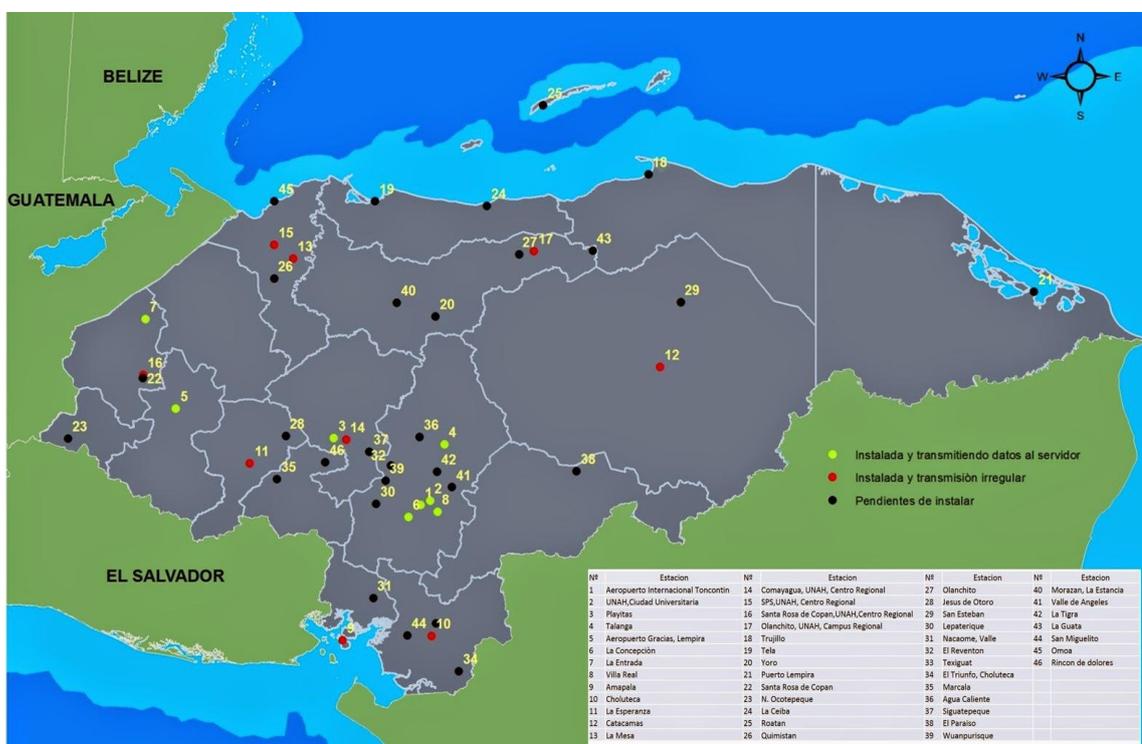
### 6.3 Descripción Del Plan De Acción

Como se observó en la tabla 3. éstas suelen instalarse en lugares de administración pública: CENAOS, UNAH, ENEE, etc. Para una mayor eficiencia en los datos climatológicos es necesario que se transmitan los datos vía GPRS o inteligentemente desde la estación hasta el centro de recolección de datos el cual puede ser CENAOS ubicado en COPECO y la UNAH (PNUD, 2014)

Existen antecedentes de instalaciones de la instalación de 46 estaciones GPRS en los siguientes lugares:

“Represa Concepción, Aldea Villa Real (Francisco Morazán), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Aeropuerto Toncontín (Tegucigalpa), Aeropuerto La Mesa (San Pedro Sula), Catacamas (Olancho), Playitas (Comayagua), La Entrada (Copán), La Esperanza (Intibucá). Parque Nacional La Tigra y la más reciente en el Paraíso” (PNUD, 2014)

En la figura siguiente se observa que sólo ocho estaciones meteorológicas automáticas están funcionando bien actualmente del total que son 46.



**Figura 38. Distribución de estaciones meteorológicas automáticas en Honduras**

Fuente: (SMN, 2014)

## 6.4 Presupuesto

Según el PNUD, 2014 el valor del equipo para fortalecer la red meteorológica nacional así como la renovación de la red convencional que ha tenido más de 20 años de funcionar, tuvo un valor de 1, 001,602.19 lempiras.

En la siguiente tabla se muestra la propuesta del presupuesto de la digitalización y acondicionamiento en las 24 cuencas propuestas en el país (IHCIT-UNAH, 2014) y en las cuales es preferible instalar tres por cada río principal de la cuenca; cueca alta, media y baja (SEI, 2015) las cuales suman un total de 73 estaciones meteorológicas automáticas a instalar.

Asimismo, en Honduras existen 20 estaciones meteorológicas completas (Pág. 42 y ANEXO II) las cuales necesitan acondicionamiento, por lo cual se terminarán de instalar 53, siempre con la ayuda de organismos internacionales, interesadas en el desarrollo del país como ser el Programa de las Naciones Unidas(PNUD).

**Tabla 23. Presupuesto nacional de la instalación y acondicionamiento de la red de estaciones meteorológicas automáticas en las 24 cuencas de Honduras.**

Número de estaciones	53
Costo total del equipo(Lps) y acondicionamiento de las estaciones convencionales	1,371,759.52
Instalación(Lps)	3,150,000
Total(Lps)	4,521,759.52

Fuente:(Elaboración propia a partir de datos del (PNUD, 2014))

## BIBLIOGRAFÍA

Acciona (acciona, n.d) Contratos de Energía Renovable, Recuperado de <http://www.acciona.com/es/lineas-de-negocio/energia/contratos-epcs/>

Andia, A., Yugar, W. (2009) *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233*, (Tesis de pregrado) Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.

Arganis, M., Mendoza, R., Domínguez, R. y Carrizosa, E (2015) Políticas de operación de la presa «El Infiernillo» para generación de hidroelectricidad con programación dinámica estocástica, *Revista iberoamericana del agua* 2(2015), 97–104

Argeñal, F (2010), *Variabilidad climática y cambio climático en Honduras*, sacado de [cambioclimaticohn.org/uploaded/content/category/1688369313.pdf](http://cambioclimaticohn.org/uploaded/content/category/1688369313.pdf)

Avalos, R (2008), Comportamiento de los sedimentos fluviales en Honduras. Rendimiento y pérdida de suelo Zona Central y Oriental, *Revista Ciencia y Tecnología*, No. 2, Segunda época, sacado de: <https://dicyp.unah.edu.hn/gestordocumentos/40>

Carta, J., Calero, R., Colmenar, A. y Castro, M. (2009) Centrales de energía renovable. Madrid, España. PEARSON.

Carvajal, J (25 de junio de 2016), Dirección General de Recursos Hídricos(DGRH), Tegucigalpa, Honduras (F.S Villafranca, Entrevistador).

Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Instituto Ambiental de Estocolmo(SEI,2009). *Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*, Recuperado de [http://www.weap21.org/downloads/Guia\\_modelacion\\_WEAP\\_Espanol.pdf](http://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf)

Chávez, A y Gonzáles, D (2015) El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. *Revista iberoamericana del agua* 2(2015), 3-13.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015a) *El cambio climático y la energía en América Latina* (S.15-01198) recuperado de [http://200.9.3.98/bitstream/handle/11362/39751/S1501198\\_es.pdf?sequence=1](http://200.9.3.98/bitstream/handle/11362/39751/S1501198_es.pdf?sequence=1)

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL,2015) *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe*(S1420656) Recuperado de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656\\_es.pdf?sequence=4](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656_es.pdf?sequence=4)

Compañía Hondureña de Energía Renovable (COHERSA), (n.d), n.d, Recuperado de <http://www.hydrohn.com/caracteristicas>

Conde, M (20 de Julio de 2016), Unidad de Hidrología en la Empresa Nacional de Energía Eléctrica(ENEE), Tegucigalpa, Honduras (F.S Villafranca, Entrevistador).

Domínguez, E., Rivera, H., Vanegas R., y Moreno, P. (2008) *Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 32(123): 195-212, 2008. ISSN 0370-3908.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2014) Fortalecen la red meteorológica nacional con 46 estaciones[Mensaje en un blog], recuperado de <http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/presscenter/articles/2014/08/21/fortalecen-la-red-meteorol-gica-nacional-con-46-nuevas-estaciones.html>

Elmabrok, Y (2015). *Efectos del cambio climático en la producción hidroeléctrica en el río Sacramento, Región hidrológica* (Tesis de maestría), Universidad del Estado de California, Sacramento, Estados Unidos.

Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE b, 2016), Unidad Especial de Proyectos de energía Renovable(UEPER), *Central hidroeléctrica Patuca III, Piedras Amarillas, Olancho*, sacado de <http://enee.hn/ueper/>

Empresa Nacional de Energía Eléctrica, ENEE (2016), *Dirección de planificación estratégica corporativa*(marzo). Recuperado de <http://www.enee.hn/planificacion/2016/Boletines/BOLETIN%20MARZO%202016.pdf>

ENEE (2013) *Proyecto hidroeléctrico Patuca III, especificaciones técnicas* (Volumen I-V)

Flores, W., (2016). *El sector energía de Honduras: Aspectos necesarios para su comprensión y estudio*, Tegucigalpa, Honduras(P.) ISBN: 978-99926-52-78-7. 69

Flores, W., Rodas O., Rivas F., (2010). Initiatives in the Rational Use of Energy in Honduras, *Latin America Transactions IEEE*, Sept. 2010, Volumen 8, Issue: 5, Pages: 533-541, DOI: 10.1109/TLA.2010.5623506, ISSN: 1548-0992 69

Fondo Hondureño de inversión social (FHIS, n.d), dirección de ambiente *Manual de referencias hidrológicas para el diseño de obras de drenaje menor*, recuperado de <https://es.scribd.com/doc/50534903/Manual-de-Referencias-Hidrologicas-del-FHIS>

Grupo de Investigación de Transporte de Sedimento (GITS,2007), *Hidrología básica y aplicada* (n.d) Recuperado de <http://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>

Hernández, R., Fernández, C y Baptista, M (2010) *Metodología de la investigación*. D.F, México: Mc Graw Hill.

Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal (ICF,2011) Estimaciones de la deforestación en Honduras. Recuperado de <http://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2015/12/PREFO-La-deforestacio-en-Honduras.pdf>

IHCIT-UNAH (2014), Estación meteorológica, recuperado de <https://ihcit.unah.edu.hn/acerca-del-ihcit/organigrama/estacion-de-meteorologia/>

Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI, 2015). *TUTORIAL Una colección de modelos independientes para enseñar e software de WEAP*, Recuperado de [http://www.weap21.org/downloads/WEAP\\_Tutorial\\_Spanish.pdf](http://www.weap21.org/downloads/WEAP_Tutorial_Spanish.pdf)

Kawas, N., Torres L., Elvir O. y Barralaga F. (2015) *Inventario de Gases con Efecto Invernadero en el Distrito Central presentado para el Banco Interamericano de Desarrollo(BID)*.

La Asociación Mundial para el Agua (GWP,2015) *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica* Recuperado de [http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM\\_Files/SRH\\_Honduras\\_2016.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/SRH_Honduras_2016.pdf)

La gaceta (2105) Tabla de categorización ambiental, acuerdo ministerial No. 016-2015, recuperado de: <https://honduras.eregulations.org/media/Acuerdo%20Ministerial%20016-2015%20Tabla%20de%20Categorizacio%CC%81n%20Ambiental%20.pdf>

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2014) Agua y energía, París, Francia, recuperado de [http://www.ianas.org/books/Water\\_and\\_Energy\\_2014.pdf](http://www.ianas.org/books/Water_and_Energy_2014.pdf)

n.d, I, J (24, agosto, 2011) Áreas protegidas de Honduras [Mensaje en un blog] Recuperado de <http://isisyoseline.blogspot.com/>

Noticias de Negocios de Américas (BNA, n.d), SINOHYDRO CORPORATION Ltd. Las Condes, Santiago, Chile, Recuperado de: <http://www.bnamericas.com/company-profile/es/sinohydro-corporation-ltd-sinohydro>

Ochoa, R (2013) Gestión integral para el desarrollo. Cuencas, agua potable y saneamiento de fuentes, una correlación necesaria (Tesis doctoral), recuperado de [https://issuu.com/doctoradoccssgd/docs/tesis\\_final\\_final\\_rodolfo\\_ochoa\\_02](https://issuu.com/doctoradoccssgd/docs/tesis_final_final_rodolfo_ochoa_02)

Pérez-Arriaga, Ignacio J., et al, *Regulation of the Power Sector*, Springer Verlag, London, UK, 2013.

Red Interamericana de Academia de Ciencias (IANAS, 2016) *Guía hacia un futuro energético sustentable en las Américas* Recuperado de [http://www.ianas.org/books/books\\_2016/libro\\_energia\\_web.pdf](http://www.ianas.org/books/books_2016/libro_energia_web.pdf)

Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS,2012), FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO, AC, *Diagnóstico del agua en las Américas*, recuperado de [http://www.ianas.org/water/book/diagnostico\\_del\\_agua\\_en\\_las\\_americanas.pdf](http://www.ianas.org/water/book/diagnostico_del_agua_en_las_americanas.pdf)

Secretaria de energía, recursos naturales, ambiente y minas (GEO, 2014) *Informe del estado del ambiente GEO Honduras*, Recuperado de <https://acchonduras.files.wordpress.com/2014/12/geo-2014.pdf>

Servicio Meteorológico Nacional (SMN,29 de Julio del 2014) Instalación Estaciones meteorológicas Automáticas [Mensaje en un blog], recuperado de <http://smnhonduras.blogspot.com/>

SINOHYDRO (2011). *Reporte básico de diseño, proyecto hidroeléctrico. Patuca III* (fase I)

Troyo, E., Mercado, G., Cruz, A., Nieto, A., Valdez, R., García, J. y Murillo, B. (2014) *Análisis de la sequía y desertificación mediante índices de aridez y estimación de la brecha hídrica en Baja California Sur, noroeste de México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, núm. 85, 2014, pp. 66-81, doi: 10.14350/rig.32404

UNAH- IHCIT (2014) *Resumen Ejecutivo: Evaluación de los recursos hídricos en su régimen natural a nivel nacional* , sacado de: <https://acchonduras.files.wordpress.com/2014/07/resumen-ejecutivo-evaluacion-de-recursos-hidricos-2014-ihcit-unah.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de Honduras(UNAH)-Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra(IHCIT) (2012) *Atlas Climático y de Gestión de Riesgo de Honduras* Recuperado de <http://www.fisicaunah.com/Home/DisplayPdf?filename=AtlasClimatico.pdf>

## ANEXOS

Publicación De Artículo Científico



### ANÁLISIS DE LA POSIBLE DISMINUCIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIEDRAS AMARILLAS “PATUCA III” ANTE LA INFLUENCIA DE VARIABLES CLIMÁTICAS

Fany Sobeida Villafranca Rivera<sup>1</sup>, Wilfredo Cesar Flores Castro<sup>2</sup>

*Universidad Tecnológica Centroamericana, Tegucigalpa, Honduras.*

(Enviado: Septiembre, 2016)

#### Resumen:

El presente informe presenta un análisis sobre la posible disminución en la generación de energía hidroeléctrica ante escenarios de aumento de temperatura en 1 y 2°C en los años 2018 al 2032 en el proyecto hidroeléctrico Piedras Amarillas “Patuca III”, ubicado en Olancho a 5 Kms debajo de la confluencia de los ríos Guayape y Guayambre, la cual aún no se encuentra construida y entrará en funcionamiento en marzo del 2018

Está diseñada para una potencia instalada de 104 Mega Watts(MW) y 326,000 MWh de generación hidroeléctrica promedio anual, para el presente estudio se utilizaron variables climáticas como ser precipitación, caudal, evaporación, humedad relativa y temperatura de la estación meteorológica Cayetano, las que fueron ingresadas al programa: Sistema de Evaluación y Planificación de Agua(WEAP).

*Palabras clave:* Evaporación neta, precipitaciones, Temperatura, KiloWattthora.

#### Abstract:

This report presents an analysis of the possible decrease in power generation in scenarios of temperature increase in 1 and 2 °C in the years 2018 to 2032 in the hydroelectric project *Piedras Amarillas "Patuca III"* located in Olancho 5 km below the confluence of the Guayape and Guayambre rivers, which is not yet built and become operational in March 2018

Is designed for an installed capacity of 104 Mega Watts (MW) and 326,000 MWh of hydroelectric generation to year. For this study climate variables such as precipitation, flow, evaporation, relative humidity and temperature of the weather station Cayetano 2 Kms downstream the future dam site were used, wich they were admitted to the program: Evaluation and Planning of Water System (WEAP).

*Keywords:* Net evaporation, precipitation, temperature, KiloWatthour.

#### 1. Introducción

La visión del presente estudio es generar información, utilizando una metodología con el programa de planificación y evaluación del agua WEAP y la utilización las variables que dependen del medio ambiente como ser las precipitaciones en la clasificación de lluvia(UNAH, 2012, p. 21), evaporación, humedad relativa, caudal, temperatura y especificaciones técnicas de diseño del proyecto hidroeléctrico

Figura 1. Artículo científico para la revista INNOVARE de UNITEC.

Como parte de la extensión de la presente investigación se elaboró un artículo científico para optar a su publicación en la revista electrónica de ciencia y tecnología INNOVARE de la Universidad Tecnológica Centroamericana(UNITEC) que será enviado en el mes de octubre del 2016

## ANEXO I



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.

**Figura 1,2,3,4; Estación meteorológica, CENAOS, antes SMN con sede en COPECO, estación meteorológica, agosto del 2016.**

Fuente: (Propia)



Figura 5. Pluviómetro



Figura 6. Piranómetro, radiación solar



Figura 7. Anemómetro y dirección  
del viento



Figura 7.

**Figura 5,6,7, 8; Estación meteorológica, CENAOS, antes SMN con sede en COPECO, estación meteorológica, agosto del 2016.**

Fuente: (Propia)

## ANEXO II

**Tabla. Datos de las estaciones de lluvia en milímetros(mm) de la ENEE.**

Nombre de la Estación	Enero	Febrero	Marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Valor anual
Cayetano	71.9	36.4	22.6	29	115.8	219.4	255	233.3	204.4	191.7	109.5	72	1561
Santa María	42.5	20.4	13.3	26.9	114.2	203.8	172.2	152.4	179.9	157	85.5	50.3	1218.5
las Animas	24.3	12.2	12.4	22.8	100.7	160.7	115.2	129.2	146.1	121.7	57.8	24.2	927.3
San Isidro	59.7	30.2	24.9	46	144.9	210	170.5	165.9	188.1	165.1	94.4	64.8	1364.5
San Felipe	20	11.8	14.2	45	132.3	164.8	119.5	136.4	176.4	144.7	68.1	27.6	1060.6
Fco. Becerra	31.9	18.2	15.2	29.2	108.5	162.8	189.2	156.4	162.8	138.2	64.9	46.6	1123.9
Las Mesetas	43.2	27.5	22.5	27.3	104.6	195.6	207.2	194	181.4	163.5	94	62.8	1323.6
San Antonio	24	14.5	22.6	31.2	93.3	114.6	132.6	126.1	153.2	152	63.1	30.6	957.7
El Vijao	39.1	26.8	18.1	39	123.9	153.6	201.8	194.9	162.1	160.4	81.4	45.9	1246.9
Guayape	27.6	15.7	14.7	33.3	106.5	142.9	155.4	158.6	180.9	188.7	71.4	33.3	1128.8
San Pedro de C.	41.5	27.7	17	19	88	173.1	198.9	165.9	158.7	131.3	61.4	45.4	1127.9
Concordia	31.7	21.6	27.2	32	107.4	128.9	115.2	125.9	155.2	154.3	70.9	42.5	1012.8
Guaimaca	24.3	13.9	10.7	40.2	122.8	141141.9	130.6	126.4	153.7	197	64.4	38.9	1064.8
La Lima	30	20.8	17.2	38.1	107.6	133.9	118.5	118.1	148.8	154.7	82.5	43.5	1013.6
Azacualpa	87.5	40	35.3	45.1	123.1	236.1	256.6	230	218.1	209.2	132.5	82.2	1695.6
Junquillo	65.7	38	21.2	28.9	99	162.8	213.6	196.9	157.6	142.8	91.2	61.6	1279.2
río Abajo	33.7	23	16.2	28.7	125.3	139.7	128.2	128.5	177.2	175.4	99.6	51.6	1127.2
Guayape	38.9	17.1	22.3	35.6	145.2	144.3	127.5	151.2	192.1	133.8	70	28.3	1106.4
El Guineo	82	59.2	30.3	38	135.8	245.2	341.2	268.9	249.2	259.4	139.7	102.4	1951.3
Valencia	126.7	99	50.2	44.5	175.9	335.5	433.5	396.2	268.6	214.3	197.7	96.8	2439
S. Antonio de C.	63.1	51.1	34	26.6	109.8	283.8	280.6	232.5	221.6	242.7	119.4	58.4	1723.5
Lluvia media mensual(mm)	48.1	29.8	22	33.6	118	184	194	180	183	171	91.4	52.8	1307.3
Porcentaje(%)	3.68	2.28	1.68	2.57	9.05	14	14.8	13.8	14	13.1	6.99	4.04	100

Fuente:(SINOHYDRO,2011)

### ANEXO III

Ingrese el área correspondiente a una ramificación, o la proporción del área cubierta por la ramificación anterior

Rango: 0 y superior

Sitios de demanda y Cuenca	2017	2018-2032	Escala	Unidad	
agriculture catchment	2680.3	2680.3	Mil	ha	
Regadío	5	5	Porcentaje porción dehectarea		
Bosques	80	80	Porcentaje porción dehectarea		
Pastizales	Remain...	Remainder(100)	Porcentaje porción dehectarea		

Figura 1. Ingreso a WEAP® de área de la cuenca, porcentaje por porción de hectárea de regadío, bosques y pastizales

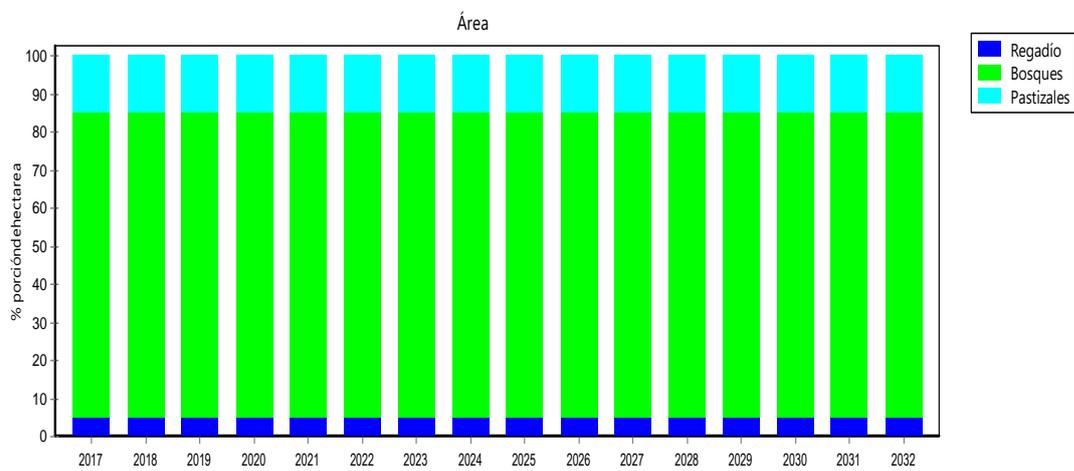


Figura 2. Resultados gráficos de Weap® de los datos de la figura 1.

## ANEXO IV

<b>Generación hidroeléctrica(KWh) en WEAP®, con Temperatura constante de 25.5 °C de los años 2018 al 2032</b>																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Sum
<b>Optimista</b>	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	313,789,218.93	313,789,186.99	203,265,953.24	313,789,218.93	313,789,218.93	326,000,000.00	313,789,302.21	313,789,218.93	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,966,898,322.58
<b>Pesimista</b>	272,897,004.43	237,041,227.71	164,576,042.17	164,576,355.39	164,576,042.17	103,931,989.08	103,931,977.00	61,911,697.81	103,931,989.08	103,931,989.08	164,576,042.17	103,932,019.57	103,931,989.08	164,576,042.17	164,576,040.72	237,288,253.01	2,420,186,700.62
<b>Referencia</b>	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	290,209,262.78	290,209,231.56	179,734,587.02	290,209,262.78	290,209,262.78	326,000,000.00	290,209,345.19	290,209,262.78	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,801,887,219.35
<b>Generación hidroeléctrica(KWh) en WEAP®, aumento de 1°C de los años 2018 al 2032</b>																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Sum
<b>Optimista</b>	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	313,789,218.93	300,821,154.48	202,851,473.73	313,789,218.93	300,821,154.48	326,000,000.00	313,789,302.21	300,821,154.48	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,927,579,681.68
<b>Pesimista</b>	272,897,004.43	237,017,735.89	164,576,042.17	164,576,355.39	164,576,042.17	103,931,989.08	99,001,657.29	61,751,372.89	103,931,989.08	99,001,546.67	159,507,857.16	103,932,019.57	99,001,393.55	159,368,709.46	159,529,810.79	229,768,456.00	2,382,369,981.57
<b>Referencia</b>	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	290,209,262.78	277,237,040.86	179,303,709.25	290,209,262.78	277,236,744.67	326,000,000.00	290,209,345.19	277,236,334.66	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,762,538,704.64
<b>Disminución de la generación hidroeléctrica(KWh) al elevar la Temperatura en 1°C en los años 2018 al 2032</b>																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Optimista</b>	-	-	-	-	-	-	12,968,032.50	414,479.51	-	12,968,064.45	-	-	12,968,064.45	-	-	-	39,318,640.91
<b>Pesimista</b>	-	23,491.82	-	-	-	-	4,930,319.72	160,324.92	-	4,930,442.41	5,068,185.01	-	4,930,595.53	5,207,332.71	5,046,229.93	7,519,797.01	37,816,719.04
<b>Referencia</b>	-	-	-	-	-	-	12,972,190.71	430,877.77	-	12,972,518.11	-	-	12,972,928.12	-	-	-	39,348,514.71
<b>Porcentaje(%) de pérdida de generación hidroeléctrica al cambio de Tempetarura de 1°C en los años 2018 al 2032</b>																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
<b>Optimista</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.133	0.204	0.000	4.133	0.000	0.000	4.133	0.000	0.000	0.000	0.792
<b>Pesimista</b>	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	4.744	0.259	0.000	4.744	3.080	0.000	4.744	3.164	3.066	3.169	1.563
<b>Referencia</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.470	0.240	0.000	4.470	0.000	0.000	4.470	0.000	0.000	0.000	0.819

<b>Generación hidroeléctrica(KWh) en WEAP®, con Temperatura constante de 25.5 °C de los años 2018 al 2032</b>																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Sum
Optimista	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	313,789,218.93	313,789,186.99	203,265,953.24	313,789,218.93	313,789,218.93	326,000,000.00	313,789,302.21	313,789,218.93	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,966,898,322.58
Pesimista	272,897,004.43	237,041,227.71	164,576,042.17	164,576,355.39	164,576,042.17	103,931,989.08	103,931,977.00	61,911,697.81	103,931,989.08	103,931,989.08	164,576,042.17	103,932,019.57	103,931,989.08	164,576,042.17	164,576,040.72	237,288,253.01	2,420,186,700.62
Referencia	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	290,209,262.78	290,209,231.56	179,734,587.02	290,209,262.78	290,209,262.78	326,000,000.00	290,209,345.19	290,209,262.78	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,801,887,219.35
<b>Generación hidroeléctrica(KWh) en WEAP®, aumento de 2°C de los años 2018 al 2032</b>																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Sum
Optimista	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	313,789,218.93	300,821,154.48	195,001,453.75	300,821,154.48	300,821,154.48	326,000,000.00	300,821,140.60	300,821,154.48	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,893,793,435.64
Pesimista	272,897,004.43	236,994,095.70	164,576,042.17	164,576,355.39	164,576,042.17	103,931,989.08	99,001,657.29	58,767,046.59	99,001,633.62	99,001,511.02	159,141,210.48	99,001,687.65	99,001,657.29	158,954,876.46	159,061,495.44	228,691,575.26	2,367,175,880.02
Referencia	272,897,004.43	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	290,209,262.78	277,237,040.86	171,475,757.77	277,236,977.49	277,236,650.21	326,000,000.00	277,237,123.19	277,237,040.86	326,000,000.00	326,000,000.00	326,000,000.00	4,728,766,857.58
<b>Disminución de la generación hidroeléctrica(KWh) al elevar la Temperatura en 2°C en los años 2018 al 2032</b>																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
Optimista	-	-	-	-	-	-	12,968,032.50	8,264,499.50	12,968,064.45	12,968,064.45	-	12,968,161.60	12,968,064.45	-	-	-	73,104,886.94
Pesimista	-	47,132.01	-	-	-	-	4,930,319.72	3,144,651.21	4,930,355.46	4,930,478.06	5,434,831.69	4,930,331.91	4,930,331.79	5,621,165.71	5,514,545.28	8,596,677.75	53,010,820.59
Referencia	-	-	-	-	-	-	12,972,190.71	8,258,829.26	12,972,285.30	12,972,612.58	-	12,972,222.00	12,972,221.93	-	-	-	73,120,361.76
<b>Porcentaje(%) de pérdida de generación hidroeléctrica al cambio de Tempetatura de 2°C en los años 2018 al 2032</b>																	
Porcentaje(%)																	
Años/Escenario	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
Optimista	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.13	4.07	4.13	4.13	0.00	4.13	4.13	0.00	0.00	0.00	1.47
Pesimista	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	4.74	5.08	4.74	4.74	3.30	4.74	4.74	3.42	3.35	3.62	2.19
Referencia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.47	4.60	4.47	4.47	0.00	4.47	4.47	0.00	0.00	0.00	1.52



