



## A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### 1. TIPO DE PROYECTO:

Interno	x	Grupal	
Semilla		Multidisciplinario	

### 2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Básica		Aplicada	x
--------	--	----------	---

### 3. UNIDAD EJECUTORA *(Departamento, Instituto o Estructura de Investigación)*

1. Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica
2. Grupo de investigación en energías alternativas (SCINERGY)
3. Grupo de aeronáutica y termofluidos aplicada (ATA)

### 4. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Energía y Materiales (Área estratégica del Estado Ecuatoriano) x
2. Diseño y análisis de sistemas energéticos ✓
3. Medio ambiente y conservación x
4. Recursos hídricos sostenibles x

### 5. TÍTULO DEL PROYECTO *(mínimo 10 palabras):*

Estimación de la huella hídrica gris de las plantas térmicas Ecuatorianas y sus implicaciones medioambientales en las cuencas hídricas del país

### 6. RESUMEN *(máximo 200 palabras)*

El nexo energía-agua es un tema protagónico en la discusión científica mundial actual. Parte de esta incluye el estudio del uso de agua para la generación eléctrica. El agua, en diferentes formas y volúmenes, es usada en todas los tipos de plantas de generación, especialmente las térmicas. Estudios recientes han demostrado que el agua puede ser un limitante para la generación eléctrica, y que los impactos ambientales de tal generación son significativos.

La huella hídrica es una herramienta que ha sido utilizada para la cuantificación del uso del agua en numerosos casos en el pasado. Esta herramienta se divide en huella azul (uso de agua dulce), verde (uso de precipitación) y gris (impacto en la calidad de agua). El análisis de huellas hídricas de plantas térmicas se ha basado en estimaciones de la huella hídrica azul únicamente. No



obstante, la huella hídrica gris, es crucial para complementar estos estudios ya que provee información sobre el impacto en la calidad de las fuentes de agua. Este estudio complementará un estudio previo realizado por los autores (huella azul). Anticipamos que en el caso Ecuatoriano, la limitación de agua para la generación no es volumétrica, sino debido a la calidad de la misma.

## 7. PALABRAS CLAVE (4-6)

Nexo energía-agua; plantas termoeléctricas; contaminación térmica; huella hídrica; sistemas de enfriamiento; Ecuador

## 8. OBJETIVOS

### 8.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar la huella hídrica gris, en término de contaminación térmica, de las plantas térmicas ecuatorianas que usan fuentes de agua dulce y salada (esteros) y que funcionan bajo sistemas de enfriamiento de pasada y con torre de enfriamiento. Además, definir que posibles implicaciones ambientales tiene esta huella hídrica en la calidad de los cuerpos de agua del país.

### 8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Realizar el inventario del sistema de enfriamiento de plantas térmicas operacionales en el país y fuentes de agua usadas para sus sistemas de enfriamiento.
- b. Diferenciar las plantas con respecto a su ubicación geográfica y a la cuenca a la que pertenecen.
- c. Realizar el inventario de los volúmenes de agua, temperaturas de entrada, operación y descarga del sistema de enfriamiento (por planta térmica).
- d. Realizar inventario de las diferentes componentes ambientales de los lugares a estudiarse (como temperatura estacional del agua en los cuerpos de agua usados para el sistema de enfriamiento). Además, la estimación de la situación base térmica de los cuerpos de agua que son usados como fuentes para el uso en sistemas de enfriamiento de plantas térmicas.
- e. Estimación de la huella hídrica de las plantas térmicas del país, los rangos correspondientes con respecto a plantas con similares condiciones de operación.
- f. Definición de posibles impactos ambientales debido a la huella hídrica del país.

## 9. HIPÓTESIS (opcional)

El uso consuntivo del agua en las plantas térmicas del país no es muy grande en comparación a otros países y en relación a otras tipos de generación (como por ejemplo la biomasa, que en el país es mayoritariamente producido por ingenios azucareros). Esto determina que no exista una clara limitación del uso de agua para la generación termoeléctrica. No obstante, a nuestro parecer, la calidad del agua podría llegar a ser un límite para este tipo de generadores.

## 10. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS (con relación a los objetivos)



- a. Inventario detallado de las plantas térmicas del país, incluyendo sistemas de enfriamiento y las fuentes de agua usadas para tal fin.
- b. Mapa detallado del grupo de plantas térmicas del país, que permitirá definir las implicaciones ambientales del uso del agua en las respectivas cuencas hídricas.
- c. Inventario del uso del agua y condiciones de uso por planta térmica.
- d. Caracterización térmica de los cuerpos de agua que son usados como fuente para los sistemas de enfriamiento en las plantas térmicas
- e. Huella hídrica gris por planta térmica mensual y su agregación anual. Además, rango de huellas hídricas por tecnología de generación y enfriamiento.
- f. Rango de aceptabilidad de polución térmica en cuerpos de agua (por cuerpo de agua), basados en el análisis cualitativo de los resultados. Mapa de zonas de riesgo.

## 11. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN *(científico, social, económico u otros)*

La investigación tendrá un impacto científico global y local. Estudios recientes en otros sectores diferentes a la generación de electricidad han demostrado que la huella gris puede llegar a ser significativa y comparable a la huella azul (Gerbens-Leenes, Hoekstra, & Bosman, 2018; Gerbens-Leenes, Mekonnen, & Hoekstra, 2013; Mekonnen & Hoekstra, 2012). No obstante han existido solo unos cuantos estudios con respecto a la huella gris de la generación, y prácticamente se han basado en plantas de carbón. Este estudio tiene la prospectiva de mostrar la aplicación de la metodología de huella hídrica gris para un sistema real y con implicaciones reales. La publicación que saldría de este proyecto será relevante para el público científico mundial, ya que sería la primera estimación del tipo sobre un mayor grupo de plantas térmicas basado en datos reales. Esto la convertiría en una publicación referente para la discusión sobre el nexo energía-agua.

En cuanto a la relevancia social, esta investigación tiene la capacidad de tener un gran impacto sobre la sociedad ecuatoriana ya que definiría las posibles implicaciones ambientales del uso del agua para la generación eléctrica. Basados en estos resultados, los entes reguladores tendrían mayor información al momento de emitir estándares de uso y desecho del agua para las plantas generadoras de electricidad. Con esto se trataría de mejorar la calidad del agua para otros usos (como el agua potable o el uso en la agricultura) además de preservar los ecosistemas en los cuerpos de agua del país.

## 12. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO *(máximo tres carillas)*

El nexo energía-agua ha sido desarrollado extensamente en los últimos años (Hamiche, Stambouli, & Flazi, 2016; Urban, 2017). Su función principal es permitir la discusión entre los sectores energéticos y de recursos del agua, para así evitar conflictos por uso de recursos, o para evitar que ciertas acciones que pueda tomar un sector tengan efectos indeseables sobre el otro. El nexo agua-energía es también parte de lo que desde el 2011 (Hoff, 2011), se ha denominado como el nexo agua-energía-alimentos (Chi Zhang, Chen, Li, Ding, & Fu, 2018). Esta temática es de principal interés ya que abarca las principales necesidades para la subsistencia de la humanidad en el planeta (World Economic Forum,



2011). Además, como lo establece McCollum y otros (2018), es una temática que abarca la mayoría de sectores estratégicos para los objetivos del desarrollo humano definido por las Naciones Unidas (United Nations Development Programme [UNPD], 2006).

Dentro del nexo agua-energía, una parte de la discusión académica se ha centrado específicamente con respecto a la estimación del uso del agua para el sector eléctrico, en lo que se ha denominado como el nexo agua-electricidad (Jiang & Ramaswami, 2015). Esto se ha dado principalmente por la grave escasez de agua que ha vivido la costa oeste de los Estados Unidos (Gleick, 1994), y como esto ha generado que cada vez más sea necesario tomar en cuenta las limitaciones del recurso hídrico para la generación de electricidad (Jordan Macknick, Newmark, Heath, & Hallett, 2011). No obstante, esta problemática no solamente se enfoca en partes con limitaciones del recurso hídrico evidentes, sino que cada vez han existido estimaciones del uso de agua por parte de las plantas térmicas en regiones cada vez más abundantes de agua. Por ejemplo, lo hecho por (Coelho et al., 2017; Herath, Deurer, Horne, Singh, & Clothier, 2011), que estudiaron el nexo agua-energía para un sector de Brasil y Nueva Zelanda respectivamente. Esto debido a que las limitaciones de agua no solamente se definen en términos volumétricos anuales promedios, sino que dependen de condiciones temporales y espaciales. El agua es un recurso de acceso público, que a diferencia de otros recursos, sus limitaciones temporales y espaciales son la mayoría de veces fundamentalmente inevitables (Arjen Y. Hoekstra, 2017). Esto hace que el agua no esté disponible todo el tiempo y en todo el territorio.

Ahora bien, el uso del agua puede generar dos impactos (A. Y. Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011): un impacto volumétrico, en el cual el consumo de agua en un punto evita que otro usuario pueda acceder a este recurso en un punto posterior, y un impacto en la calidad del agua, en el que existe disponibilidad volumétrica de agua, pero su calidad no permite que el usuario la consuma posteriormente. La huella hídrica (water footprint en inglés), es una herramienta muy útil para definir estos dos tipos de impactos. Es por esta razón, muchos estudios (por ejemplo (Gerbens-Leenes, Hoekstra, & Bosman, 2018; Gerbens-Leenes, Mekonnen, & Hoekstra, 2013; Mekonnen & Hoekstra, 2012)) han utilizado esta metodología para cuantificar el impacto generado en los cuerpos de agua por actividades humanas. El sector eléctrico también ha sido parte de estas estimaciones, con estudios que han abarcado un sinnúmero de plantas eléctricas, para una gran variedad de locaciones. Más específicamente, el estudio de plantas termoeléctricas ha sido realizado por varios grupos de investigación, por ejemplo están los artículos publicados (J. Macknick, Newmark, Heath, & Hallett, 2012; Meldrum, Nettles-Anderson, Heath, & Macknick, 2013; Sesma-Martín, 2019; Sesma-Martín & Rubio-Varas, 2017; Chao Zhang, Anadon, Mo, Zhao, & Liu, 2014). No obstante, la mayoría de estudios de este tipo se han enfocado en la estimación de la huella hídrica azul, y no la huella hídrica gris. Esto debido principalmente a la falta de datos de las plantas termoeléctricas en cuestión.

En este sentido, este proyecto de investigación busca enfocarse en la parte del impacto a la calidad del agua debido al uso de este recurso por plantas térmicas de generación eléctrica.

- *Publicaciones previas relacionadas con el proyecto*

Nosotros basamos este futuro proyecto de investigación en dos principales publicaciones, que han sido publicados en revistas científicas de alto nivel (q1) y con un alto factor de impacto. La



primera, el estudio realizado por nosotros que hizo la cuantificación de la huella hídrica azul de las tecnologías de generación eléctrica del sistema Ecuatoriano: (Vaca-Jiménez, Gerbens-Leenes, & Nonhebel, 2019a). Esta publicación, además de presentar el caso ecuatoriano, es la primera que realiza estimaciones de la huella hídrica para plantas termoeléctricas que usan derivados de petróleo (como el bunker y fuel oil pesado), y plantas térmicas que funcionan como motores de combustión interna. La segunda publicación, (Vaca-Jiménez, Gerbens-Leenes, & Nonhebel, 2019b), muestra las características espaciales y temporales de la variación de los recursos hídricos, y como estos afectan el sistema eléctrico ecuatoriano.

Además se han publicado los siguientes artículos en revistas de alto impacto en SCOPUS:

- I. **Palacios, J.,** Abadias, A., Valero, A., Valero, A., & Reuter, M. A. (2019). Producing metals from common rocks : The case of gold. *Resources, Conservation & Recycling*, 148(February), 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.026>  
**Factor de impacto: 5.228 (JCR 2017, Q1 Waste Management and Disposal)**
- II. **Palacios, J.,** Abadias, A., Valero, A., Valero, A., & Reuter, M. A. (2019b). The energy needed to concentrate minerals from common rocks: the case of copper ore. *Energy*, 181, 494–503. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.145>  
**Factor de impacto: 5.582 (SJR 2017, Q1 Energy (miscellaneous))**
- III. **Palacios, J.-L.,** Calvo, G., Valero, A., & Valero, A. (2018a). Exergoecology Assessment of Mineral Exports from Latin America: Beyond a Tonnage Perspective. *Sustainability*, 10(3), 723. <https://doi.org/10.3390/su10030723>  
**Factor de impacto: 2.075 (JCR 2017, Q2 Geography, Planning, and Development)**
- IV. **Palacios, J.-L.,** Calvo, G., Valero, A., & Valero, A. (2018b). The cost of mineral depletion in Latin America: An exergoecology view. *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.06.007>  
**Factor de impacto: 2.695 (JCR 2017, Q1 Management, Monitoring, Policy and Law)**
- V. **Palacios, J. L.,** Abadías Llamas, A., Valero, A., Vallejo, M. C., & Reuter, M. A. (2019). Simulation-based approach to study the effect of the ore-grade decline on the production of gold. In 32 nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS). Wroclaw.  
**Factor de impacto:** La conferencia internacional ECOS tiene una gran reputación en el campo de la Termodinámica y se realiza por más de 30 años consecutivos.

Juntas estas publicaciones son la base para la continuación de la línea de investigación y permitirán que este estudio propuesto contribuya a la temática en general. Además estas publicaciones muestran que en nuestro grupo de trabajo existe un conocimiento amplio del tema a tratarse.

### 13. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA (máximo tres carillas)

La ejecución del proyecto puede ser dividido en tres partes: (i) Levantamiento de inventarios, (ii) estimaciones de caso base y huella hídricas por planta térmica, y (iii) análisis cualitativo del



impacto ambiental de estas huellas hídricas. Estas partes están compuestas a su vez por una serie de pasos consecutivos (9 pasos). A continuación una descripción detallada de cada una de estas partes y sus respectivos pasos.

i. **Levantamiento de Inventarios:**

Para el levantamiento del inventario de las plantas térmicas del país se partiría del inventario hecho en nuestra publicación anterior (Vaca-Jiménez et al., 2019a). No obstante, este inventario necesita ser refinado aún. Para esto, el **Paso 1** de la metodología sería realizar visitas técnicas y guiadas a 8 plantas térmicas: Gonzalo Zevallos, Trinitaria, Barcaza Keppel, Aníbal Santos, Termoesmeraldas I, Termoesmeraldas II, Guangopolo I y Guangopolo II.

Para el levantamiento de datos del uso histórico del uso del agua se estima realizarlo en dos pasos:

- **Paso 2.** Realizar una petición de datos históricos del uso del agua por parte de las plantas térmicas, que según la ley de transparencia y acceso a la información del estado ecuatoriano, las empresas públicas ecuatorianas están en la obligación de entregar. Hemos tenido experiencia con esto, y no ha existido problemas en acceder a dicha información en el pasado.
- **Paso 3.** Realizar mediciones en sitio sobre las temperaturas de entrada y descarga de los sistemas de enfriamiento de las plantas térmicas en cuatro diferentes meses del año para contemplar la diferencia estacional de temperaturas y condiciones de operación de la planta termoeléctrica. Estimamos que este paso sea solamente para un máximo de tres o cuatro plantas termoeléctricas grandes, y que se encuentren en un mismo lugar. Por ejemplo, en la parte baja de la cuenca del río Guayas, donde se pueden encontrar las plantas térmicas: Gonzalo Zevallos, Trinitaria, Barcaza Keppel, Aníbal Santos, entre otras.

El levantamiento de los datos climáticos y la determinación de las características térmicas de los cuerpos de agua se los realizaría en un paso (**Paso 4**). Para esto, solicitaríamos información del levantamiento histórico de datos climatológicos al INAMHI. El INAMHI cuenta con esta información y esta es accesible mediante una solicitud expresa que determine las estaciones meteorológicas/hidrológicas requeridas y las variables solicitadas. Actualmente contamos con el mapa detallado de las estaciones climatológicas/hidrológicas del INAMHI y los datos disponibles en ellas (INAMHI, 2019). A partir del inventario que saldría producto del **Paso 1**, podríamos definir exactamente las estaciones de las que se necesitan los datos.

ii. **Estimación de la huella hídrica gris**

Según el Manual de Análisis de la huella hídrica, (A. Y. Hoekstra et al., 2011), la huella hídrica gris ( $WF_{gris}$ ) se calcula de la siguiente manera:

$$WF_{gris}[x, t] = \frac{L[x, t]}{(c_{max} - c_{nat})[x, t]} \quad (1)$$

Donde,  $L$  significa la carga del contaminante, que cambia temporalmente y espacialmente ( $x, t$ ),  $c_{max}$  establece la concentración máxima aceptable para el cuerpo de agua, y  $c_{nat}$  establece la concentración de la sustancia en condiciones normales. No obstante, la ecuación (1) está definida básicamente para concentraciones de contaminantes como químicos o sustancias nocivas. Para la polución térmica, esta ecuación debe ser modificada para considerar las características térmicas del problema, ya que la dilución del contaminante en este caso se da a una transferencia de calor entre el cuerpo caliente y frío, y no a una dilución por sí misma. Ante esto, el **Paso 5** de esta metodología calcularía la  $WF_{gris}$  de la siguiente manera (basado en (A. Y. Hoekstra et al., 2011)),



$$WF_{gris}[x, t] = \frac{(T_{des} - T_{act})[x, t]}{(T_{max} - T_{nat})[x, t]} * Desc \tag{2}$$

Donde,  $T_{des}$  es la temperatura que tiene la descarga y  $T_{act}$  es la temperatura actual del cuerpo de agua que recibe dicha descarga.  $T_{max} - T_{nat}$  determina el incremento aceptable máximo del cambio térmico, y  $Desc$  es el caudal de descarga. Para lo cual, se utilizaría los datos levantados en el numeral anterior.

El **Paso 6**, calcula la  $WF_{gris}$  por unidad de electricidad generada por la planta térmica. Esto permitirá tener una huella hídrica normalizada para su comparación con diferentes tecnologías de generación.

iii. **Análisis cualitativo del impacto ambiental**

La primera parte de este análisis, **Paso 7**, corresponde al cálculo del nivel de polución del agua (WPL por sus siglas en ingles). De acuerdo al Manual de Huella hídrica (A. Y. Hoekstra et al., 2011), este se lo calcula de esta manera:

$$WPL[x, t] = \frac{\sum WF_{gris}[x, t]}{R_{act}[x, t]} \tag{3}$$

Donde, el  $R_{act}$  es el volumen actual del cuerpo de agua y que determina la capacidad del agua para diluir la cantidad de contaminante necesario. Este cálculo debe realizarse considerando la variación anual ( $t$ ) y espacial ( $x$ ) en los niveles del cuerpo de agua, y como vimos anteriormente (paso X) en el cambio anual de huella hídrica gris ( $WF_{gris}$ ).

La teoría, (A. Y. Hoekstra et al., 2011), establece que cuando el nivel de agua disponible en el cuerpo de agua es pasado por el requerimiento de agua para diluir del contaminante, en este caso polución térmica, el cuerpo de agua es considerado en estado de riesgo. Es decir cuando el WPL sea mayor a 1. Basado en esto, el siguiente paso de la metodología, **Paso 8**, determinará el nivel de riesgo de los cuerpos de agua del país y generaría un mapa de riesgo.

Finalmente, para el **Paso 9**, el proyecto realizaría entrevistas a biólogos y expertos en ecosistemas hídricos para preguntarles su opinión con respecto a las implicaciones biológicas que estos niveles de riesgo implicarían para las poblaciones cercanas a las plantas térmicas. Debido al reducido tiempo y alcance de este proyecto, los impactos de la huella gris, solamente serán definidos cualitativamente, para poder ser retomados en un futuro proyecto.

## 14. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Transferencia de Calor	Termocuplas y sensores de flujo de alta precisión	Laboratorio de transferencia de Calor, Departamento de Ingeniería Mecánica
Transferencia de Calor	Cámara termográfica 40°C/250°C	- Proyecto PIS15-12 Oficina M310



Transferencia de Calor	Cámara termográfica - 40°C/600°C	Laboratorio de transferencia de Calor, Departamento de Ingeniería Mecánica
------------------------	-------------------------------------	--

## 15. MONTO REQUERIDO

### 16.1 Monto y justificación del equipo requerido

No se requiere equipo adicional.

### 16.2 Monto y justificación del personal requerido

No se requiere personal adicional.

### 16.4 Monto y justificación de los investigadores invitados

No existirán montos para investigadores invitados.

### 16.5 Monto y justificación de los viajes y salidas del campo requeridos

La mayoría de los gastos se definirán para los viajes para levantamiento de datos en el país. Además, se destinará parte de los montos del proyecto para pagar las tarifas “Open Access” para la publicación de los resultados de este proyecto de investigación en revistas Q1, como “Journal of Cleaner Production”, “Water Research” o “Water Resources and Industry”.

## 16. FONDOS ADICIONALES

No existen.

## 17. REFERENCIAS

- Coelho, C. D., Da Silva, D. D., Sedyama, G. C., Moreira, M. C., Pereira, S. B., & Lana, Â. M. Q. (2017). Comparison of the water footprint of two hydropower plants in the Tocantins River Basin of Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 153, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.088>
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., & Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. *Water Resources and Industry*, 19(April 2017), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.11.002>
- Gerbens-Leenes, P. W., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2013). The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 1–2, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.001>
- Gleick, P. H. (1994). Water and Energy. *Annual Review Energy Environment*, 19, 267–299.
- Hamiche, A. M., Stambouli, A. B., & Flazi, S. (2016). A review of the water-energy nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 319–331. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.020>
- Herath, I., Deurer, M., Horne, D., Singh, R., & Clothier, B. (2011). The water footprint of hydroelectricity: a methodological comparison from a case study in New



- Zealand. *Journal of Cleaner Production*, 19(14), 1582–1589.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.007>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual* (1st ed.). London: Earthscan.
- Hoekstra, Arjen Y. (2017). Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resources Management*, 31(10), 3061–3081.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>
- Hoff, H. (2011). Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference: *The Water, Energy and Food Security Nexus*, (November), 1–52. Stockholm: Stockholm Environment Institute.
- INAMHI. (2019). RED DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS. Retrieved April 1, 2019, from <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>
- Jiang, D., & Ramaswami, A. (2015). The “thirsty” water-electricity nexus: Field data on the scale and seasonality of thermoelectric power generation’s water intensity in China. *Environmental Research Letters*, 10(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024015>
- Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., & Hallett, K. C. (2012). Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: A review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 7(4).  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045802>
- Macknick, Jordan, Newmark, R., Heath, G., & Hallett, K. C. (2011). *A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies*. Golden, Colorado.
- McCollum, D. L., Echeverri, L. G., Busch, S., Pachauri, S., Parkinson, S., Rogelj, J., ... Riahi, K. (2018). Connecting the sustainable development goals by their energy inter-linkages. *Environmental Research Letters*, 13(3), 033006.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaafe3>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*, 15(3), 401–415.  
<https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Meldrum, J., Nettles-Anderson, S., Heath, G., & Macknick, J. (2013). Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. *Environmental Research Letters*, 8(1), 015031. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015031>
- Sesma-Martín, D. (2019). The River’s Light: Water Needs for Thermoelectric Power Generation in the Ebro River Basin, 1969–2015. *Water*, 11(3), 441.  
<https://doi.org/10.3390/w11030441>
- Sesma-Martín, D., & Rubio-Varas, M. del M. (2017). Freshwater for Cooling Needs: A Long-Run Approach to the Nuclear Water Footprint in Spain. *Ecological Economics*, 140, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.032>
- United Nations Development Programme [UNPD]. (2006). *Human Development Report*



2006 - *Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. Retrieved from <http://hdr.undp.org/en/media/HDR06-complete.pdf>

Urban, J. J. (2017). Emerging Scientific and Engineering Opportunities within the Water-Energy Nexus. *Joule*, 1(4), 665–688.  
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.10.002>

Vaca-Jiménez, S., Gerbens-Leenes, P. W., & Nonhebel, S. (2019a). The water footprint of electricity in Ecuador: Technology and fuel variation indicate pathways towards water-efficient electricity mixes. *Water Resources and Industry*, 22, 100112.  
<https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100112>

Vaca-Jiménez, S., Gerbens-Leenes, P. W., & Nonhebel, S. (2019b). Water-electricity nexus in Ecuador: The dynamics of the electricity’s blue water footprint. *Science of The Total Environment*, 696, 133959.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133959>

World Economic Forum. (2011). Water Security: The Water-Food-Energy-Climate Nexus. In D. Waughray (Ed.), *World Economic Forum Water initiative* (1s ed.).  
<https://doi.org/10.5822/978-1-61091-026-2>

Zhang, Chao, Anadon, L. D., Mo, H., Zhao, Z., & Liu, Z. (2014). Water-carbon trade-off in China’s coal power industry. *Environmental Science and Technology*, 48(19), 11082–11089. <https://doi.org/10.1021/es5026454>

Zhang, Chi, Chen, X., Li, Y., Ding, W., & Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *Journal of Cleaner Production*, 195, 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194>

## B. DATOS INFORMATIVOS

### 1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, CODIRECTOR, COLABORADORES Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Rol	Título de mayor nivel y mención.
Palacios Encalada José Luis	1720164639	10	Ingeniería Mecánica	Director	PhD
Vaca Jiménez Santiago David	1715989487	6	Ingeniería Mecánica	Colaborador	MSc, PhD(c)

\* HSS =Horas Semana Semestre: Es el número de horas que se dedica por semana a la investigación. Este número de horas se mantiene para todo el semestre



\* HSS =Horas Semana Semestre: Es el número de horas que se dedica por semana a la investigación. Este número de horas se mantiene para todo el semestre

## DECLARACIÓN FINAL DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del Director del Proyecto  
Nombre: Dr. Jose Luis Palacios E.  
C.I.: 172016463-9







**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**  
**PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



**AÑO 1**

**Título del proyecto**

**Estimación de la huella hídrica gris de las plantas térmicas Ecuatorianas y sus implicaciones medioambientales en las cuencas hídricas del país**

Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial con IVA/Aporte del IESS	Precio Total Referencial con IVA / Aporte del IESS
<b>1 Contratación de servicios personales por contrato</b>							
1.1	Ayudante de investigación 1		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.2	Ayudante de investigación 2		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.3	Prestación de servicios profesionales 1 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.4	Prestación de servicios profesionales 2 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 1</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial sin IVA	Precio Total Referencial sin IVA	Precio Unitario Referencial con IVA	Precio Total Referencial con IVA
<b>2 Maquinaria y equipo especializado</b>							
2.1	Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.2	Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.3	Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.4	Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.5	Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 2</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>3 Equipo informático</b>							
3.1	Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.2	Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.3	Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.4	Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.5	Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 3</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>4 Insumos y reactivos</b>							
4.1	Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.2	Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.3	Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.4	Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.5	Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 4</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>5 Literatura especializada</b>							
5.1	Cantidad de libros (especificar el area)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5.2	Adquisición de artículos científicos			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 5</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>6 Salidas de campo y de muestreo</b>							
6.1	Pasajes al interior	4	Unidad	\$ 201.50	\$ 806.00	\$ 201.50	\$ 806.00
6.2	Viaticos y subsistencias al interior	4	Unidad	\$ 180.00	\$ 720.00	\$ 201.60	\$ 806.40
<b>Subtotal 6</b>				\$ 381.50	\$ 1,526.00	\$ 403.10	\$ 1,612.40
<b>7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas</b>							
7.1	Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7.2	Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 7</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas</b>							
8.1	Pasajes al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
8.2	Viaticos al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 8</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>9 Pago de inscripciones</b>							
9.1	Pago de inscripciones al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
9.2	Pago de inscripciones al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 9</b>				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes</b>							
10.1	Pago de publicaciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2	Pago de publicaciones al exterior	1	Unidad	\$ 3,750.00	\$ 3,750.00	\$ 4,387.50	\$ 4,387.50
10.3	Pago de suscripciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3	Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 10</b>				\$ 3,750.00	\$ 3,750.00	\$ 4,387.50	\$ 4,387.50
<b>TOTAL</b>					\$ 5,276.00		\$ 5,999.90

P11-09



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN  
PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



Título del proyecto	
Estimación de la huella hídrica gris de las plantas térmicas Ecuatorianas y sus implicaciones medioambientales en las cuencas hídricas del país	

**Presupuesto consolidado sin IVA**

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total sin IVA
1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,526.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3,750.00	\$ 5,276.00
2	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>TOTAL</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,526.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3,750.00	\$ 5,276.00

**Presupuesto consolidado con IVA**

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total con IVA
1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,612.40	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 4,387.50	\$ 5,999.90
2	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>TOTAL</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,612.40	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 4,387.50	\$ 5,999.90