

Blue water footprint of the oil sector in Ecuador

Erick Castillo-Bravo, Ingeniero¹, Anthony Burbano-Gómez, Ingeniero¹, Kenny Escobar-Segovia, Master¹, Danilo Arcentales-Bastidas, Master¹, Jorge Liguizaca-Dávila, Master¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, Red Internacional de Investigación de Actividades Hidrocarburíferas y Energéticas (RIIAHE), Guayaquil - Ecuador, erigecas@espol.edu.ec, ajburban@espol.edu.ec, kescobar@espol.edu.ec, daanarce@espol.edu.ec, jorollig@espol.edu.ec

Abstract– The water footprint is used as an indicator of the use of fresh water that verifies the direct and indirect use of water as a producer or consumer. The objective of the study is to evaluate the blue water footprint of the hydrocarbon sector of Ecuador through a literature review and the chain summation approach, to propose measures that help reduce the impact in this sector. The chain summation approach applied to the oil sector was used together with the production data of oil companies in 2019 and the blue water footprint indicator. Finally, a blue water footprint of the hydrocarbon sector of 3.68 million cubic meters was obtained in 2019. This result was compared with the agricultural blue water footprint, where the influence of both water footprints denotes the clear superiority of the agricultural sector with more than 99% in all comparisons of its 4 years with respect to the hydrocarbon sector.

Keywords-- Hydrocarbon, Blue Water Footprint, Oil Production.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.94>
ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Huella hídrica azul del sector petrolero en Ecuador

Erick Castillo-Bravo, Ingeniero¹, Anthony Burbano-Gómez, Ingeniero¹, Kenny Escobar-Segovia, Master¹, Danilo Arcentales-Bastidas, Master¹, Jorge Lliguizaca-Dávila, Master¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, Red Internacional de Investigación de Actividades Hidrocarburíferas y Energéticas (RIIAHE), Guayaquil - Ecuador, erigecas@espol.edu.ec, ajburban@espol.edu.ec, kescobar@espol.edu.ec, daanarce@espol.edu.ec, jorollig@espol.edu.ec

Resumen- La huella hídrica se emplea como indicador del uso de agua fresca que verifica el uso directo e indirecto del agua como productor o consumidor. El objetivo del estudio es evaluar la huella hídrica azul del sector hidrocarburífero del Ecuador mediante revisión de bibliografía y el enfoque de sumatoria en cadena, para el planteamiento de medidas que ayuden con la disminución del impacto en este sector. Se empleó el enfoque de sumatoria en cadena aplicado al sector petrolero junto a los datos de producción de empresas petroleras en el año 2019 y el indicador de huella hídrica azul. Finalmente, se obtuvo una huella hídrica azul del sector hidrocarburífero de 3.68 millones de metros cúbicos en el 2019. Este resultado se lo comparó con la huella hídrica azul agrícola, donde la influencia de ambas huellas hídricas denota la superioridad clara del sector agrícola con más de 99% en todas las comparaciones de sus 4 años con respecto al sector hidrocarburífero.

Palabras claves-- Hidrocarburífero, Huella Hídrica Azul, Producción Petrolera

I. INTRODUCCIÓN

El agua cubre más del 70% de la superficie de la Tierra. Esta se encuentra en el aire, el suelo, los ríos, los lagos y el océano; este último representa el 97.5% de la superficie de la Tierra. Del total de agua existente en el planeta, solo el 2.5% corresponde a agua dulce, cuyo 70% se halla en hielo, nieve y glaciares y 30% en agua subterránea. Finalmente, cabe señalar que solo el 1% del total de agua disponible está en la superficie: 38% en humedales y 52% en lagos. De toda el agua dulce disponible, aproximadamente el 1% es considerada como potable en todo el planeta [1].

El agua es considerada como una necesidad vital y, en la mayoría de las legislaciones del mundo, su acceso es un derecho para la población. La importancia del agua no solo radica en la utilidad que tiene esta en las actividades cotidianas de las personas, sino también en que es un elemento fundamental para el desarrollo cultural de los pueblos. Su presencia o ausencia establece diferencias claves en la calidad de vida de estos. Además, el líquido vital se ha constituido como un eje imprescindible en el progreso de las naciones. Por otra parte, la escasez del recurso del agua ha originado, a lo largo de la historia, la precarización de la calidad de vida, el medio ambiente y la salud de las comunidades que la padecen [2]. Sin embargo, cabe señalar que las poblaciones afectadas por las dificultades de acceso al agua siempre han buscado alternativas novedosas en la gestión de este recurso.

Arjen Hoesktra fue el creador del término “huella hídrica” en el año 2002 cuando se encontraba trabajando en el UNESCO-IHE. Este término se define como la medida para cuantificar el agua que se consume y contamina con la finalidad de producir servicios y bienes en toda la cadena de suministro. Su interés fue incrementándose de forma exponencial una vez introducido a la academia, luego, en 2007, las compañías de bebidas y alimentos como PepsiCo, Nestlé, Coca-Cola, Heineken y Unilever fueron tomando consciencia de cuánto depende del agua y del riesgo relacionado al mismo que sus empresas se enfrentarán [3].

El Ecuador descubrió su primer pozo petrolero en el año 1911 en Ancón, Santa Elena, por parte de la compañía Anglo. La producción de este pozo no fue rentable de forma comercial hasta 1925 y sus exportaciones hasta 1928 que fue cuantificado con valores marginales. Luego se mostró que entre los años 1928 y 1957, las exportaciones alcanzaron valores de hasta 42 millones en barriles de petróleo la cual fue concentrada en Santa Elena. No fue sino hasta 1972 que se alcanzaron valores récord y se inició el “boom” petrolero. En dichos años las compañías Western Geophysical, Tennessee, California Oil, Standard Oil y Shell, lograron obtener 5 millones de hectáreas en concesiones nuevas con la finalidad de explorar en el litoral y en la amazonia [4].

La producción energética contabiliza alrededor del 15% del uso del agua a nivel mundial y dicho valor se puede incrementar, hacia el 2035, el uso energético del agua se proyecta un salto hasta el 20% mientras que para 2050 se prevé una demanda del 55% [5 - 6].

Los requerimientos de agua que se necesita para la producción de gas y petróleo suelen ser invisible al ojo del público general. Aunque el desarrollo de gas y petróleo no es un consumidor destacable de agua al ser comparado con otras industrias, la agricultura o las necesidades municipales, la demanda de este puede tener altos impactos en las fuentes de agua de la localidad e incrementar el conflicto entre los usuarios del agua en áreas de alto estrés de mismo o en tiempos de sequía [7].

También puede llevar a la introducción de políticas medioambientales a niveles corporativos, ya que medir de forma cuantitativa permite un mejor entendimiento de las

actividades industriales y la influencia en la comunidad y medio ambiente local [8].

La constitución del Ecuador garantiza el derecho fundamental e irrenunciable al agua, constituye al patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, lo que conlleva a que se reconozca y se garantice a la personas el derecho a una vida digna, que asegure el agua potable entre otros, conforme el Art. 12 y 66. En la Carta Magna en el artículo 411 dicta además que el estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico [9].

La demanda del recurso hídrico para los distintos usos es inversamente proporcional a la disponibilidad, pues desde la vertiente del pacífico se atiende la demanda para una población mayor y para usos como: consumo humano, riego, minería, etc. Mientras que, desde la vertiente del Atlántico, la demanda es mucho menor y está concentrada en actividades relacionadas con el petróleo, mineras y recreativas [9].

El agua es una fuente de vida, es el componente más abundante de los organismos vivos y desempeña un rol fundamental en todos los procesos biológicos, como en los ecosistemas, convirtiéndose en un recurso estratégico dada su escasez.

En el año 2013 la organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura (UNESCO) declaró dicho año como 'Año del agua', cuyo enfoque se destaca en 4 objetivos estratégicos:

- Fomentar la sensibilización sobre la importancia, los beneficios y retos de la cooperación en materia de agua;
- Mejorar el conocimiento y la capacitación para la cooperación en materia de agua;
- Estimular acciones concretas e innovadoras hacia la cooperación en materia de agua;
- Fomentar las asociaciones y el dialogo en torno a la cooperación en materia de agua.

El Ecuador se caracteriza por poseer una terrible inequidad de la gestión del agua. En efecto, a decir de Jurado (2010) los medios de producción se han concretado en aquellos grupos de poder que concibieron a la tierra y al agua como bienes transables en el mercado, dando la espalda a los derechos del pueblo a dicho recurso [8].

La SENAGUA desde el año 1973 cuenta con un registro de concesiones de agua para diferentes tipos de uso. Según los datos hay un total de 91328 autorizaciones, de las cuales 73015 están vigentes y han sido entregadas en cada demarcación hidrográfica, de mayor uso en el ámbito doméstico y riego. Para el 2010, el número de concesiones de agua para consumo humano fue un 24110, con un consumo estimado de 45307 litros por segundo, con una estimación de 5190949 litros por segundo [10].

El 88% de las concesiones son pertenecientes a la región de la Sierra, el 11% a la costa y el 1% a la amazonia y galápagos. Se puede asumir y estimar que el uso legal del agua, en promedio, no supera el 60% del caudal total usados en el Ecuador. Desde el año 1973-2010 se han otorgado cerca de 73 mil autorizaciones, las que demandan un caudal de 28 900091 m³ [9].

Del total de concesiones otorgadas las más representativas por su número y en su orden: Riego 340639, uso doméstico 24110, abrevadero 10938, agua potable 556, termales 301, piscícolas 292, hidroeléctricas 189; los demás usos están por debajo de las 55 concesiones. El 48,5% de las autorizaciones corresponden al riego, mientras que el uso hidroeléctrico apenas representa el 0.31% de las autorizaciones otorgados. El uso doméstico junto al agua potable representa el segundo mayor porcentaje de concesionamiento con el 33.7% [9].

El contexto del presente estudio se centrará en evaluar la huella hídrica azul del sector hidrocarburífero del Ecuador mediante revisión de bibliografía y el enfoque de sumatoria en cadena, para el planteamiento de medidas que ayuden con la disminución del impacto en este sector.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación fue del tipo descriptivo, transversal y cuantitativo. Esta evaluación sobre el análisis de la huella hídrica azul consistió en 4 distintas fases.



Fig. 1 Metodología de evaluación para huella hídrica azul

Para el alcance de este tipo de evaluación se podía considerar su aplicación en procesos que generen productos, bienes y servicios. También era posible considerar el valor en toda la cadena de suministro, una limitación geográfica, un particular, entre otros. En el presente estudio se consideró el sector petrolero del Ecuador en el año 2019 por el acceso a la información de ese año.

El objetivo de nuestra investigación fue cuantificar la huella hídrica azul a partir de datos de producción junto a la cual interviene el indicador de huella hídrica azul petrolero obtenido de las aguas de producción generadas en los procesos de campos petroleros. Para posteriormente compararla con la huella hídrica azul agrícola y poder comparar el tamaño de una con respecto a la otra.

En el proceso de recopilación de información se identificaron los datos y fuentes de información relevantes al objetivo del artículo. Se inició recolectando los datos de producción del sector hidrocarbúfero, los cuales son proporcionados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables – AR CERNNR, la producción de petróleo en el Ecuador en 2019 se encuentra distribuida en 91 bloques con 163 campos la cual ascendió a 193816083 [barriles] en dicho año [11].

El estimador de indicador de huella hídrica en el área de producción hidrocarbúfera fue obtenido a partir de estudios de los procesos en los cuales intervienen la producción de agua, los consumos y vertimiento de aguas industriales y domésticas, las cuales son imprescindibles de considerar debido a su rol en cada proceso externo e interno. El indicador final de la producción hidrocarbúfera es resultado de la suma del indicador parcial de consumo y vertimiento más el indicador parcial de aguas de producción [8].

Para el procesamiento de información se necesitó una expresión matemática que nos permita relacionar datos de campo como la producción petrolera con una constante que relacione su gasto en agua. La expresión empleada se conoce como Enfoque de Suma en Cadena, pero adaptado al sector hidrocarbúfero que se presentará en el procesamiento de información a continuación.

Se consideró la sumatoria de todos los consumos de agua menos los retornos del agua a entornos originales de la misma que se expresan como producción unitaria, por ejemplo: m³/barril de crudo. Se incluyeron detalles precisos acorde al objetivo del estudio de los procesos empresariales directos e indirectos, por ejemplo: producción, reinyección, pérdidas, etc.

Por tanto, tomando en consideración que no existe un estudio específico sobre esta área en Ecuador, se seleccionó al Estudio Nacional del Agua 2014 por parte de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

del vecino país Colombia tomando en consideración que su área de extracción petrolera y las características de sus yacimientos son similares. Finalmente, de acuerdo con la información en la producción de petróleo, el modelo que se diseñó para el cálculo fue:

$$HH_{\text{petróleo}} = \sum (\text{Indicador petróleo} * \text{Producción campo petrolero}) \quad (\text{Ec. 1}) [12]$$

Donde:

HH petróleo: Huella hídrica azul por la extracción petrolera [m³/mes]

Indicador petróleo: Metros cúbicos de agua consumida por cada barril de crudo [m³/barriles]

Producción de campo petrolero: Producción petrolera en barriles mensuales [barriles/mes]

Para determinar la huella hídrica hidrocarbúfera con los datos de producción petrolera del Ecuador en 2019 se requirió emplear la ecuación (1), donde el valor del indicador de petróleo es una constante brindada en una tabla como un estimador 0.019 [m³/barril producido] multiplicándolo por el valor de la producción de petróleo, en barriles, que varió acorde a los bloques y sus empresas respectivamente. En nuestro caso se tomó del año 2019.

Con base a la información obtenida en los otros sectores del país luego de desarrollar el cálculo de la huella hídrica azul en el sector hidrocarbúfero se procederá a las comparaciones que pueden ser absolutas o referenciales en porcentaje de un sector con otro, en este caso, el sector agrícola para distintos años de acuerdo con la información recopilada de referencias bibliográficas.

III. RESULTADOS

En la Tabla I se muestra, el estimador de indicador de huella hídrica azul en el área de producción hidrocarbúfera, el cual fue obtenido a partir de estudios de los procesos en los cuales intervienen la producción de agua, los consumos y vertimiento de aguas industriales y domésticas, las cuales son imprescindibles de considerar debido a su rol en cada proceso externo e interno.

El indicador final de la producción hidrocarbúfera es resultado de la suma del indicador parcial de consumo y vertimiento más el indicador parcial de aguas de producción.

TABLA I
ESTIMADO DE INDICADOR DE HUELLA HÍDRICA PARA LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

Indicador	Valor [m ³ /barril producido]	Observación
-----------	--	-------------

Consumo de agua uso industrial	0.106	Diferencia entre consumo y vertimiento indicador
Consumo de agua uso domestico	0.004	
Vertimiento industrial	0.095	
Vertimiento domestico	0.002	
Indicador parcial	0.013	
Agua de producción	Valor [m³/barril producido]	
Agua de producción	1.56	Agua empleada
Reinyección recobro mejorado	0.184	Agua retornable
Inyección disposición final	0.719	
Vertimiento cuerpo de agua	0.651	
Riego en vías	0.003	Agua evaporada
Aspersión	0.002	
Vertimiento a terceros	0.001	Agua retornable
Perdidas	0.0007	Agua evaporada
Indicador parcial de aguas de producción	0.006	
Indicador final de la producción de petróleo	0.019	Suma de indicadores parciales

Elaborado: Autores

En la tabla II se puede observar, los valores de las producciones que fueron cuantificados de forma manual por el total de cada mes en cada empresa en todo el año 2019, desde enero hasta diciembre, donde se puede apreciar la clara superioridad de la empresa pública (Petroamazonas EP) al tener una mayor participación con respecto a todas las empresas privadas juntas.

TABLE II
ESTADÍSTICA DE HIDROCARBUROS DE CRUDO Y DERIVADOS 2019

Empresas	Total (Barriles)	Porcentaje (Participación)
Petroamazonas EP	152858038	78.868%
Enap Sipetrol S.A.	7679963	3.963%
Consorcio Palanda - Yuca Sur	1025407	0.529%

Consorcio Petrosud – Petroriva	1426039	0.736%
Petrobell	946334	0.488%
Petrooriental S.A. – Consorcio Petrolero Bloque 17	4074529	2.102%
Repsol Ecuador S.A.	6496305	3.352%
Andes Petroleum Ecuador LTD.	11703223	6.038%
Agip Oil Ecuador B.V. / Pluspetrol Ecuador B.V.	3706893	1.913%
Pacifpetrol	361308	0.186%
Tecpecuador S.A.	371324	0.192%
Gente Oil Ecuador PTE LTD.	1245715	0.643%
Orion Oil ER S.A.	1361525	0.702%
Orion Energy OcanoPB S.A.	512100	0.264%
Consorcio Pegaso	47380	0.024%
Total 2019	193,816,083	100.00%

Elaborado: Autores

Según la tabla III, con la finalidad de determinar la huella hídrica azul de la producción del sector hidrocarburífero se empleó la ecuación (1), para cada empresa, y sumar cada resultado y obtener la huella hídrica azul de la producción en el sector hidrocarburífero del Ecuador de 2019.

TABLE III
HUELLA HÍDRICA AZUL DE LA EXTRACCIÓN DEL PETRÓLEO POR EMPRESAS

Empresas	Huella Hídrica azul [m³/año]
Petroamazonas EP	2,904,302.722
Enap Sipetrol S.A.	145919.297
Consorcio Palanda - Yuca Sur	19482.733
Consorcio Petrosud – Petroriva	27094.741
Petrobell	17980.346
Petrooriental S.A. – Consorcio Petrolero	77416.051

Bloque 17	
Repsol Ecuador S.A.	123429.795
Andes Petroleum Ecuador LTD.	222361.237
Agip Oil Ecuador B.V. / Pluspetrol Ecuador B.V.	70430.967
Pacifpetrol	6864.852
Tecpecuador S.A.	7055.156
Gente Oil Ecuador PTE. LTD.	23668.585
Orion Oil ER S.A.	25868.975
Orion Energy OcanoPB S.A.	9729.900
Consorcio Pegaso	900.220
Total 2019	3,682,505.577

Elaborado: Autores

En la tabla IV, posterior al cálculo de la huella hídrica azul hidrocarburífera, se comparó la huella hídrica azul agrícola usando la Información Producción Nacional de la Encuesta de Superficies y Producción Agropecuaria Continua desde los años 2007 hasta 2010, y los datos calculados en el presente estudio.

TABLA IV
HUELLA HÍDRICA AZUL PETRÓLEO 2019 Y HUELLAS HÍDRICAS AGRÍCOLA 2007 – 2010

Tipo de huella hídrica azul	Cantidad [m ³ /año]
Petróleo 2019	3,682,505.577
Agrícola 2007	524,439,620.095
Agrícola 2008	12,439,561,034.000
Agrícola 2009	5,782,441,444.300
Agrícola 2010	9,255,815,054.000

Elaborado: Autores

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al momento de hablar de huella hídrica tenemos que asimilar que es un tema muy extenso, debido a que abarca varios aspectos como por ejemplo la oferta, la demanda, el uso de recursos hídricos, las precipitaciones, etc. Lo cual, para algunos sectores, como el petrolero se genera una complejidad a la hora de realizar los cálculos, por lo cual, nos enfocamos en cuantificar la huella hídrica azul, debidamente correspondientes a las captaciones de agua superficial y a su vez subterránea.

La huella hídrica azul en la industria petrolera en el Ecuador es un indicador que no se ha implementado, sin embargo, su aplicación es fundamental debido a que esta industria demanda el uso de recursos hídricos para sus

operaciones, esto nos permitirá tener noción de cuánta agua es empleada en los procesos. El presente proyecto se enfoca en determinar esta en la producción petrolera, que consideramos como un sector estratégico, por tanto, debemos ser más conscientes de cuánta agua es consumida, para buscar soluciones que mitiguen su impacto.

La metodología seleccionada para el estudio fue la sumatoria en cadena, debido a la limitación de datos al momento de realizar la investigación fue la más apropiada, además esta brinda un enfoque sencillo y rápido de emplear, el cual se adaptó a las limitaciones de tiempo de este estudio y a su alcance restringido en único producto de salida, que en nuestro caso fue el petróleo.

La huella hídrica azul hace una referencia clara al consumo del agua superficial y subterránea. En el Ecuador poseemos un total de huella hídrica azul correspondiente a todas las empresas petroleras de 3,682,505.577 [m³/año] en 2019.

El 79% del agua consumida en el sector petrolero del Ecuador es empleada por la Empresa Pública Petroecuador, lo cual corresponde a 2.9 millones de m³ y 778 miles de m³ a las empresas privadas durante el año 2019.

De entre todos los años estudiados en el presente proyecto, la mayor HHA del sector agrícola fue en el año 2008 con 12,439,561,034.00 [m³/año]. Podemos observar que la HHA del sector agrícola es aproximadamente 4146 veces mayor que a la HHA del sector petrolero.

El sector hidrocarburífero comparado con el sector agrícola en el Ecuador con base a la huella hídrica azul es la que menor HHA posee, lo que nos indica que tiene una menor captación de agua superficial y subterránea en comparación con el sector agrícola.

Se debe realizar una investigación completa y actualizada de la huella hídrica gris y verde, no solo enfocándose en el sector hidrocarburífero, si no abarcando la mayoría de los sectores económicos que posee Ecuador.

Recomendamos realizar comparaciones de huellas hídricas por productos de cada sector, sugiriendo tomar al sector hidrocarburífero con un solo un producto como es el petróleo y al sector agrícola con múltiples productos de entre los cuales destacan las principales exportaciones del estado tales como: cacao, banano, entre otros. Y así con productos de otros sectores estratégicos del Ecuador.

Para futuras investigaciones de huella hídrica se requiere emplear información actualizada de huellas hídricas de años semejantes para tener comparaciones actualizadas, y de esa forma generar una base de datos para investigaciones posteriores.

Tener un fácil acceso a información de este tipo permitiría implementar bases de datos más allá de las hojas de cálculo para procesar la información mediante programas tipo Python, Matlab o a su vez en Excel para mantener actualizado el cálculo de la huella hídrica en distintas industrias.

Finalmente se recomienda realizar un trabajo mediante el enfoque secuencial acumulativo, debido a que ese enfoque es una forma genérica y la más completa que existe para determinar la huella hídrica de un producto. Es el enfoque más completo debido a que realiza un estudio minucioso de cada producto de entrada, y es necesario incluir los costos anuales del agua en el análisis de rentabilidad.

REFERENCIAS

- [1] Aequae Fundación, «¿Cuánta agua potable hay en la Tierra?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaqueae.org/wiki/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>.
- [2] W. Núñez, «El derecho fundamental al agua dentro del marco del servicio público de agua potable en el Ecuador,» Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador (Tesis de maestría), 2018.
- [3] Water footprint network, «Aims & history,» 2008. [En línea]. Available: <https://waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/>.
- [4] Petroecuador E.P., «Hitos de la industria petrolera : 1829-2005,» 2 ed., Quito, Relaciones Institucionales de Petroecuador, 2005, 2006.
- [5] T. Patel, «Growing Global Thirst for Energy Threatens Water Supplies,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.Theguardian.Com/Global-Development/2014/Mar/21/Global-Thirst-Energy-Threatens-Water-Supplies>.
- [6] L. Rivera-González, D. Bolonio, L. Mazadiego, S. Naranjo-Silva y K. Escobar-Segovia, «Long-Term Forecast of Energy and Fuels Demand Towards a Sustainable Road Transport Sector in Ecuador (2016–2035): A LEAP Model Application,» *Sustainability*, vol. 12, n°2, p. 472, 2020.
- [7] A. Sohns, D. Rodriguez y A. Delgado, «Thirsty Energy (II) : The Importance of Water for Oil and Gas Extraction,» *Live Wire*, vol. 56, 2016
- [8] L. Carmona, K. Whiting y A. Carrasco, «The Water Footprint of Heavy Oil Extraction in Colombia: A Case Study,» *Water*, vol. 9, n° 5, p. 340, 2017.
- [9] S. Rivera, «La sostenibilidad del recurso hídrico en el Ecuador, análisis multicriterial de la gestión del agua,» Facultad latinoamericana de ciencias sociales FLACSO (Tesis de Maestría), Quito, 2016.
- [10] Senplades, «Plan Nacional de Buen Vivir,» Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Quito, 2013.
- [11] AIHE, «El petróleo en cifras 2020,» Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, Quito, 2021.
- [12] A. Hoekstra, A. Chapagain, M. Aldaya y M. Mekonnen, «The Water Footprint Assessment Manual, Setting the Global Standard,» Londres, Water Footprint Network 2011, 2011.