




Determination of the Impact of Water Footprint on Rice Crops in Northern Peru

Hidalgo-Burga, Xiomara Aracely, Estudiante de Ingeniería Industrial¹ , Mauricio-Gutierrez, Luis Enrique, Estudiante de Ingeniería Industrial² , Campos-Vasquez Neicer, Maestro en Ciencias económicas³ 
^{1,2,3} Universidad Privada del Norte, Perú, n00266832@upn.pe, n00290772@upn.pe, neicer.campos@upn.edu.pe

Abstract— In this study, the impact of climate alterations on global water resources is addressed, with a focus on rice cultivation as one of the major water consumers per unit of land. The water footprint, assessed using CROPWAT 8.0 software and CLIMWAT 2.0 database, was disaggregated into its blue, green, and grey components, representing 87.99%, 1.37%, and 10.65% of the total footprint, respectively. Economic sustainability analyses were conducted, emphasizing the significance of crop yield and the price offered to producers in the obtained results. Comparisons with other countries and products were made, sustainable solutions were proposed to mitigate the water footprint impact, and the potential influence of the El Niño phenomenon on this indicator was considered. This comprehensive approach aims to provide valuable insights for addressing challenges associated with water usage in agriculture, particularly in the context of global climate changes.

Keywords — *Water footprint, water stress rice, water resources, sustainability.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Determinación del Impacto de la Huella Hídrica en Cultivos de Arroz en el Norte del Perú

Hidalgo-Burga, Xiomara Aracely, Estudiante de Ingeniería Industrial¹, Mauricio-Gutierrez, Luis Enrique, Estudiante de Ingeniería Industrial², Campos-Vasquez Neicer, Maestro en Ciencias económicas³

^{1,2,3} Universidad Privada del Norte, Perú, n00266832@upn.pe, n00290772@upn.pe, neicer.campos@upn.edu.pe

Resumen— En este estudio, se aborda el impacto de las alteraciones climáticas en los recursos hídricos a nivel mundial, centrándose en el cultivo de arroz como uno de los principales consumidores de agua por unidad de superficie. La huella hídrica, evaluada mediante el software CROPWAT 8.0 y la base de datos CLIMWAT 2.0, se desglosó en sus componentes azul, verde y gris, representando el 87.99%, 1.37% y 10.65% respectivamente del total. Además, se llevaron a cabo análisis de sostenibilidad económica, destacando la importancia del rendimiento del cultivo y el precio ofrecido a los productores en los resultados obtenidos. Se realizaron comparaciones con otros países y productos, se proponen soluciones sostenibles para reducir el impacto de la huella hídrica y se considera la posible influencia del Fenómeno del Niño en dicho indicador. Este enfoque integral busca proporcionar información valiosa para abordar los desafíos relacionados con el uso del agua en la agricultura, especialmente en el contexto de cambios climáticos globales.
Palabras clave— Huella hídrica, estrés hídrico arroz, recursos hídricos, sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es de suma importancia para la sostenibilidad nacional, la producción agrícola mundial representa el 70% de las extracciones de agua, el 41% no son sostenibles. Para que ella pueda ser de ser considerada sostenible debe asegurar la rentabilidad, la economía y la salud del medio ambiente [1]. Perú se encuentra posicionado uno de los países con mayor disponibilidad hídrica, sin embargo, en el ranking de estos hídrico del 2015, se ubicó en el puesto 66 de 164 detallando un nivel elevado de estrés de agua [2]. La problemática está ubicada en la escasez de agua se encuentra presente en el departamento de Lambayeque por lo que es fundamental el estudio de la eficiencia de los métodos agrícolas para la disminución del impacto negativo de ello.

El cambio climático es un aspecto que afecta directa o indirectamente a la disponibilidad en las cuencas hidrográficas, debido a la existencia de zonas con disminución o incremento de temperaturas. Adicionalmente, la calidad y la cantidad actualmente son aspectos que se encuentran en riesgo, representando una prioridad para las organizaciones mundiales y los gobiernos [3].

La huella hídrica es el indicador que se utiliza para la medición del ciclo de producción bien o servicio. Asimismo, atribuye información sobre los recursos hídricos en las cuentas y su rendimiento y la sostenibilidad [4]. La huella hídrica verde hace referencia al agua que proviene de la lluvia y es depositada en el suelo, hace relación a la disminución de ella por una actividad [5]. Por otro lado, el concepto de la huella hídrica azul es referido al uso del agua subterránea en un ciclo productivo definiendo la pérdida de recursos hídricos en la elaboración de un producto o servicio. [6] Estudios recientes demuestran que la aplicado de este concepto ha sido beneficioso en la resiliencia del agua verde en la producción agrícola, además la resiliencia del agua azul ha aumentado más del 50% mejorando la sostenibilidad de mano de la concientización y la ingeniería [7]. De tal manera que, las cuidades productoras deberían implementar sistemas de mejora para el uso eficiente del agua ajustando la estructura y el diseño sobre el sembrío del cultivo para que con ello mejoremos la gestión sostenible de los recursos hídricos [5]. Actualmente, se debe reconfigurar las políticas de producción de los sembríos como el cultivo de mayor impacto en las provincias que consumen más agua y el grano de las provincias que consume menos agua, este análisis nos sirve para estimar la eficiencia del ahorro del agua y la relación de la economía con la sostenibilidad. [8]

Al nivel mundial, más del 65% de la población es dependiente del arroz para los alimentos, su consumo se encuentra en aumento en los países en desarrollo [9].

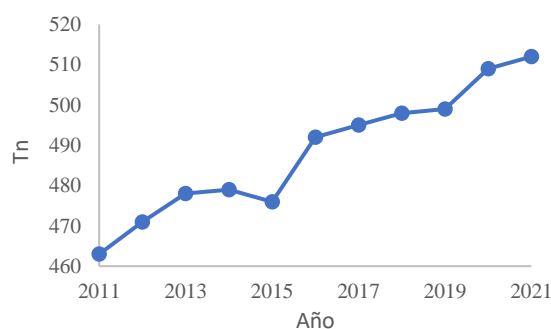


Figura 1 Producción mundial de arroz en millones de toneladas del 2011 al 2021. Adaptado de: Blue, green, and grey water footprints assessment for paddy irrigation-drainage system [10].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Estudios revelan que para el 2035 la producción aumentará en un 26% en las regiones de América Latina y África. Sin embargo, la producción de este abarca entre el 24 y el 30% de los recursos hídricos del mundo.

Además, el 75% del arroz es producido en arrozales continuamente inundados, para el rendimiento de la producción se utilizan excesivamente fertilizantes nitrogenados atentando contra la seguridad alimentaria [10]. Perú, tiene el quinto lugar al nivel global en el rendimiento de la producción de arroz y el segundo en el Latinoamérica [11]. Gracias a ello, se ha colocado como el compañero natural para las comidas en las familias peruanas. lo cual lo ha posicionado como el primer cultivo con aporte a la generación de valor bruto de la producción agrícola (VBPA), siendo el más importante del sector, sin embargo, su aportación se encuentra en decadencia por la aparición de otros cultivos [12]. La importación de arroz ha incrementado en los últimos años paso de 3.14 toneladas en el 2016 a 3.43 toneladas en el 2020 [13].

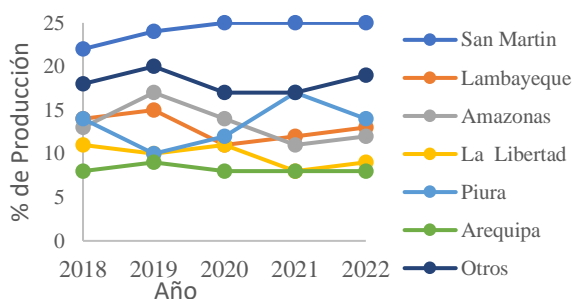


Figura 2 Perú: Tasa porcentual de participación de los principales departamentos productores de arroz del 2018 al 2022. Adaptado de: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [12].

Se estima que para el presente año aumente a 445 589 toneladas, lo que indicaría que a comparación a los últimos 5 años aumento en 3.6%. En cuanto al departamento de Lambayeque la siembra de este cultivo totaliza 52 463 hectáreas, esta cifra supero en 1.1% en los últimos 5 años [12].

La cuenca de río Chancay, Lambayeque se encuentra ubicada en costa peruana en la vertiente del Pacífico, en la sierra llega hasta los 4000 m.s.n.m., la diversidad en la altitud ocasiona un efecto versátil y estacional en las precipitaciones, ello conlleva a problemas en la sedimentación en las regiones y problemas de inundaciones en las zonas de poco drenaje [14] [15]. En este contexto, estimamos impacto de la huella hídrica en los cultivos de arroz en el departamento de Lambayeque, utilizando la cuenta de río Chancay con principal recurso hídrico mediante la aplicación del software CROPWAT 8.0 y CLIMWAT 2.0 considerando la data climática la aplicación de fertilizante, el rendimiento de

cultivos y el manejo de patrones de riego. Dicho esto, formulamos la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es el impacto de la huella hídrica en cultivos de arroz el departamento de Lambayeque?

II. METODOLOGÍA

Existen estudios recientes donde han implementado el software CLOPWAT 8.0 y CLIMWAT 2.0 para el cálculo de la huella hídrica en los cultivos de arroz, en China se aplicó mejorando la eficiencia del uso de la producción de cultivos y el ahorro de recursos, construyendo un método de producción ecológico con bajas emisiones de carbono [16] y proporciona una base para el planteamiento de nuevas políticas sobre la optimización y el rediseño de la plantación de cultivos y la gestión de recursos hídricos [4]. Entre los años 2015 y el 2019 la eficiencia de producción en los cultivos de arroz aumento en 10.8% solo en China [8].

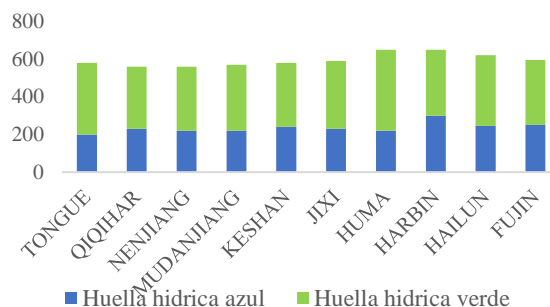


Figura 3 Huella hídrica utilizada en 10 provincias de china en billones metros cúbicos. Adaptado de: The Blue, Green and Grey Water Consumption for Crop Production in Heilongjiang [16].

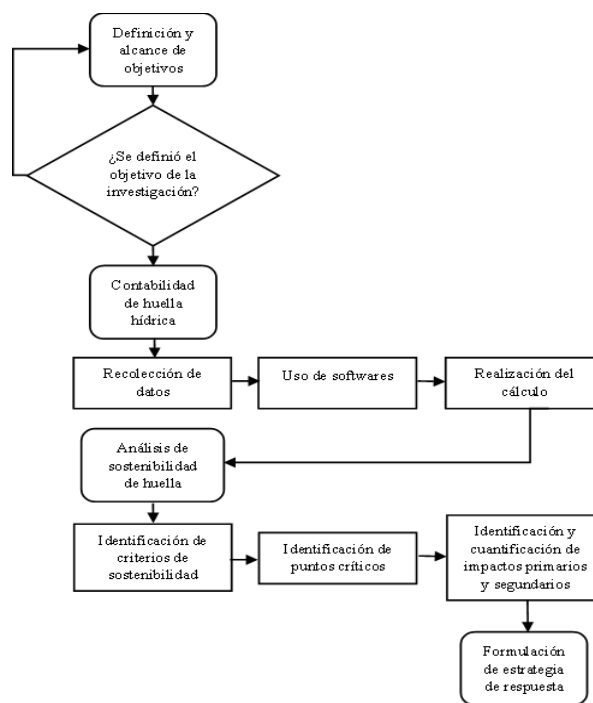


Figura 4 Proceso de determinación de impacto de huella hídrica.

El primer paso fue determinar la cuenta hidrográfica para la plantación de arroz, conjuntamente se formuló el objetivo de investigación y se seleccionó la semilla de arroz Fortaleza, del cual su fase vegetativa es 95 días, su fase reproductiva es 35 días y su fase de maduración es 30 días [17] [18].

La determinación del impacto de la huella hídrica se llevó a cabo mediante el uso de dos softwares CLIMWAT 2.0, el cual nos brinda datos climatológicos locales de la estación #45 de Perú, con altura de 27 msnm, latitud 6.68° S y longitud 79.88° O, ubicada en el departamento de Lambayeque, y CLOPWAT 8.0 que nos permitió ingresar datos sobre el clima, la precipitación, el cultivo y el suelo, dando como resultado el requerimiento de agua por cultivo.

Para el cálculo de huellas azul y verde del cultivo de se utiliza la siguiente formula:

$$HH_i = \frac{RAC_i}{Y} \quad (1)$$

Los indicadores principales son la huella de la producción, la huella azul y la huella verde representa la huella hídrica del cultivo de arroz, la unidad de medida es metro cubico por kilogramo (m^3/kg), “i” puede tomar el valor del componente “verde” o “azul” de la huella. RAC_i es el requerimiento de agua por cultivo, sea verde o azul, esta expresado en volumen por área. Y es el rendimiento del cultivo por unidad de área del cultivo, su unidad es kilogramo por metro cuadrado (kg/m^2). Para calcular el RAC_i se deben sumar los valores de la evapotranspiración del cultivo desde el día 1 de la siembra hasta el día de la cosecha, como se muestra en la siguiente ecuación [19]:

$$RAC_i = 10 \times \sum_{d=1}^n (ET_c) \quad (2)$$

Donde: ET_c es la evapotranspiración del cultivo, expresada en milímetros por día (mm/dia). Y el factor “10” es utilizado para la conversión a metros cúbicos sobre hectárea [19].

$$ET_{azul} = \max(0, ET_c - P_{ef}) \quad (3)$$

$$ET_{verde} = \min(ET_c, P_{ef}) \quad (4)$$

Se estableció la diferencia evapotranspiración verde y la azul [19]. Donde: P_{ef} es la precipitación efectiva, expresada en milímetros [20].

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (5)$$

La Formula Penman-Monteith, es recomendada por la FAO para calcular la evapotranspiración de los cultivos, se encuentra dentro del modelo CROPWAT. Δ representa la curva de la presión y la temperatura del agua saturada, γ representa constante de mesa húmeda y seca, en ambos casos la unidad es (kPa/°C). R_n representa la radiación neta en la superficie del cultivo, G es el flujo del calor del suelo, en

ambos casos la unidad es ($MJ/m^2.d$). T representa la temperatura media °C. U_2 es la velocidad del viento a media a 2 metros sobre el suelo en (m/s). ($e_s - e_a$) representa la variación de presión de vapor de agua saturada y la presión de agua real, su unidad es (kPa) [8].

Adicionalmente se clásico los impactos como primarios y secundario, se evaluaron puntos críticos haciendo referencia a la sostenibilidad económica y se buscó una respuesta estratégica para reducir el impacto negativo de cada tipo de huella hídrica. Para realizar el análisis de sostenibilidad se trabajó en base a dos indicadores:

La productividad aparente del agua, la cual evaluar los ingresos por metro cubico de agua consumida y está representada por la siguiente ecuación:

$$APW_i = \frac{PM_i}{HH_i} \quad (6)$$

Asimismo, la productividad aparente de la tierra, la cual es representado por un valor a precios constantes por hectárea de tierra cultivada y está representado por la siguiente ecuación:

$$APL_i = PM_i * Y_i \quad (7)$$

En donde: “i” puede tomar el valor del componente “verde” o “azul” de la huella. PM_i representa el precio del mercado del arroz en nuevos soles por kilogramo ($S./kg$). y HH_i representa la huella hídrica del cultivo de arroz, la unidad de medida es metro cubico por kilogramo (m^3/kg). Y es el rendimiento del cultivo por unidad de área del cultivo, su unidad es kilogramo por metro cuadrado (kg/m^2). [21] [22].

Para el desarrollo de la investigación se consideró trabajos de investigación según la antigüedad, el idioma y como estrategia principal se consideró las palabras clases en inglés: “Green water footprint”, “Blue water footprint”, “Cropwat” y “Rice”, se consideró las siguientes ecuaciones de búsqueda por reposito como se obtuvieron en la Tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda por cada base de datos

Nº	BASE DE DATOS	ECUACION DE BUSQUEDA
1	SCOPUS	"Green water footprint" AND "Blue water footprint"
2	SCOPUS	"Cropwat" AND "Rice"
3	IOP SCIENCE	"Green water footprint" AND "Blue water footprint"
4	IOP SCIENCE	"Green water footprint" AND "Blue water footprint"
5	SCIENCEDIRECT	"Cropwat" AND "Rice"

Considerando las bases de datos que adjuntan mayor porcentaje de publicaciones relacionadas a la huella hídrica; la investigación se basó en los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Artículos con antigüedad no mayor a 5 años, permitiendo tener información relevante y actualizada, se consideró artículos a partir del 2018. Artículos relacionados con la huella hídrica y la implementación del software CROPWAT 8.0 Y CLIMWAT 2.0, este criterio ha sido considerado para clasificar la información en nuestro campo de estudio. No se considera tesis en repositorios, solo fueron considerados artículos científicos publicados en la tabla en revistas indizadas en las bases de datos citadas en la Tabla 1. Artículos a nivel mundial, ya que, el impacto de la huella hídrica en los cultivos de arroz se determina globalmente. Se tomaron artículos en inglés y español.

La clasificación de los artículos válidos para la investigación acaparo criterios de inclusión y exclusión. Además, los años de publicación se descartó los artículos duplicados, por no aportar información relevante.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se consideró el rendimiento del cultivo de arroz de los años 2021 y 2022 para el estudio, con ello se calculó los tres tipos de huellas hídricas para cada año. El rendimiento para estos años fue de 8700 kilogramos por hectárea y 9224 kilogramos por hectárea respectivamente [23].

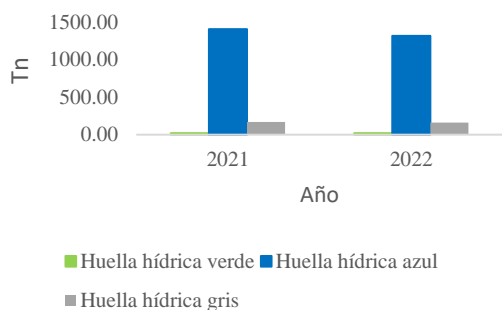


Figura 5 Huella hídrica del cultivo de arroz en metros cúbicos por tonelada para los años 2021 y 2022 en la provincia de Lambayeque.

Se observa en la figura 5, la huella hídrica verde no es relevante, esto se debe a la escasa precipitación en la zona de estudio, representando el 1.37 % del total, además, la huella hídrica azul asume el mayor porcentaje porque el requerimiento de agua para el cultivo de arroz es excesivamente en grandes cantidades, simbolizando el 87,99 % del total, por otro lado, la huella hídrica gris representa el 10.65% esto es debido al uso de fertilizantes para los cultivos. La variación de la huella hídrica total entre estos años fue de 6.39 % debido al factor rendimiento.

El análisis de sostenibilidad se evaluó con enfocándonos en el ámbito económico, calculando la productividad aparente del agua y productividad aparente de la tierra [21] [22]. El precio promedio que se ofrecía al productor de arroz en año 2021 fue de 1.28 soles por kilogramo, para el año 2022 aumentó a 1.43 soles por kilogramo. Con este dato, calculamos la productividad aparente del agua para la huella hídrica verde y azul lo cual permite estimar los ingresos económicos por agua consumida en cada periodo de tiempo [23].

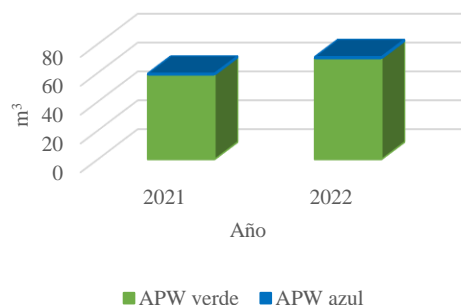


Figura 6 Productividad aparente del agua en soles por metro cubico en el cultivo de arroz para los años 2021 y 2022 en la provincia de Lambayeque.

El gráfico de la figura 6 expuesto señala que para el año 2021 la productividad aparente del agua verde fue de 58.61 soles por metro cubico, con respecto al año 2022 fue de 69.95 soles por metro cubico. Además, la productividad aparente del agua azul para el 2021 fue de 0.91 soles por metro cubico consumido y para el 2022 fue de 1.09 soles por metro cúbico consumido. El incremento fue en 19.35 % esto fue originado por el alza de del precio para los agricultores y al aumento del rendimiento de los cultivos de arroz en el año 2022 [23].

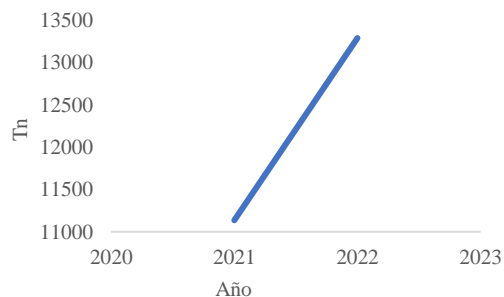


Figura 7 Productividad aparente de la tierra en soles por hectárea en el cultivo de arroz para los años 2021 y 2022 en la provincia de Lambayeque.

En el análisis de la productividad de la tierra que se muestra en la figura 7, no tiene relación con la huella hídrica directamente, sin embargo, su es importante para hallar el valor económico a precios contantes por el espacio de tierra

cultivada. Por ello, solo es aplicado a la agricultura [22] [21]. Expuesto esto, para el 2021 la productividad de la tierra fue de 11136 soles por hectárea y para el 2022 fue 13290.42 soles por hectáreas. Del mismo modo que para la productividad aparente, el incremento es provocado por el factor rendimiento y el factor precio.

Mundialmente la mayoría de los países dependen el agua verde para la agricultura. Sin embargo, si se realiza la comparación entre la producción de arroz de la provincia de Lambayeque e Irak, en ambos casos se presenta climas cálidos y no se presentan precipitaciones. Por, ello, la evotranspiracion y el riego aumentan lo que provoca que agua azul tenga más participación en el costo de producción de alimentos. Esto se evidencia en el estudio que se realizó en Irak, huella hídrica azul fue de 99.72% para las 5 provincias de estudio y donde la variación con respecto a Lambayeque fue de 11.73% [20]. Es recomendable mejorar la gestión del riego y el mejorar el método de inundación del cultivo o cambiarlo por uno donde el uso del agua sea menor con el fin de mejorar la sostenibilidad y la productividad [24] [25].

En Bangladesh, la huella hídrica verde en la provincia de Asus y Aman es mucho mayor, la variación con respecto a Lambayeque es de 50.63% y 43.63% respectivamente. Sin embargo, la huella hídrica azul es similar en la provincia de Boro. Por ello, es fundamental un método que desarrolle estrategias sostenibles y el buen manejo de los recursos hídricos para no disminuya la disponibilidad hídrica de la Cuenca de Chancay- Lambayeque y garantizar la seguridad alimentaria en los próximos años [26].

Asimismo, debemos reducir la utilización de fertilizantes o trabajar el suelo para que se encuentre en las mejores condiciones posibles para la reducción de la huella hídrica gris. China, presenta variación en la huella que predomina en cada región. De igual forma, destaca el excesivo uso de fertilizantes. Por ello, se está mejorando las condiciones de suelo con el fin de aumentar la fertilidad del suelo con el fin de reducir el uso excesivo de ello. Sin embargo, este parámetro no es el único que debemos tomar en cuenta, las condiciones del suelo, el clima, la altitud, la radiación, etc. Son uno de los pocos parámetros que debemos considerar con el fin de aumentar la productividad, el rendimiento del cultivo de arroz [4] [27].

Realizando la comparación con otros cultivos que obtuvieron resultados similares, en nuestro país para el caso de los espárragos verdes y la palta. Presentando mayor impacto en la huella hídrica azul producido por el riego excesivo. Caso contrario, la huella hídrica gris se presenta en menor escala producto del uso de fertilizantes. Asimismo, como en otros estudios señalan la importancia del control de ellos para reducir su impacto [28]. Caso contrario, en Polonia, la huella hídrica gris mostro mayor relevancia para la producción de arándano, cereza y fresa alcanzando aproximadamente el 92% de la huella hídrica total y es menos

significativa la huella hídrica azul. Además, se tiene en consideración fases claves de la utilización de agua buscando la minimización de esta, la cual se llevará a ejecución con el fin de obtener una producción más limpia [29]. Esta optimización puede ser aplicada a nuestro contexto.

En nuestro contexto, el tratamiento optimo del suelo seria fundamental para lograr reducir el porcentaje de huella hídrica gris presentado en los años 2021 y 2022 para futuros estudios. Además, la gestión de riego mejoraría la disponibilidad de la cuenta de Chancay y reduciría el porcentaje de huella hídrica azul lo que llevaría a la reducción del impacto económico con respecto al cultivo de arroz. Asimismo, en las áreas donde se presenta los escasos niveles de agua, el cultivo de arroz no se debe presentar ni ampliarse con el fin de mejorar el sistema productivo [30]. Debemos tener en cuenta que el comercio de cultivos debe ofrecer el uso sostenible del agua e imponer productos que cumplen los estándares sanitarios [31].

De igual manera, el Minagri, el ente encargado, se ve en la obligación de informar a los agricultores de la ubicación, las semillas de mejor calidad para el cultivo y los indicadores de suelo adecuado. De la misma manera que, los responsables nacionales, regionales y provinciales en base a los resultados obtenidos pueden implementar políticas con la finalidad de controlar del uso de los recursos hídricos y aumente los ingresos de los agricultores locales. Además, de mejorar la sostenibilidad en la producción de arroz en la provincia de Lambayeque [30].

Debemos considerar, además, que el fenómeno del Niño tomará un papel muy importante en la huella hídrica verde, ya que, del dependerá el aumento de la precipitación en la zona y la influencia de la huella hídrica verde en el costo del producto en el proceso de venta al consumidor. A inicios del 2023, el impacto de este fenómeno fue de gran repercusión, interrumpiendo la cosecha, postergando siembras y dañando las áreas de cultivo. Asimismo, se tiene en consideración para el próximo año afecte el precio de los fertilizantes, lo cual afecta directamente al uso de ellos, reduciendo su aplicación y con ello al decrecimiento de la huella hídrica gris. [32] [33].

IV. CONCLUSIONES

En el departamento de Lambayeque el impacto de la huella hídrica en los cultivos de arroz es muy relevante. El componente más significativo es la huella hídrica azul debido al estancamiento de agua en los arrozales. Asimismo, la aplicación de la gestión de sistemas de riego y prácticas agrícolas sostenibles como soluciones para contrarrestar la reducción de los recursos hídricos de la zona. Con respecto a reducción del impacto de la huella hídrica gris debemos optimizar el uso de los fertilizantes para no caer en el uso excesivo del ellos y mejorar el manejo del suelo para aumentar su fertilidad y el rendimiento del cultivo.

La huella hídrica verde no afecta directamente a los cultivos de arroz debido a los bajos niveles de precipitaciones en la zona de estudio. Sin embargo, se espera la presencia del Fenómeno del Niño para fines del 2023 y inicios del 2024. Donde la presencia de este afectaría al aumento del impacto de la huella hídrica verde afectando directamente a la cosecha que se presentará a inicios del 2024 aplazándola y con ello afectando al rendimiento y al precio del arroz para el consumidor.

En el caso del análisis de sostenibilidad se realizó una comparación entre los años 2021 y 2022, donde se observó un incremento en la productividad aparente del agua en un 19.35 % y la productividad aparente de la tierra en 2164.42 soles por hectárea. Además, el rendimiento del cultivo aumentó en 6.39 %. Con ello afirmamos que, mientras el rendimiento del cultivo de arroz sea mayor el impacto de la huella hídrica total será menor.

Las entidades gubernamentales deben aplicar medidas para contrarrestar el cambio climático que afecta a la disponibilidad del agua en la Cuenca de Chancay, con el objetivo del aumento del rendimiento del cultivo de arroz. Los resultados obtenidos sirven como base para investigaciones futuras e implementaciones para mejorar la sostenibilidad y los ingresos a los productores.

REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), «Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO),» 2020. [En línea].
- [2] Observatorio Nacional de Prospectiva, « Observatorio Nacional de Prospectiva,» 2019. [En línea]. Available: <https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/tg43>.
- [3] United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO), «United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO),» 2020. [En línea]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372876_spa.
- [4] L. Zhilui, W. Haowei y D. Xiangzheng, «Spatial Pattern of Water Footprints for Crop Production in Northeast China,» *Scopus*, p. 13, 2022.
- [5] H. Mengmeng, W. Wenbin, Y. Qiangyi, T. Huajun, W. Yanru y Z. Fen, «Spatial-temporal variations in green, blue and gray water footprints of crops: how do socioeconomic drivers influence?,» *IOPscience*, p. 13, 2022.
- [6] Institutions(LACCEI), The Latin American and Caribbean Consortium of Engineering, «The Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions (LACCEI),» 2022. [En línea].
- [7] H. Huang, L. Zhuo, W. Wang y P. Wu, «Resilience assessment of blue and green water resources for staple crop production in China,» *ScienceDirect*, p. 15, 2023.
- [8] Y. Aizhi, C. Entai, Y. Min y L. Zhishan, «An Analysis of Water Use Efficiency of Staple Grain Productions in China: Based on the Crop Water Footprints at Provincial Level,» *Scopus*, p. 23, 2022.
- [9] Y. Qian, S. Jing, C. Kun, Z. Yuefang, G. Zhi, S. Guofeng y W. Sichu, «Sustainability assessment on paddy-upland crop rotations by carbon, nitrogen and water footprint integrated analysis: A field scale investigation,» *ScienceDirect*, p. 10, 2023.
- [10] M. Wu, Y. Li, J. Xiao, X. Guo y X. Cao, «Blue, green, and grey water footprints assessment for paddy irrigation-drainage system,» *ScienceDirect*, p. 10, 2022.
- [11] M. White, E. Heros, E. Graterol, N. Chirinda y C. Pittelkow, «Balancing Economic and Environmental Performance for Small-Scale Rice Farmers in Peru,» *Scopus*, p. 14, 2020.
- [12] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, «Observatorio Siembra y Perspectivas de la Producción,» Junio 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/1457>.
- [13] L. A. Pantaleón Santa María, I. I. Medina Cardozo y J. C. Montes Ninaquispe, «COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN E IMPORTACIÓN DE ARROZ EN EL PERÚ 2016-2020,» *Alicia*, p. 8, 2021.
- [14] G. Arriola Carrasco, L. Villegas Granados, N. Marín Bardales, C. Idrogo Perez, J. Piedra Tineo y J. Arbulú Ramos, «Evaluación de la Agresividad Climática y Concentración de Precipitaciones en la Cuenca Chancay-Lambayeque, Perú,» *Redalyc*, p. 8, 2022.
- [15] Senamhi, «Atlas de hidrología superficial del Perú: una evaluación presente y futura.,» Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1252>.
- [16] D. Xin, W. Saige y B. Chen, «The Blue, Green and Grey Water Consumption for Crop Production in Heilongjiang,» *ScienceDirect*, p. 7, 2019.
- [17] Semillas Piuranas, «Semillas Piuranas,» 2020. [En línea]. Available: <https://semillapiuranas.com/wp-content/FichasTecnicas/arroz/Triptico%20Fortaleza-convertido.pdf>.
- [18] Instituto Nacional de Innovación Agraria, «Guía técnica: Manejo del cultivo de arroz bajo el sistema de riego con secas intermitentes en las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y la Libertad.,» 28 Febrero 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1053>.
- [19] J. Delgado, W. Campos y A. Dueñas, «Ecoeficiencia de la infraestructura hidráulica del sistema Chancay-Lambayeque y su impacto en la huella hídrica de la producción agrícola,» *Alicia*, p. 24, 2020.
- [20] J. Mustafa Hamoudi y A. Salwan Ali, «Estimating the Water Footprint of the Four Important Cereal Crops in the Euphrates River Basin, Iraq,» *IOP Science*, p. 15, 2023.
- [21] A. Y. Hoekstra, A. K. Chapagain, M. M. Aldaya y M. M. Mekonnen, The water footprint assessment manual. Setting the global Standard, 2011.
- [22] IICA - Unión Europea, Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica, 2027.

- [23] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, «Boletín Estadístico Mensual "EL AGRO EN CIFRAS" - 2022,» 16 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2826318-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras-2022>.
- [24] E. Salam Hussein, A. Salwan Ali, C. Ali y A.-A. Nadhir, «Water Footprint of Rice in Iraq,» *IOP Science*, p. 18, 2021.
- [25] J. F. Mejía, F. Vega Méndez y S. M. Eddin, «Aprovechamiento del recurso aguay huella hídrica (HH) a nivel de cuenca. Caso: Cuenca del río Tirgua, Venezuela,» *ResearchGate*, p. 20, 2022.
- [26] N. Das y M. R. Akter Mullick, «Estimation of the spatial and temporal water footprint of rice production in Bangladesh,» *ScienceDirect*, p. 14, 2020.
- [27] Q. Yue, J. Sheng, K. Cheng, Y. Zhang, Z. Guo, G. Sun y S. Wang, «Sustainability assessment on paddy-upland crop rotations by carbon, nitrogen and water footprint integrated analysis: A field scale investigation,» *ScienceDirect*, p. 10, 2023.
- [28] X. Esteve-Llorens, D. Ita-Nagy, E. Parodi, S. González-García y M. T. Moreira, «Environmental footprint of critical agro-export products in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for green asparagus and avocado,» *ScienceDirect*, p. 15, 2022.
- [29] M. Wróbel-Jędrzejewska, U. Stęplewska y E. Polak, «Water footprint analysis for fruit intermediates,» *ScienceDirect*, p. 10, 2020.
- [30] K. Jaibumrung, P. Nilsalab, S. H. Gheewala y C. Musikavong, «Ecological footprint, water scarcity footprint, and benefit to cost ratio analysis towards sustainable rice production in Thailand,» *ScienceDirect*, p. 14, 2023.
- [31] V. Novoa, O. Rojas, R. Ahumada Rudolph, J. L. Arumí, J. Munizaga, F. de la Barrera, J. R. Cabrera Pardo y C. Rojas, «Water footprint and virtual water flows from the Global South: Foundations for sustainable agriculture in periods of drought,» *ScienceDirect*, p. 21, 2023.
- [32] Senamhi, «Fenomeno del Niño. Condiciones actuales de El Niño: Se mantiene el estado de alerta de El Niño Costero,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=fenomeno-el-nino>. [Último acceso: 29 10 2023].
- [33] Banco Central de reserva del Peru, «Reporte de Inflación,» Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2023/junio/reporte-de-inflacion-junio-2023-recuadro-1.pdf>.