

Diseño de una herramienta digital para el cálculo de la huella hídrica agrícola. Caso de estudio

Subcuenca Río Suratá Alto

Slendy Paola Velandia Olarte

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental

Directora

Yurley Paola Villabona Durán

Magíster en Ingeniería Química

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Ambiental

2026

Contenido

Introducción	14
1. Diseño de una herramienta digital para el cálculo de la huella hídrica agrícola. Caso de estudio Subcuenca Río Suratá Alto	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Objetivos	18
1.1.1 Objetivo general.....	18
1.1.2 Objetivos específicos	19
1.3. Justificación	19
2. Marco referencial.....	21
2.1 Generalidades.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1 Caracterización de la zona	21
2.2 Área de estudio	23
2.3 Marco teórico	25
2.4 Estado del arte.....	27
2.5 Marco legal	32
3. Método	33
3.1. Fase 1: Revisión bibliográfica en la base de datos Scopus de los diferentes usos de tecnologías TIC en el cálculo de la huella hídrica agrícola afines a rio Suratá alto.....	33
3.1.1. Formulación plan tecnológico que guíe la identificación de la herramienta requerida.	34
3.2. Fase 2: Evaluación de la muestra preliminar de la herramienta tecnológica digital (Mapa de ruta tecnológico).....	35

3.3. Fase 3: Cálculo de la huella hídrica de la agricultura & creación herramienta digital . 36

3.3.1. Evapotranspiración 37

3.3.2. Rendimiento de cultivo (t/ha) 42

3.3.3. Uso de agua del cultivo (UAC)..... 43

3.3.4. Huella Hídrica de la agricultura..... 43

3.3.5. Formulación de la página web 47

3.3.6. Formulación de estrategias ambientales 47

4. Resultados y análisis de resultados..... 50

4.1. Aplicaciones de las tecnologías tic en el cálculo de la huella hídrica del sector agrícola
50

4.1.1. Herramientas tecnológicas para medir la huella hídrica de agricultura 59

4.1.2. Análisis cuadro comparativo..... 63

4.2. Resultados mapa de ruta tecnológico..... 72

4.3. Análisis ponderado de los criterios en cada una de las tres herramientas digitales en el
mapa de ruta tecnológico..... 82

4.3.1. Página web 82

4.3.2. App (Aplicación) 83

4.3.3. software..... 84

4.4. Prototipo página web y formulación de estrategias 87

5. Conclusiones..... 92

6. Recomendaciones 93

Referencias..... 94

Lista de tablas

Tabla 1. *Normativas investigadas para del cálculo de la huella hídrica agrícola para zona de estudio.* 32

Tabla 2. *Formulas aplicadas para el cálculo de evapotranspiración (Etc)* 39

Tabla 3. *Lámina de agua neta sobre las variables requeridas para hallar huella hídrica verde*41

Tabla 4. *Parámetros de calidad de agua permisibles para el uso agrícola del Artículo 40 -Decreto 1594 de 1984*..... 45

Tabla 5. *Parámetros de calidad adicionales de aguas residuales para uso agrícola de la Resolución 1256 del 2021 - Artículo 5* 46

Tabla 6. *Concentraciones máximas permisibles de actividades agrícolas que puedan contaminar cuerpos de agua con fertilizantes, pesticidas o sedimentos según la Resolución 0631 de 2015.* 46

Tabla 7. *Evaluación comparativa de las herramientas existentes para el cálculo de la huella hídrica agrícola* 59

Tabla 8 *Mapa de ruta tecnológico para el cálculo de la huella hídrica en el sector agrícola cuenca rio Suratá* 72

Tabla 9. *Resultados basados en la evaluación de criterios* 86

Tabla 10. *Resultados de la suma basado en la escala de ponderación para seleccionar la tecnología más adecuada.*..... 86

Lista de figuras

figura 1. *Mapa macro y micro localización del análisis de la zona de estudio del Río Suratá Alto (Colombia) utilizando QGIS.*..... 24

figura 2. *Distribución geoespacial de los puntos en los alrededores de la subcuenca rio Suratá Alto.*..... 24

Figura 3. *Diagrama estratégico de desarrollo tecnológico “mapa de ruta tecnológico”.* 36

Figura 4. *Evapotranspiración por método de Penman-Monteith* 38

Figura 5. *Evapotranspiración real del cultivo (Etc)*..... 40

Figura 6. *Evapotranspiración verde de cultivo* 40

Figura 7. *Lámina de agua neta*..... 41

Figura 8. *Evapotranspiración azul de cultivo* 42

Figura 9. *Rendimiento de cultivo* 42

Figura 10. *Uso de agua de cultivo verde* 43

Figura 11. *Uso de agua de cultivo azul*..... 43

Figura 12. *Huella hídrica azul de la agricultura*..... 43

Figura 13. *Huella hídrica verde de la agricultura* 44

Figura 14. *Huella hídrica gris de la agricultura* 45

Figura 15. *Huella hídrica de la agricultura total* 47

Figura 16 *Diagrama de flujo sobre la construcción de la herramienta digital del cálculo huella hídrica de la agricultura en la zona de estudio Rio Suratá Alto.* 48

Figura 17. *Diagrama de curva de las 20 publicaciones de los últimos 13 años en cálculo de la huella hídrica sector agrícola mediante modelos informáticos* 50

Figura 18. *Diagrama de barras distribución geográfica sobre las publicaciones del cálculo de la huella hídrica sector agrícola..... 52*

Figura 19. *Diagrama circular sobre la temática del área de los artículos científicos..... 55*

Figura 20. *Red bibliométrica. 57*

Lista de apéndices

Apéndices A. *Herramientas tecnológicas para el cálculo de la huella hídrica de la agricultura*
..... 110

Apéndices B. *Mapa de ruta tecnológico*..... 129

Apéndices C. *Prototipo Pagina Web* 140

Apéndices D. *Resultado de 1 año Pagina web sobre el cálculo de la huella hídrica agrícola sobre la zona de estudio*..... 140

Resumen

En el presente trabajo se propone establecer una alternativa digital para calcular la huella hídrica agrícola total (que incluye la huella azul, verde y gris) dirigido a los agricultores que utilizan la cuenca del río Suratá Alto. La herramienta busca promover prácticas sostenibles en la gestión del agua. Para su desarrollo, se emplearon diversos métodos de investigación, entre ellos, la investigación mixta y la revisión de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en la base de datos Scopus. Adicionalmente, se formuló un mapa de ruta tecnológico orientado a los agricultores con la finalidad de elegir una herramienta que les provee el uso.

De acuerdo con lo anterior se eligió y se creó un prototipo de página web por medio de Visual studio code, la página web permite a los usuarios calcular la huella hídrica con base en los cálculos propuestos por el pionero en este campo, Arjen Hoekstra, y el cálculo de evapotranspiración por el método de Penman-Monteith. Como resultado, se obtuvo un prototipo funcional que permite a los agricultores realizar cálculos precisos y recibir sugerencias para implementar prácticas sostenibles. El análisis de los datos recopilados por la herramienta ha contribuido a fomentar prácticas ambientales más responsables en la región, mejorando así la gestión del agua.

Palabras claves: huella hídrica agrícola, Suratá, página web

Abstract

This paper proposes to establish a digital alternative to calculate the total agricultural water footprint (including the blue, green and grey footprint) aimed at farmers who use the Suratá Alto River basin. The tool seeks to promote sustainable practices in water management. For its development, various research methods were used, including mixed research and the review of information and communication technologies (ICT) in the Scopus database. Additionally, a technological roadmap oriented to farmers was formulated in order to choose a tool that provides them with the use.

According to the above, a prototype of a web page was chosen and created through Visual studio code. The web page allows users to calculate the water footprint based on the calculations proposed by the pioneer in this field, Arjen Hoekstra, and the calculation of evapotranspiration using the Penman-Monteith method. As a result, a functional prototype was obtained that allows farmers to make precise calculations and receive suggestions to implement sustainable practices. Analysis of the data collected by the tool has helped promote more responsible environmental practices in the region, thereby improving water management.

Keywords: agricultural water footprint, Suratá, website

Glosario

Huella hídrica: “es un indicador del uso de agua dulce, al considerar de manera integral la apropiación de los recursos hídricos, superando la visión tradicional y limitada que se centra únicamente en los volúmenes extraídos” (Hoekstra A , et ál., 2021, p. 28).

Huella hídrica verde: es un indicador del aprovechamiento humano del recurso conocido como 'agua verde', es decir, aquella fracción de las precipitaciones que no fluye hacia ríos ni se infiltra hasta formar aguas subterráneas, sino que permanece en el suelo, ya sea almacenada en sus capas superficiales o retenida temporalmente en la vegetación y la superficie terrestre (Hoekstra A, et ál., 2021, p. 56).

Huella Hídrica Azul: es un indicador proveniente de agua dulce como fuentes superficiales y subterráneas. El término 'uso consuntivo del agua' hace referencia a situaciones en las que el agua: se evapora, se incorpora al producto final, no retorna a la misma zona de donde fue captada —ya sea porque se traslada a otra cuenca o al mar—, o no regresa en el mismo período, como ocurre cuando se extrae durante una estación seca y retorna en una estación húmeda (Hoekstra A , et ál., 2021, p. 51).

Huella Hídrica Gris: es un indicador que permite estimar el nivel de contaminación del agua dulce vinculado a una determinada etapa del proceso. Se define como el volumen de agua requerido para diluir los contaminantes hasta alcanzar concentraciones compatibles con las condiciones naturales y con los estándares establecidos por la normativa de calidad ambiental vigente (Hoekstra A, et ál., 2021, p. 29).

Huella hídrica de agricultura: “es el volumen total de agua empleado en este sector abarca todas las etapas del proceso productivo de alimentos, desde su proceso de hasta su proceso final de producción de alimentos” (Lama, 2022).

Huella hídrica total: “es la suma correspondiente al resultado agregado de las huellas hídricas asociadas a los diversos procesos individuales que se desarrollan dentro del área de estudio” (Hoekstra A. Y, et ál., 2021, p. 30).

Evapotranspiración (ET): es el fenómeno por el que parte del agua se transfiere a la atmósfera, la combinación de dos procesos distintos mediante los cuales se produce la pérdida de agua: por un lado, la evaporación desde la superficie del suelo, y por otro, la transpiración generada por el cultivo (Allen, et ál., 2006, p. 22).

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET₀): tiene lugar en condiciones ideales, sin limitaciones en la disponibilidad de agua, y se basa en un cultivo de referencia —generalmente un pasto hipotético— que posee características definidas en cuanto a desarrollo, cobertura y crecimiento, es decir, hace referencia a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas reinantes (Allen, et ál., 2006, p. 28).

Evapotranspiración real del cultivo (ET_c): es la evapotranspiración de un cultivo específico cuando se desarrolla en condiciones óptimas tales como libre de enfermedades, adecuadamente fertilizado, con suficiente disponibilidad de agua y en parcelas amplias, lo que permite alcanzar su máximo potencial productivo según las condiciones climáticas del entorno (Allen, et al., 2006, p. 28).

Evapotranspiración de agua verde del cultivo: “evapotranspiración de agua lluvia” (Hoekstra A. Y, et ál., 2021, p. 167).

Evapotranspiración de agua azul del cultivo: “evapotranspiración de riego de agua en el campo” (Hoekstra A. Y, et ál., 2021, p. 167).

Lámina de agua neta (LN):” corresponde al volumen de agua que las plantas pueden utilizar con facilidad, considerando el umbral a partir del cual es necesario reponerla o el porcentaje máximo de extracción permitido antes de afectar su disponibilidad” (Legarda Burbano, et ál., 1999, p. 4).

CROP WATER (CROWAT): es una herramienta software informático para el cálculo de las necesidades hídricas y de riego de los cultivos en función de los datos del suelo, el clima y los cultivos. Además, el programa permite desarrollar programas de riego para diferentes condiciones de gestión y calcular el suministro de agua para distintos patrones de cultivo (FAO, 2025).

CLIMatic WATER (CLIMWAT): es una herramienta software sobre base de datos climática que se utiliza en combinación con el programa informático que permite calcular las necesidades de agua de los cultivos, suministro de riego y la programación del riego para diversos cultivos en diversas estaciones climatológicas a nivel global (FAO, 2025).

Soil and Water Assessment Tool (SWAT): “es una herramienta software de modelo continuo de tiempo de simulación que se aplica la evaluación de suelo y agua para el manejo de cuencas hidrográficas” (Uribe, 2010).

Geographic Agricultural Water Footprint Calculator (GAWFC): “es una herramienta que permite el cálculo de balances hídricos diarios a nivel de finca mediante la inserción de una serie de datos de entrada georreferenciados como datos climáticos, texturas de suelos, coeficientes de cultivo, rendimientos entre otros” (EsAgua, 2023).

Quantum GIS (QGIS): es una herramienta software que permite visualizar, editar, analizar, gestionar y publicar datos geoespaciales (Merginmaps, 2025).

Coeficiente de cultivo (Kc): los coeficientes de cultivo (K_c) corresponde a las etapas iniciales(establecimiento), mediana (crecimiento en biomasa) desarrollo (floración y

fructificación) y de temporada final (maduración), corresponde a cultivos no estresados por falta de agua, cultivados bajo excelentes condiciones agronómicas y de manejo del agua y que alcanza su máxima productividad, En casos donde la densidad entre plantas, altura o áreas foliar sean menores a las obtenidas bajo tales condiciones (Hoekstra A. Y, et ál., 2021, p. 166).

Mapa de ruta tecnológico: un mapa de ruta tecnológico es una serie de líneas de acción estratégicas que ofrece una perspectiva detallada del desarrollo y progreso prioritarias donde pretende llevar a cabo una transición tecnológica en un sector específico a largo plazo en un entorno concertado entre el gobierno, la industria, la academia y la sociedad (Gobierno de Mexico, 2021, p. 6).

Rendimiento de cultivo: “cantidad de cultivo cosechado que permite cuantificar el volumen de producción agrícola obtenida, generalmente expresado en función del rendimiento por unidad de superficie cultivada” (Redekop, 2025).

Uso de agua del cultivo (UAC): “hace referencia al volumen total de agua utilizado a lo largo del ciclo de producción de un cultivo, expresado en función de la cantidad de toneladas obtenidas” (Cardona y Congote Ochoa, 2013, p. 3).

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas reportó que el consumo de agua a nivel global es de alrededor de 4,600 km³/año y se prevé que aumente hasta de un 30%; es decir se espera que para el año 2050 se consuman entre 5,500 y 6,000 km³/año. De este consumo de agua, la agricultura ocupa el 70 % del total que se extrae en el mundo. Sumado a esto, el uso de las aguas subterráneas a nivel mundial para actividades relacionadas con la agricultura ascendió a 800 km³/año en la década del 2010 (ONU, 2018).

En Colombia, la demanda hídrica agrícola para el 2020 fue de 50.146,2 millones de metros cúbicos (MMC) de cultivos y 260.503,8 en pastos agrícolas (ENA, 2022). “En concordancia con los datos expuestos, este sector es el que más agua consume en el país y a nivel mundial frente a otros como energía, acuícola, pecuario, industrial, servicios y doméstico” (EL HERALDO, 2015).

“Por otro lado, la agricultura moderna es un factor significativo de la contaminación de cuerpos de agua mediante el vertimiento de agroquímicos, materia orgánica, sedimentos y sales” (iAgua, 2018). “Además, influye directamente en el cambio climático y en otros factores como la escasez de agua y de lluvia en diversas partes del mundo” (ONG, 2021).

Con el propósito de conocer y aportar un cambio a esta situación, en el año 2002 apareció el concepto de huella hídrica, propuesto por Arjen Hoekstra; este indicador sirve para fomentar el uso racional y sostenible del agua, frente a los grandes volúmenes que se requieren de este recurso (Biobilbao, 2023). Actualmente, existen diferentes indicadores de huella hídrica como son huella verde, azul y huella gris. De acuerdo con análisis bibliométricos de Scopus, se puede decir que de dichos indicadores se publican pocos documentos. Ahora bien, con relación a la huella gris, se observó que existen diferentes estudios que evalúan el suelo e indicadores que evalúan los cuerpos de agua contaminados por lixiviados y pesticidas provenientes de sistemas de producción

agropecuaria (Carabalí, 2015). Es bien sabido por la ONU que la eutrofización y la contaminación de agua potable es una de las consecuencias ambientales que afecta gran parte del mundo, a ello se suma el uso de plaguicidas y fertilizantes no orgánicos que van a parar a las fuentes hídricas y se detectan a niveles que superan las normas jurídicas o ambientales (ONU, 2022, p. 4).

Conocer la huella hídrica agrícola permite a los agricultores disponer de información precisa para tomar decisiones más acertadas. Por tal motivo, para interpretar y comprender mejor los datos de la huella hídrica existen diferentes programas y herramientas web especializadas. En esta investigación se revisó un conjunto de documentos que incluyen páginas web de organizaciones mundiales, de instituciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, portales web de distribuidores y algunas publicaciones científicas. De esta revisión, se observó que algunas de estas herramientas se encuentran disponibles en el mercado y que, en algunos casos, no son amigables con el usuario debido a que los resultados se presentan de manera muy compleja y por lo cual, no contribuyen en la toma de decisiones. Considerando este aspecto, surge la necesidad de una herramienta web que simplifique el cálculo de la huella hídrica (verde, azul y gris) y que, con base en los resultados genere recomendaciones claras y viables para disminuir la pérdida de agua en actividades de riego y otros problemas propios de la agricultura.

A lo largo de este proyecto se desarrolló un prototipo digital para calcular la huella hídrica agrícola que está basada en los cálculos del profesor Arjen Hoekstra. Además, la herramienta genera los resultados, sugiere acciones y actividades que faciliten la gestión sostenible del recurso hídrico. Finalmente, se concluye que su implementación por parte de los agricultores puede enfrentar desafíos y no estar plenamente garantizado su uso.

1. Diseño de una herramienta digital para el cálculo de la huella hídrica agrícola. Caso de estudio Subcuenca Río Suratá Alto

1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo con la séptima edición de Estudio Nacional de Agua (ENA), durante el periodo 2012 y 2016 se registró un incremento del 5 % del uso de recurso hídrico por parte de la comunidad agrícola; esta es una de las que mayor cantidad de agua consume para suplir sus actividades. Sumado a esto, en el 2018, Antioquia, Huila y Santander ocuparon los primeros puestos como los departamentos con mayor consumo de agua en el país (Semana, 2019).

“El departamento de Santander cuenta con un área total de 3.054.326 ha, donde el 78,1% corresponde al sector agrícola con 2.384.154 ha de territorio” (UPRA, 2022, p. 6). Por otra parte, el municipio de Suratá cuenta con un área total de 34.183 ha donde el 215 ha pertenecen a la frontera agrícola; de estas, 90 ha estas destinadas a producciones agrícolas como la mora, la curuba, la breva y el tomate de árbol; así mismo, 125 ha corresponde a la cosecha de café con un rendimiento bajo. Esto se debe a que la mayoría de los cafetales fueron establecidos hace más de 50 años sin ningún tipo de tecnificación y en la actualidad han perdido gran parte de producción (ESAP, 2019, p. 24).

Cabe destacar que la subcuenta del río Suratá cuenta con un abundante recurso hídrico, que sirve como abastecedor de agua al área metropolitana de Bucaramanga. No obstante, el recurso es subutilizado para prácticas agrícolas que a su vez utilizan algunas prácticas de manera inadecuada como la siembra en ladera, deteriorando los suelos y aumentando procesos como la erosión, escorrentías, cárcavas, tala de bosques y disminución de caudales (ESAP, 2019, p. 44).

De acuerdo con lo anterior, resulta inaplazable promover el conocimiento sobre el uso responsable del recurso hídrico con miras a que los agricultores se decidan a implementar prácticas agrícolas para reducir el desperdicio de agua en actividades agrícolas, específicamente, en los alrededores de la subcuenca del río Suratá. Siendo así, la elección de la zona de estudio se hizo considerando la fuerte tradición agrícola a la que han sido destinados los suelos de Suratá y, con ello, las implicaciones del consumo hídrico que estas actividades conllevan.

Debido a los altos componentes de contaminantes en la subcuenca Suratá que abastece la ciudad de Bucaramanga y la poca información que conocen los habitantes sobre la huella hídrica

fomentando hábitos que incentiven el uso racional y sostenible del recurso hídrico. Se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué herramienta se podría aplicar que permita a los agricultores conocer el impacto generado por el consumo excesivo de agua y de recomendaciones para su utilización de manera que se mejore la productividad de sus cosechas?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una estructura con las variables necesarias para calcular la huella hídrica agrícola en la zona del río Suratá alto sintetizada en un prototipo basado en la revisión bibliográfica, Manual de evaluación de la huella hídrica-establecimiento del estándar mundial y las condiciones geográficas específicas.

1.2.2 Objetivos específicos

Calcular la huella hídrica agrícola que sean más convenientes para el caso de la cuenca rio Suratá alto mediante una revisión bibliográfica en Scopus con el fin de identificar herramientas útiles.

Proponer un mapa de ruta tecnológico con el fin de determinar la herramienta adecuada para calcular la huella hídrica considerando las necesidades propias de la zona del Rio Suratá Alto.

Configurar un conjunto de variables que permitan calcular la huella hídrica agrícola para los agricultores de la zona del Rio Suratá Alto cuyo diligenciamiento se haga a partir de un prototipo de herramienta digital.

1.3 Justificación

El municipio de Suratá, ubicado en el departamento de Santander, se caracteriza por sus altos niveles de humedad, lo que genera una elevada demanda hídrica en la cuenca. Esta región no solo abastece a Bucaramanga y a otros 12 municipios de Santander, sino que también enfrenta serios desafíos ambientales. En los últimos años, el cambio climático ha causado un aumento significativo de las temperaturas, exacerbando la presión sobre los recursos hídricos. Además, la cuenca ha sido gravemente afectada por la contaminación por mercurio, principalmente debido a la minería ilegal. Durante el año 2022, los niveles de mercurio en la cuenca alcanzaron los 100 microgramos por litro en enero, y se incrementaron en un alarmante 63% de 100 microgramos a 163 para julio de ese mismo año (Infobae, 2022).

A pesar de la importancia del agua para la agricultura local, se recomienda difundir el concepto de la huella hídrica, pocas personas en Colombia están familiarizados con el concepto de huella hídrica y es importante crear conciencia y tener compromiso ciudadano (WWF, 2012). Este

proyecto tiene como objetivo cambiar esa realidad, este indicador es crucial para medir el consumo de agua en los cultivos proporcionando una plataforma científica y tecnológica que no solo informe a la comunidad agrícola, sino que también la empodere con herramientas prácticas para calcular y gestionar su huella hídrica. Entre las metodologías aplicadas se destacan el método de evapotranspiración de Penman-Monteith y el método de cálculo de la huella hídrica desarrollado por Arjen Hoekstra. De acuerdo con lo anterior, la herramienta propuesta no se limita a ser un recurso informativo; su verdadero valor reside en su capacidad para integrarse en las rutinas diarias de los agricultores, ayudándoles a reducir los impactos ambientales y a encontrar nuevas alternativas para una gestión más sostenible del recurso hídrico. Al comprender y aplicar este indicador, los agricultores podrán conocer con precisión la cantidad de agua consumida en sus cultivos, promoviendo así una agricultura más eficiente y consciente.

La subcuenca del río Suratá, que abarca un área de 68,461 hectáreas, es un área de gran diversidad topográfica, con altitudes que varían desde los 550 m.s.n.m., en su desembocadura en el río Lebrija, hasta los 4,200 m.s.n.m. en la parte alta de la microcuenca del río Vetás. La cuenca incluye zonas de bosque tropical inferior, subandino, andino, alto andino, y páramo, y es conocida por sus terrenos moderadamente a fuertemente escarpados, con pendientes que oscilan entre 7% y 75%. A pesar de no presentar problemas significativos en cuanto a la cantidad de agua, la calidad del recurso está comprometida por la contaminación con sedimentos provenientes de la minería de oro en la microcuenca del río Vetás (Guerrero y Virginia, 2015).

2. Marco referencial

2.1 Generalidades

La información obtenida se tomó de la Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB) con vigencia año 2023 sobre la red hidro climatológica de la subcuenta Suratá alto. La CDMB realiza labores de monitoreo climático a través de dos estaciones ubicadas en las zonas alta y media del territorio, específicamente en Lago Alto y El Roble.

2.1.1 Caracterización de la zona

La cuenca del río Suratá Alto posee una relevancia geográfica y ecológica significativa en Santander. Su diversidad de climas, ecosistemas y formas de uso de la tierra resalta la importancia de implementar un enfoque integral y sostenible para garantizar el bienestar de las comunidades locales y la preservación de los recursos naturales (Guerrero y Virginia, 2015).

2.1.1.1 Precipitación. “La estación Lago Alto, reporta una precipitación acumulada de 869,98 mm y una la precipitación máxima horaria de 28 mm” (CDMB, 2023, pág. 57).

“La estación el Roble reporta precipitación acumulada de 979,16 mm, según el reporte horario registrado por la estación. Así mismo, el valor máximo horario es de 36 mm” (CDMB, 2023, pág. 60).

2.1.1.2 Temperatura. “la temperatura máxima ambiente diaria, reportada a partir de datos horarios, corresponde a 20,19 °C. Así mismo, el valor promedio de la variable para el semestre es de 13,06 °C” (CDMB, 2023, pág. 57).

“La estación el Roble, la temperatura media para el periodo registrado del primer semestre del año 2023 corresponde a 15,96 °C. Así mismo, se evidencia que la temperatura máxima diaria de 24,06 °C” (CDMB, 2023, pág. 60).

2.1.1.3 Humedad Relativa. “El promedio de humedad relativa semestral registrada por la estación es de 99,5 % “ (CDMB, 2023, pág. 57).

“La estación el Roble, Se determinó la humedad relativa media para el periodo registrado corresponde a 86,61%” (CDMB, 2023, pág. 61).

2.1.1.4 Radiación Solar. “La radiación solar máxima horaria reportada por la estación Lago Alto corresponde a 1.191 W/m²” (CDMB, 2023, pág. 58).

“La estación el Roble, la radiación solar máxima horaria reportada por la estación El Roble para el periodo registrado del primer semestre del año 2023 corresponde a 1.006 W/m²” (CDMB, 2023, pág. 61).

2.1.1.5 Velocidad del Viento. “Para la estación Lago Alto el rango de velocidad de viento con mayor representatividad o predominante se encuentra en el rango de 0,5 m/s a 2,1 m/s. La dirección predominante del viento Noroeste (NW)” (CDMB, 2023, pág. 59).

“Para la estación El Roble en el periodo registrado se evidencia que el rango de velocidad de viento con mayor representatividad o predominante se encuentra en el rango de 0,5 m/s a 2,1 m/s en dirección predominante del viento Noroeste (NW)” (CDMB, 2023, pág. 61).

2.3 Área de estudio

El río Suratá se origina en la microcuenca del río Suratá alto, a una altitud de 3,800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), en el Páramo de Monsalve. Su recorrido finaliza en el río Lebrija, en la vereda Santa Rita, a una altitud de 1,000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). Este sistema hidrológico incluye cinco corrientes tributarias que, para su organización y manejo por microcuencas, se enumeran de forma ascendente: río Betas, río Suratá alto, río Charta, río Tona y, finalmente, en su tramo final, la microcuenca del río Suratá bajo, conformando el principal afluente, el río Suratá. Con una extensión total de 68,461 hectáreas (Guerrero y Virginia, 2015).

La microcuenca Suratá Alto abarca una extensión de 13.755 hectáreas y forma parte de la subcuenca Suratá, la cual, a su vez, pertenece a la Cuenca del Río Lebrija. Esta unidad hidrográfica se encuentra localizada en la región nororiental del departamento de Santander. Sus límites geográficos están definidos de la siguiente manera: al norte colinda con la microcuenca Cachiri Alto, al sur con las microcuencas de los ríos Suratá Bajo y Charta, al oriente con la microcuenca del río Vetas y al occidente con la subcuenca del río Negro (CDMB, 2006).

Figura 1. Mapa macro y micro localización del análisis de la zona de estudio del Río Suratá Alto (Colombia) utilizando QGIS.

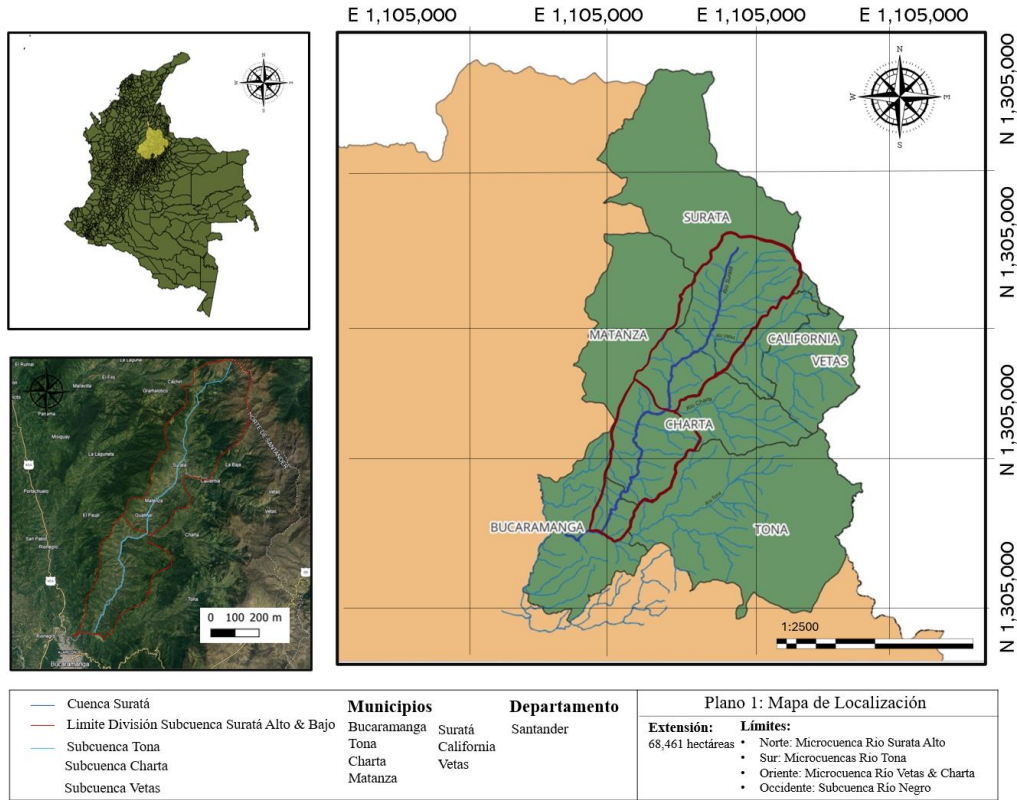
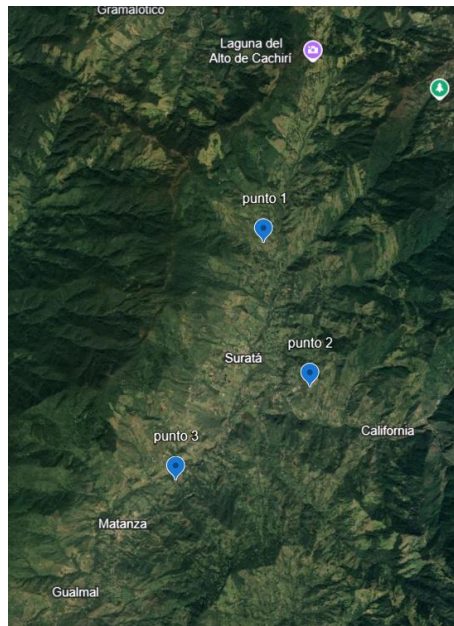


Figura 2. Distribución geoespacial de los puntos en los alrededores de la subcuenca río Suratá Alto.



Adaptado de GoogleEarth (2025).

Estos puntos fueron seleccionados para la recolección de datos meteorológicos, con el objetivo de calcular la huella hídrica de la actividad agrícola en la zona.

Coordenadas:

punto 1: 7°23'46"N 72°58'42"W Latitud: 7.3961° N Longitud: -72.9783° W

Punto2: 7°21'31"N 72°57'59"W Latitud: 7.3586° N Longitud: -72.9664° W

Punto 3: 7°20'02"N 73°00'06"W Latitud: 7.3339° N Longitud: -73.0017° W

2.4 Marco teórico

El profesor holandés Arjen Hoekstra es el padre del concepto de la “Huella Hídrica”, Hoekstra ha actuado significativamente en la agenda mundial del agua y ha establecido conciencia sobre los patrones del consumo de la disponibilidad hídrica a nivel global. Así mismo, Implantó el Manual “Water Footprint Network” donde abarcó investigadores internacionales que luchan por una mejor practica de manera sostenible y equitativa del agua. (iAgua, 2024) y el campo interdisciplinario “Water Footprint Assessment”, que investiga la relación entre la gestión, el consumo y el comercio del agua (SIRSE, 2019).

La huella hídrica es un indicador medioambiental el cual se emplea para medir el volumen de agua dulce que se consume en la producción de un bien o servicio por parte de individuos, comunidades o por empresas. Se puede utilizar para evaluar el consumo de agua en una amplia variedad de contextos, desde la producción de unos pantalones hasta el consumo total de un país, incluyendo cosechas y las actividades anuales de una empresa (Iberdrola, 2024). Puede llegar a considerarse como un indicador integral de la apropiación de los recursos hídricos en la medida tradicional y restrictiva de la extracción de agua. (Hoekstra A. , et al., 2021). Como resultado,

puede contribuir a la mejora de políticas de gestión del agua, la planificación hidrológica, y, en consecuencia, a la sostenibilidad y resiliencia de las sociedades humanas (IICA, 2014).

En el 2022, el sector agrícola en Colombia presentó una demanda hídrica de 13.984,1 millones de metros cúbicos, lo que representó un 43,2% del total del agua usada en el país. A partir del 2016 se ha observado una reducción en este porcentaje, aunque actualmente su consumo sigue siendo insostenible, debido a factores como la ineficiencia en el uso del recurso hídrico y el mal estado de las infraestructuras de suministro. Esto representa una oportunidad para promover su uso sostenible y eficiente en la agricultura, mediante la implementación de acciones como la reutilización de aguas residuales, la adopción de sistemas de riego con tecnología avanzada y la optimización de la producción para reducir el estrés hídrico (ADAMA, 2023).

Durante el crecimiento de un cultivo en general, las huellas hídricas azul y verde pueden calcularse mediante el modelo CROPWAT propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el cual permite obtener datos relacionados con la evapotranspiración y transpiración de las plantas, datos climatológicos.

2.5 Estado del arte

Las huellas hídricas de Marruecos y Holanda: uso global del agua como resultado del consumo doméstico de productos agrícolas

Hoekstra y colaboradores, realizaron un estudio para evaluar las huellas hídricas en Marruecos y Países bajos, los cuales presenta condiciones climáticas muy diferentes. Se analizó cómo ambos países importaron más agua virtual de la que exportaron, lo que indicó su dependencia de los recursos hídricos de otros lugares lo que implica un manejo complejo y estratégico del comercio internacional de recursos hídricos (Hoekstra, et al., 2006).

La consideración del paso de tiempo en el cálculo de las huellas de agua gris de sistemas de cultivo agrícola

Vergé y colaboradores analizaron la influencia del tiempo en la determinación de las huellas hídricas grises, la cual se define como el agua requerida para diluir contaminantes hasta niveles aceptables, en este caso, la medición de las concentraciones diarias promedio de nitrato-nitrógeno (NO₃-N) presentes en el agua de drenaje para los cultivos de maíz y soya. El análisis se enfocó en las pérdidas de nitrógeno, calculando las huellas de agua gris para lixiviación y escorrentía por separado y luego sumándolas para obtener el total anual.

Además, se utilizó el modelo SWAT para calcular las huellas hídricas de producción de cultivos a nivel de campo. Los resultados mostraron que el SWAT es una alternativa viable para calcular las huellas hídricas, ofreciendo una mayor precisión a escala de subcuenca en comparación con los métodos empíricos y estadísticos. Se observó una variabilidad espacial en las huellas hídricas, con mayores valores en la parte este del HID. Los resultados mostraron que las concentraciones diarias de NO₃-N en el agua de drenaje a menudo estaban por debajo del umbral,

con excedencias ocasionales. Las concentraciones anuales promedio fueron de 2,0 mg/L para el maíz y 0,4 mg/L para la soya (Vergé, et ál., 2017, pp. 31-36).

Estudio cuantitativo de la huella hídrica de producción de cultivos mediante el modelo SWAT

Luan & Colaboradores en este estudio utilizaron el modelo SWAT para calcular la cosecha a nivel de campo de Huellas hídricas de producción. Se estableció un método cuantitativo para medir la huella hídrica de producción de cultivos basado en el modelo hidrológico (SWAT). Esta fue una escala de campo método de cálculo de la huella hídrica de producción de cultivos, y los resultados del cálculo fueron menores que el método empírico (escala de campo) y el método estadístico (escala de región). Usando el modelo SWAT para calcular huellas en la unidad de la subcuenca en lugar del área administrativa (por ejemplo, condado), los resultados se pueden utilizar para evaluar el consumo de agua volúmenes por fuente y tipo de agua. Esto presenta una ventaja para el sector de la gestión del agua agrícola en cuanto a la asignación precisa de recursos hídricos en la región. La huella hídrica total de la producción de cultivos se correlacionó negativamente con el rendimiento de estos, pero la huella hídrica verde se correlacionó positivamente con la precipitación (Luan, et ál., 2018, pp. 1-10).

Cálculo de la huella hídrica gris agrícola estacional en la región del monzón en función de las condiciones de referencia del río

En este trabajo se calculó la huella hídrica gris agrícola de Zhangjiakou (China) considerando la diferencia estacional de la concentración de fondo natural de contaminantes y el coeficiente de exportación de contaminantes. Como metodología se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: el estudio del área, el cálculo de la huella hídrica gris, la concentración máxima aceptable, la concentración de fondo natural, la carga total de fósforo procedente de la

siembra y la ganadería, como también la proporción de la carga de contaminación que ingresa al río en la estación lluviosa.

La Huella Hídrica Gris Agrícola mostró una diferencia estacional obvia, y la huella hídrica gris agrícola en la temporada de lluvias fue 11,73 veces superior a la de la estación seca, por lo que se puede concluir que la diferencia estacional debe ser considerada en el cálculo de la huella hídrica gris agrícola en la región del monzón. En el futuro, las condiciones de referencia de los contaminantes y el coeficiente de flujo de entrada de contaminantes de cada mes deben determinarse adicionalmente, y luego en la escala de cálculo de la huella hídrica gris agrícola podría refinarse de temporada a mes (Cheng y Sun, 2022).

Evaluación de las huellas hídricas azul, verde y gris para el sistema de riego y drenaje de los arrozales

En este estudio, se presenta un método genérico y de base física para la contabilidad del agua azul, verde y gris para cultivos de arroz. Se realizaron experimentos de campo utilizando el riego por inundación común (CFI) y modos de riego con ahorro de agua (SWI). Se analizaron los datos provenientes de fuentes de ET y la migración proceso de múltiples contaminantes (TN, TP, NH_4^+-N , y $\text{NO}_3^- -\text{N}$), las características del consumo de agua azul-verde y la cantidad real de agua requerida para diluir los contaminantes en las diferentes etapas de crecimiento del arroz bajo CFI y SWI. La WF del arroz fue de $1000 \text{ m}^3/\text{t}$ (49 % verde WF, 17 % azul WF, 34 % gris WF) y $910 \text{ m}^3/\text{t}$ (50% WFgreen, 10% WFblue, 40% WFgrey) para CFI y SWI, respectivamente. El WF para la producción de arroz se redujo en aproximadamente un 9 % con SWI en comparación con CFI, con descensos del 47 % para WFblue y del 8 % para WFgreen. El modo SWI cambió la proporción de flujos de agua azul a verde en el agua de campo al reducir el riego durante períodos no críticos, y el agua verde se utilizó preferentemente para mejorar su utilidad. El método es el

primero en demostrar el mecanismo de formación de WF azules, verdes y grises en los sistemas de arroz. Muestra la influencia de los cultivos sobre el recurso hídrico (Wu, et ál., 2022).

Estimación de la huella gris de la agricultura teniendo en cuenta el efecto de fertilizantes y pesticidas

Las componentes verde y azul de la huella hídrica de la agricultura de los diferentes países del mundo han sido ampliamente estudiadas y calculadas por diferentes autores, sin embargo, no es el mismo caso para la componente gris de la agricultura. Carmona Vega, desarrolló una investigación sobre la componente gris en la huella hidrológica de los países, a partir de las tasas de aplicación de fertilizantes o de pesticidas en los cultivos, que son las principales fuentes de contaminación de agua generadas por el sector agrícola. Este autor concluyó que es necesario calcular la componente gris a partir de las dos metodologías establecidas y la mayor de las dos huellas hídricas calculadas, será la huella hídrica gris de la agricultura. Además, que la introducción de la componente gris en el cálculo de la huella hídrica de la agricultura introduce una gran cantidad de agua en el modelo, pero permite conocer el volumen de agua necesario para asumir la actividad agrícola y realizar una comparación, más ajustada, entre los diferentes países (Carmona Vega, 2010).

Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México

El objetivo de este trabajo fue la determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017 Comarca Lagunera, México. Mediante el uso de indicadores de productividad y eficiencia se desarrollaron modelos matemáticos que permitieron estimar la huella hídrica azul de los cultivos. Los resultados muestran que los forrajes ocuparon 45% de la superficie total agrícola, empleando 94,7% del agua subterránea, generando 33% del Valor Bruto de la

Producción agrícola. Finalmente, bajo las mismas condiciones de cultivo, así como de mercado, la cantidad mínima que se requiere producir para tener una operación viable (punto de equilibrio) en promedio fue 39,02 t/ha. En conclusión, la producción de maíz y sorgo forrajero en la región resultó altamente eficiente y productiva en comparación con los demás cultivos forrajeros lo que se tradujo en una menor huella hídrica azul. (Ríos Flores, et ál., 2015, pp. 93-107).

Estimación de la huella hídrica para un cultivo de pitahaya amarilla

Este proyecto permitió evaluar el impacto que afectaba el cultivo de pitahaya y calculó de la Huella Hídrica dentro del proceso productivo de pitahaya amarilla (*selenicereus megalanthus*). La Huella Hídrica es un indicador multidimensional que cuantifica el volumen de agua utilizado para la producción de un bien. El objetivo del presente estudio es cuantificar el consumo del recurso hídrico, para concientizar a los habitantes del municipio de Palestina, Huila sobre la importancia de la administración adecuada y eficiente del mismo. Adicional a esto, se diseñó un sistema de captación de agua para suplir las necesidades de la población en época de sequía y, de esta manera, no parar las actividades económicas por falta del recurso. Cada tipo de huella hídrica se determinó a partir de valores teóricos e información secundaria suministrada por un cultivador del municipio de Palestina. Estos valores se utilizaron como base para determinar las huellas azul, verde y gris del cultivo de pitahaya amarilla en su fase productiva. El estudio se realizó por medio del manejo del software CropWat 8.0 (propuesto por la FAO en el año 2010), el cual es un programa informático que permite calcular las necesidades hídricas de los cultivos, con base en la tierra, el clima y los datos del mismo cultivo (Sánchez Bautista, et ál., 2015, p. 135).

Cálculo comparativo de la huella hídrica del sistema productivo de arroz de riego en cuatro zonas arroceras de Colombia por medio del software CROPWAT 8.0.

En el presente documento se realizó el cálculo de la huella hídrica para cuatro tipos de sistemas productivos de arroz riego por inundación, en una zona geográfica delimitada, esto con el fin de comparar su comportamiento bajo diferentes condiciones ambientales, tecnológicas, económicas y sociales, ya que el enfoque que se aborda en el análisis de sistemas de producción permite realizar el estudio con este nivel de detalle (Rojas y Hernández, 2018).

2.6 Marco legal

El marco legal proporciona normativas que rigen el uso, la gestión de agua en la agricultura y el ambiente. En la tabla a continuación se sintetizan aquellas leyes y políticas nacionales e internacionales que impactan la sostenibilidad del uso del agua y la responsabilidad de quienes la usan.

Tabla 1. Normativas investigadas para del cálculo de la huella hídrica agrícola para zona de estudio.

<i>Norma</i>	<i>Decreta</i>	<i>Descripción</i>
Decreto 1594 de 1984	Presidente de la república de Colombia	El artículo 40 de este decreto cumple con el objetivo de establecer parámetros máximos permisibles para el recurso del uso adecuado de riego de agua en el sector agrícola, el empleo irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, que el Ministerio de Salud o la EMAR establezcan.
Resolución 1256 del 2021	Ministro de ambiente y desarrollo sostenible	Esta resolución tiene por objeto establecer las disposiciones relacionadas con el uso de las Aguas Residuales y aplica a las autoridades ambientales y a los usuarios. En el artículo 5 las aguas residuales se podrán usar en los uso agrícola e industrial y deberán cumplir los criterios de calidad del agua residual para el uso agrícola.

<i>Norma</i>	<i>Decreta</i>	<i>Descripción</i>
Resolución 0631 de 2015	Ministro de ambiente y desarrollo sostenible	Esta resolución tiene como objetivo cumplir con los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería.

3. Método

Esta metodología se desarrolló en tres fases; en las dos primeras, se recopilamos artículos de investigación y datos sobre el cálculo de la huella hídrica agrícola mediante consultas en bases de datos académicas, con el fin de poder desarrollar los objetivos planteados. En la tercera fase, se configuró un conjunto de variables que permitieron calcular la huella hídrica agrícola a partir de un prototipo de herramienta web.

3.1 Fase 1: Revisión bibliográfica en la base de datos Scopus de los diferentes usos de tecnologías TIC en el cálculo de la huella hídrica agrícola afines a río Suratá alto

Para el primer objetivo, se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos clasificados en la base de datos Scopus Elsevier, B. V (2023), con el fin de definir las tendencias en investigación para obtener la herramienta digital más adecuada que pueda calcular la huella hídrica de agricultura. Se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda:

(TITLE ("water footprint") AND TITLE-ABS-KEY (crops OR agricultur* OR cultivation) AND TITLE-ABS-KEY (software OR app OR tool OR "digital resource" OR "information system" OR "webpage" OR "website") AND NOT TITLE-ABS-KEY (meat OR "Cattle Raising")) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "SWAT") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD ,

"CROPWAT") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "SWAT Model") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "GIS") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "CROPWAT Model"))

Primer eje de consulta: “water footprint”, término relacionado con la huella hídrica. Este descriptor se consultó en el campo del título del artículo o documento, con la finalidad de identificar solo documentos que tuvieran esta palabra en su título.

Segundo eje de consulta: crops OR agricultur* OR cultivation, descriptores relacionados con la actividad agrícola, sector en el cual se tiene el interés de calcular la huella hídrica. Estas palabras se consultaron en el campo TITLE-ABS-KEY, definido por la base de datos de Scopus.

Tercer eje de consulta: software OR app OR tool OR "digital resource" OR "information system" OR "webpage" OR "website", palabras clave relacionadas con herramientas digitales o tecnológicas. Estos términos también se consultaron en el campo TITLE-ABS-KEY de la base de datos.

Se excluyeron los descriptores: meat OR "Cattle Raising" relacionados con carne o cría de ganado. Adicionalmente, para asegurar una mejor especificidad en los resultados, se identificaron y delimitaron términos en el listado de las palabras clave como, por ejemplo, SWAT, CROPWAT, “SWAT Model” y “CROPWAT Model” y GIS, relacionados con herramientas y metodologías específicas para calcular la huella hídrica.

3.1.1 Formulación cuadro comparativo que guíe la identificación de la herramienta requerida

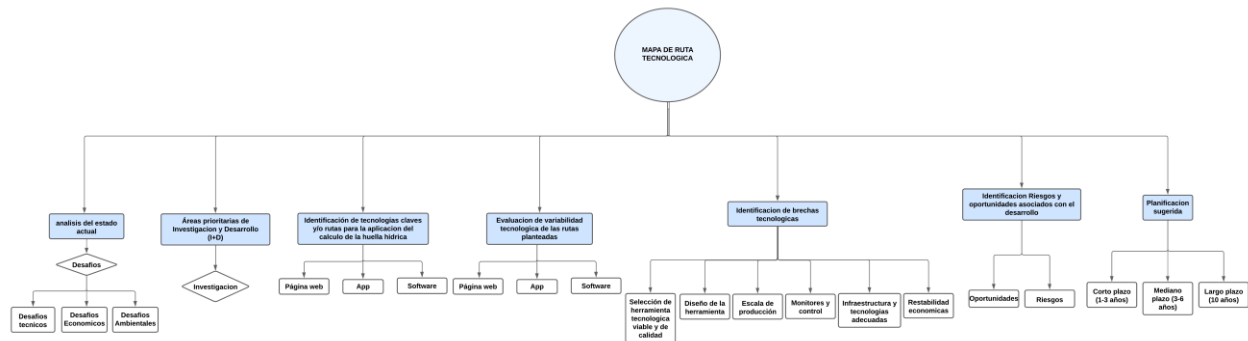
Para continuar el cumplimiento del primer objetivo, se creó un cuadro comparativo y a partir de él se analizó la información obtenida en la revisión bibliográfica lograda en la primera fase. Para la revisión bibliográfica se seleccionaron los resultados de veinte artículos que incluían el uso de tecnologías informáticas enfocadas específicamente a ofrecer datos relacionadas con

tareas de producción agrícola. En efecto, el criterio para seleccionar los artículos fue el uso de herramientas digitales para resolver problemas en entornos agrícolas. En esta fase se identificaron las herramientas predominantes en esta bibliografía y se registró su accesibilidad, así como la eficiencia de la herramienta. Como parte del análisis de la muestra bibliográfica, se observaron los diferentes programas informáticos mediante los cuales se configura la herramienta

Como resultado se seleccionó la herramienta más adecuada para las necesidades de la zona de estudio (alrededores cuenca Suratá alto).

3.2 Fase 2: Evaluación de la muestra preliminar de la herramienta tecnológica digital (Mapa de ruta tecnológico)

Para cumplir el segundo objetivo se planteó un mapa de ruta tecnológico. Allí se proyectaron y analizaron las siguientes variables: riesgos y oportunidades a corto, mediano y largo plazo así como los desafíos y variabilidades, con el objetivo de identificar y determinar la herramienta digital más adecuada para facilitar a la comunidad agrícola el cálculo de la huella hídrica, en la zona de estudio. El Mapa de ruta tecnológica permitió una planificación estratégica que asegura la eficacia de las herramientas analizadas y evaluadas para las necesidades actuales y futuras del proyecto. Este mapa permitió adoptar la herramienta digital que más contribuye a una gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico y que aporta a su ahorro.

Figura 3. Diagrama estratégico de desarrollo tecnológico “mapa de ruta tecnológica”.

3.3 Fase 3: Cálculo de la huella hídrica de la agricultura & creación herramienta digital

Para el cálculo de la huella hídrica de la agricultura de la zona y la creación de la herramienta se organizaron, revisaron e integraron los fundamentos teóricos (método de Arjen Hoekstra y Penman-Monteith) que permitieron adaptar las variables requeridas para dicho cálculo. Asimismo, el fundamento teórico para el cálculo de la huella hídrica agrícola de este proyecto se basó en las guías de la FAO (2006) para determinar los requerimientos de agua de los cultivos; además, para construir las consideraciones hipotéticas se sentó base en investigaciones y datos climatológicos institucionales: en primer lugar, se acudió a los datos climatológicos de la NASA teniendo en cuenta su estado de actualización, ya que los datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) aparecieron desactualizados en el momento de la consulta (enero 2025).

Partiendo de esta información, se organizó los cálculos de la siguiente manera: evapotranspiración, rendimiento de cultivo, uso de agua de cultivo y huella hídrica agrícola total.

Se espera que el prototipo logre hacer recomendaciones para ajustar el gasto hídrico y que estas beneficien el estado del suelo.

3.3.1 Evapotranspiración

En esta sección la evapotranspiración se dividió en evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándares o real (ET_c), evapotranspiración verde del cultivo y evapotranspiración azul de cultivo, es considerado esencial para la elaboración de la huella hídrica de agricultura debido a que permite diferenciar entre fuentes naturales y de riego, evaluar cuánta agua es realmente consumida por los cultivos, ayudando a mejorar la eficiencia en el riego y reducir desperdicios.

3.3.1.1 Evapotranspiración de referencia en el cultivo (Et_0). Durante la recolección de datos se identificaron diversos métodos para calcular la evapotranspiración de referencia, entre ellos Penman-Monteith, Doorembos-Pruitt, Hargraves, Thornthwaite y Blaney-Cridley. Como parte del análisis realizado, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de literatura científica y técnica enfocada en el desempeño de distintos métodos para estimar la evapotranspiración de referencia, esta revisión permitió comparar de manera crítica las ventajas, limitaciones y requerimientos de información de cada modelo. Para ello, se tomaron en cuenta criterios como la precisión reportada en estudios previos, la sensibilidad frente a variaciones climáticas, la disponibilidad de datos meteorológicos necesarios y la confiabilidad del método en condiciones reales. A partir de esta revisión, se optó que el método Penman-Monteith es el más completo y recomendado a nivel internacional, especialmente por la FAO (1998), al integrar múltiples variables meteorológicas como temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento entre otros. Esta amplitud de parámetros permite generar estimaciones más precisas. para aplicar la ecuación, por lo que se descargaron datos climatológicos correspondientes al sector de Suratá, Charta y Matanza

durante el período 2015-2020, utilizando las tres coordenadas a través de la data access viewer del sitio web oficial de la NASA.

Figura 4. *Evapotranspiración por método de Penman-Monteith*

$$ET0 = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 203} * U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (4)$$

Dónde:

ET0 = evapotranspiración de referencia (mm día-1)

Rn = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2día-1)

Ra = radiación extraterrestre (mm día-1)

G = flujo del calor de suelo (MJ m-2día-1)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

U2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)

es = presión de vapor de saturación (kPa)

ea = presión real de vapor (kPa)

es - ea = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)

γ = constante psicrométrica (kPa °C-1)

3.3.1.1 Evapotranspiración real (etc o eta) bajo condiciones estándar. Este parámetro permite estimar cuánta agua necesita un cultivo en condiciones óptimas para desarrollarse. En otras palabras, nos ayuda a saber cuánta agua debería usarse racionalmente.

Se organizó en la tabla 2 las variables necesarias para realizar la Figura 5.

En la primera columna, se ubicó las fechas de siembra en un periodo de 5 años (2015-2020) para promediar la información ya que las temperaturas, evapotranspiraciones, producción agrícola, etc., varían naturalmente cada año. Duración del cultivo (días), se divide numéricamente las fases dependiendo del producto por fecha inicial, desarrollo de temporada, mediados de temporada y fin de temporada total ubicado en el manual Evapotranspiración del cultivo, FAO, pág. 110 cuadro 11. Coeficiente de Cultivo (kc), el valor numérico está dependiendo del producto en el manual de Evapotranspiración del cultivo, FAO, pág. 110 cuadro 12. Evapotranspiración de cultivo (Etc), se multiplica el coeficiente de cultivo con la evapotranspiración de referencia del cultivo dependiendo de los meses que dura la temporada desde que se sembró el producto. Por último, se suma los resultados de Etc dando como resultado en mm.

Tabla 2. *Formulas aplicadas para el cálculo de evapotranspiración (Etc)*

<i>Fechas (2015-2020)</i>	<i>Duración del cultivo (días)</i>	<i>Et0 (mm/día)</i>	<i>Kc</i>	<i>Etc (mm/día) eta</i>
Fecha de inicio, mediados de temporada y fin de la temporada que el agricultor cosechó (Evapotranspiración del cultivo, FAO, pág. 110 cuadro 11)	Fase de crecimiento del cultivo (Evapotranspiración del cultivo, FAO, pág. 110 cuadro 11)	Resultado evapotranspiración mensual de la zona de estudio	(Evapotranspiración del cultivo, FAO, pág. 110 cuadro 12)	$Kc * ET0$

Figura 5. *Evapotranspiración real del cultivo (Etc)*

$$Etc = Kc * Et0 \quad (5)$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración Real (mm)

K_c = Coeficiente de Cultivo

Et_0 = evapotranspiración de Referencia (mm)

(Allen, et al., Evapotraspiracion del cultivo, 2006)

3.3.1.2 Evapotranspiración de agua verde en el cultivo. De acuerdo con la tabla 2, La ecuación diferencia entre el agua de origen natural (lluvia) y el agua de riego en el consumo total del cultivo. Dependiendo del resultado de la Evapotranspiración de Referencia se resta con la Evapotranspiración azul de cultivo, este resultado permite evaluar cuánta agua de riego se usa en comparación con el agua de lluvia.

Figura 6. *Evapotranspiración verde de cultivo*

$$Et_{verde} = Et_c - Et_{azul} \quad (6)$$

Donde:

Et_{verde} = Evapotranspiración Verde Del Cultivo (mm)

Et_c = Evapotranspiración de Referencia (mm)

Et_{azul} = Evapotranspiración azul del cultivo (mm)

Tabla 3. Lámina de agua neta sobre las variables requeridas para hallar huella hídrica verde
Lámina de agua neta

Suelos	Hg	Z	Da
Tipo de suelo	Porcentaje humedad del suelo (%)	Profundidad del suelo (m)	Densidad aparente del suelo
Arenosa	10,5	(evapotranspiración del cultivo, fao, pág. 163 cuadro 22)	1,65
Franco arenoso	15		1,4
Franco arenoso limoso	14		1,4
Franco	22,5		1,4
Franco arcilloso	30		1,35
Limoso	14		1,4
Arcilloso	50		1,25
Franco limoso	16,5		1,4
Franco arcilloso arenoso	10,5		1,35
Franco arcilloso limoso	14		1,35
Arcilloso limoso	20		1,35

Según la Tabla 3, el agricultor debe seleccionar el tipo de suelo, ya que esta característica permite determinar la profundidad del suelo avalada por la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO, 2006, pág. 163), porcentaje de humedad del suelo y la densidad aparente del suelo (USDA, 2022, pág. 63). Al determinar dichas variables, se realizó la siguiente ecuación (figura 7).

Figura 7. Lámina de agua neta

$$La: \frac{Hg}{100} \% * profundidad\ del\ suelo\ (Z) * Densidad\ aparente\ del\ suelo\ (Da) \quad (7)$$

Donde:

La: Lámina de agua aprovechable, cantidad de agua disponible en el suelo para las plantas (mm).

Hg: Humedad gravimétrica del suelo, cantidad de agua presente en el suelo en relación con su peso seco (%).

Profundidad del suelo: cantidad de profundidad de siembra recomendada por la FAO (m)

Da: Densidad aparente del suelo, relación entre la masa del suelo y su volumen total, influyendo en la cantidad de agua que puede retener. (mm)

3.3.1.3 Evapotranspiración de agua azul en el cultivo. De acuerdo con el resultado de lámina de agua neta. Se planteó la ecuación de evapotranspiración de agua azul donde se resta el 90% Este valor se basa en estudios de eficiencia de riego en regiones tropicales y refleja en promedio.

Figura 8. Evapotranspiración azul de cultivo

$$Et_{azul} = \text{Lámina neta total (La)} - \text{pérdida total de riego (0.90)} \quad (8)$$

Donde:

Et_{azul} = Evapotranspiración azul del cultivo (mm)

Lamina neta total = Lámina de agua (mm)

Pérdida total de riego = Cantidad de agua (mm)

3.3.2 Rendimiento de cultivo (t/ha)

En la sección de rendimiento de cultivo, el agricultor debe ingresar información sobre su obtención, la cantidad de hectáreas que se requiere para el cultivo y la cantidad del producto. La siguiente ecuación es la siguiente:

Figura 9. Rendimiento de cultivo

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad de producción (t)}}{\text{Cantidad de terreno (ha)}} \quad (9)$$

Donde:

Cantidad de producción: cantidad de producto total tonelada o kilogramo (kg) o (t)

Cantidad de terreno: cantidad de hectáreas de la superficie cultivada (ha)

3.3.3 Uso de agua del cultivo (UAC)

En la figura 10 y 11, se estructura de la siguiente manera: primero, el uso de agua del cultivo verde y azul (UAC) (m³/ha) se calculó por la acumulación de la evapotranspiración de área (ET0) (mm/día) durante todo su ciclo de desarrollo. (Allen, et al., 2006) A continuación, la función del factor 10 es la de convertir la profundidad del agua (en milímetros) en volúmenes de agua por superficie terrestre (m³/ha).

Figura 10. Uso de agua de cultivo verde

$$10 \times ET_{verde} \quad (10)$$

Figura 11. Uso de agua de cultivo azul

$$10 \times ET_{azul} \quad (11)$$

3.3.4 Huella Hídrica de la agricultura

3.3.4.1 Huella hídrica azul & verde. En la sección huella hídrica azul & verde, la ecuación (figura 12), corresponde el uso de agua de cultivo azul corresponde al componente azul (irrigación) del agua evaporada durante todo el proceso de crecimiento del cultivo, se dividió entre el rendimiento de cultivo, dando como resultado metros cúbicos de agua azul por tonelada (t) (Vasquez y Lambarri, 2017).

Figura 12. Huella hídrica azul de la agricultura

$$HHA = \frac{UAC_{azul} (m^3)}{Rendimiento(t)} \quad (12)$$

El uso de agua de cultivo verde corresponde al componente verde (precipitación) del agua evaporada durante todo el proceso de crecimiento del cultivo, se dividió entre el rendimiento de cultivo, dando como resultado metros cúbicos de agua verde por tonelada (t) (Vasquez y Lambarri, 2017)

Figura 13. Huella hídrica verde de la agricultura

$$HHV = \frac{UAC_{verde}(m^3)}{Rendimiento(t)} \quad (10)$$

3.3.4.2 Huella hídrica gris. En la sección huella hídrica gris, la ecuación (figura 14) se estructura de la siguiente manera: primero, se multiplica la masa del componente químico aplicado por el agricultor (kg) multiplicándolo por la tasa de escurrimiento del contaminante que llega a los cuerpos de agua ($\alpha=0,1$); dividido por concertaciones máximas permisibles (C_{max}).

En la Subcuenca Rio Suratá se registran una variedad de concentraciones de cargas de Mercurio, Cromo +6 y Fenoles. Así como también de concentraciones de los Sólidos Suspendidos Totales, Oxígeno Disuelto, entre otros (CDMB, 2023). Por otra parte, los fertilizantes aportan nutrientes primarios, enzimas y proteínas para la productividad agrícola, sin embargo, también contienen compuestos como el nitrógeno que pueden contaminar el pH y deterioro de la estructura del suelo (González Ulibarry, 2019). Con el fin de calcular las concertaciones máximas (C_{max}) se añadieron los valores máximos permisibles del Decreto 1594 de 1984 (**Tabla 4**), Resolución 1256 del 2021 - Artículo 5 (**Tabla 5**) y Resolución 0631 de 2015 (**Tabla 6**). A estos límites se les restó la concentración natural del contaminante en el agua (0) y, finalmente, se dividió el resultado por el rendimiento del cultivo.

Figura 14. Huella hídrica gris de la agricultura

$$HH_{gris} = \frac{F_{aplicado} \left(\frac{kg}{ha}\right) (\alpha)}{\frac{C_{max} \left(\frac{kg}{m^3}\right) - C_{nat} \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{R \left(\frac{t}{ha}\right)}} \quad (11)$$

Donde:

HH_{gris} = Huella Hídrica gris, relación entre químicos aplicados a los cultivos y la diferencia entre su concentración máxima y natural (m^3/ha)

$F_{aplicado}$ = cantidad de fertilizante aplicado (kg/ha)

α = tasa de escurrimiento del contaminante que llega a los cuerpos de agua (factor adimensional)

C_{max} = concentraciones máximas permisibles del contaminante en el agua (kg/m^3)

C_{nat} = concentración natural del contaminante en el agua (kg/m^3)

R = Rendimiento de cultivo

Tabla 7. *Parámetros de calidad de agua permisibles para el uso agrícola del Artículo 40 -Decreto 1594 de 1984*

<i>Parámetro</i>	<i>Valor límite máximo permisible (mg/l)</i>	<i>Kg/m³</i>
Aluminio	5.0	0,005
Arsénico	0.1	0,0001
Berilio	0.1	0,0001
Cadmio	0.01	$1,0 \times 10^{-5}$
Cinc	2.0	0,002
Cobalto	0.05	$5,0 \times 10^{-5}$
Cobre	0.2	0,0002
Cromo	0.1	0,0001
Flúor	1.0	0,001
Hierro	5.0	0,005
Litio	2.5	0,0025
Manganeso	0.2	0,0002
Molibdeno	0.01	0,01
Níquel	0.2	0,0002
Plomo	5.0	0,005
Vanadio	0.1	0,0001
Selenio	0.02	0,0002
boro	0.3 - 4.0	0,0003-0,0004

Tabla 8. *Parámetros de calidad adicionales de aguas residuales para uso agrícola de la Resolución 1256 del 2021 - Artículo 5*

<i>Parámetro</i>	<i>Valor límite máximo permisible (mg/l)</i>	<i>Kg/m³</i>
Fenoles Totales	0,2	0,0002
Hidrocarburos Totales	1,0	0,001
Cianuro Libre	0,20	0,0002
Cloruros	300,0	0,3
Fluoruros	1,0	0,001
Sulfatos	500,0	0,5
Mercurio	0,001	$1,0 \times 10^{-6}$
Sodio	200,0	0,2
Antimonio	0,1	0,0001
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	<1,0	<0,001
Nitratos	11,0	0,0011

Tabla 9. *Concentraciones máximas permisibles de actividades agrícolas que puedan contaminar cuerpos de agua con fertilizantes, pesticidas o sedimentos según la Resolución 0631 de 2015*

<i>Leyes Colombianas</i>	<i>Tipos de parámetros</i>	<i>Niveles máximos permisibles</i>	<i>Conversión (kg/m³)</i>
Resolución 0631 de 2015	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	≤ 50 mg/L	0,05
	Sólidos suspendidos totales (SST)	≤ 10 mg/L	0,010
	Aceites y grasas	≤ 10 mg/L	0,010
	Metales pesados		
	Mercurio	$\leq 0,002$ mg/L	$2,0 \times 10^{-6}$
	Plomo	$\leq 0,2$ mg/L	0,0002
	Cromo	$\leq 0,5$ mg/L	0,0005
	Exceso de Nutrientes		
	Nitrógeno total	≤ 10 mg/L.	0,010
	Fósforo total	≤ 5 mg/L	0,0005

3.3.4.3 Huella hídrica total. En esta fórmula se sumó los componentes de cultivo huella hídrica de agricultura tales como verde, azul & gris como resultado final, ya que cada una de estas mediciones representa un aspecto diferente del uso del agua y su impacto: la huella verde es el agua de lluvia almacenada en el suelo y usada por las plantas; la huella azul, agua superficial y

subterránea extraída para riego; la huella gris, volumen de agua necesario para diluir contaminantes hasta niveles seguros como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Huella hídrica de la agricultura total

$$\text{Huella hidrica Total} = \text{HHazul} + \text{HHerde} + \text{HHgris} \quad (12)$$

3.3.5 Formulación de la página web

Para la estructuración de los datos, se organizaron inicialmente las operaciones en hojas de Excel, las cuales fueron posteriormente transformadas en cálculos programados dentro del software, permitiendo así la automatización y digitalización del proceso de análisis hídrico.

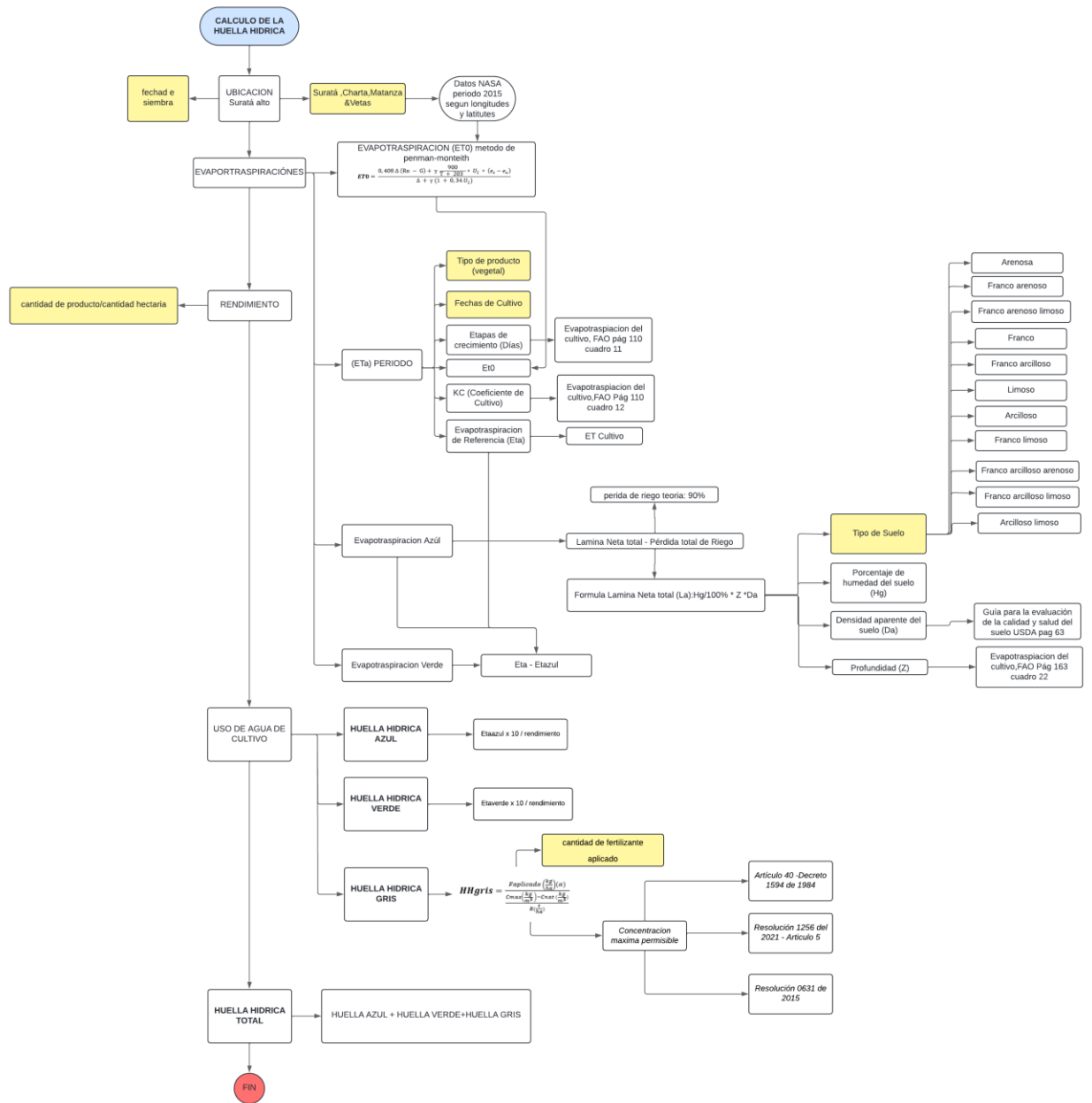
Ya organizado y realizado los cálculos anteriormente por medio de hojas de Excel, esta interpretación se adaptó y se desarrolló a un lenguaje de programación para crear un prototipo de página web empleando el entorno de desarrollo Visual Studio Code en el 2024, con el uso de los lenguajes de programación JavaScript y HTML. En esta plataforma, se incorporaron las ecuaciones propuestas por Arjen Hoekstra para el cálculo de la huella hídrica en la agricultura, así como la fórmula de evapotranspiración de Penman-Monteith para mejorar la precisión de los cálculos.

3.3.6 Formulación de estrategias ambientales

Para finalizar la tercera fase se recomendaron prácticas ambientales específicas dependiendo de los resultados obtenidos del prototipo de página web. Para la planificación de las estrategias de solución, se consideraron criterios basados en investigaciones sobre las técnicas de siembra y riego utilizadas en los distintos municipios alrededor de la subcuenca río Surata Alta, con el fin de comprender las prácticas agrícolas predominantes en cada contexto. Además, dichas recomendaciones se integran en la plataforma web, de manera que, según los resultados obtenidos

en el cálculo de la huella hídrica, el sistema genere estrategias prácticas y aplicables para reducir la huella hídrica en distintos escenarios. Aunque el prototipo puede tener margen de mejora, la propuesta busca ofrecer recomendaciones viables para optimizar el uso del agua de manera eficiente y sostenible.

Figura 16 *Diagrama de flujo sobre la construcción de la herramienta digital del cálculo huella hídrica de la agricultura en la zona de estudio Rio Suratá Alto.*



De acuerdo con la figura 16, para ejecutar el cálculo se requieren datos provenientes de los agricultores como se observa en las casillas amarillas, pero es importante señalar que los datos en este estudio no provienen de agricultores reales. En lugar de utilizar datos empíricos, los ejemplos presentados en este trabajo fueron creados a partir de suposiciones y consideraciones

hipotéticas. Son conceptos teóricos y no representan situaciones reales ni experiencias de agricultores específicos.

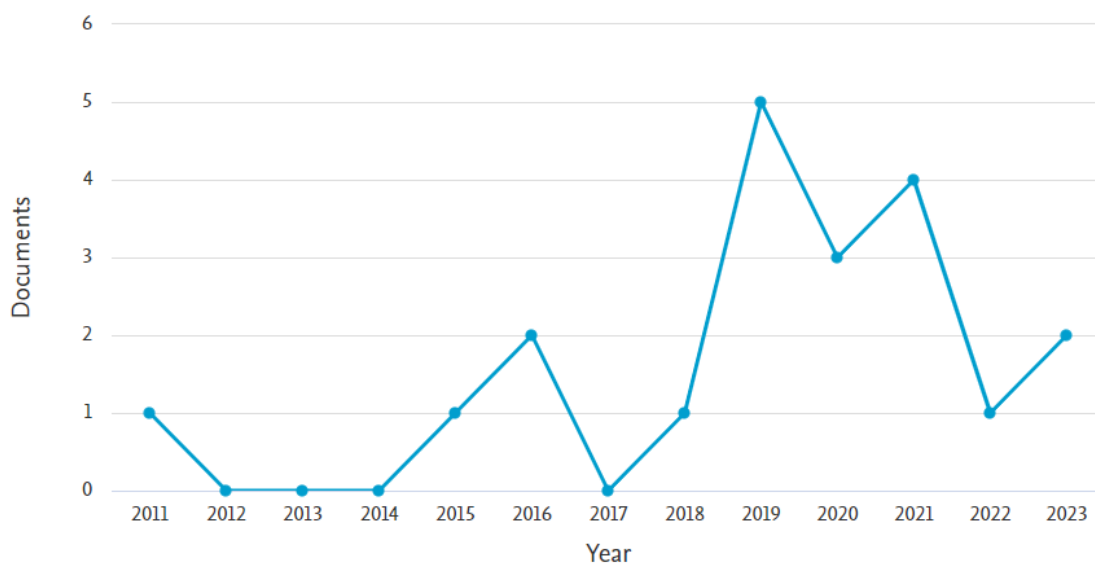
Datos requeridos por el agricultor para la elaboración del prototipo de la página web: ubicación geográfica de la zona, fecha de siembra, tipo de vegetal área total, cantidad del producto y área del terreno. Una vez obtenidas las fórmulas requeridas se organizó en páginas de Excel para realizar dicho cálculo.

4. Resultados y análisis de resultados

4.1 Aplicaciones de las tecnologías tic en el cálculo de la huella hídrica del sector agrícola

Como resultado de la búsqueda de Scopus (Elsevier, B.V., 2023) se obtuvieron 20 resultados que en su totalidad son artículos científicos. Con ese conjunto de documentos se analizaron las gráficas generadas por Scopus por año, país y área temática:

Figura 17. Diagrama de curva de las 20 publicaciones de los últimos 13 años en cálculo de la huella hídrica sector agrícola mediante modelos informáticos



Adaptado de Scopus Elsevier, B.V, (2023).

En la Figura No. 17, lo primero que podemos interpretar, en términos generales, es que durante el periodo de publicación observado (2011-2023) se suman apenas 20 artículos a lo largo de 13 años, lo cual muestra que en promedio se publicó 1,6 artículos por año. En consecuencia, puede decirse que hay un bajo interés por parte de los investigadores y desconocimiento del tema con lo cual resulta impreciso establecer la relevancia de estos aportes.

Se observaron varios picos, que se interpretan como aumentos significativos y algunos valles que representan descensos o nulidad en las publicaciones sobre el tema de la huella hídrica. Así pues, se observó que entre el 2012 y el 2014 el número de publicaciones fue nula y entre el 2015 y 2017 se observa apenas un leve interés por el tema. Cabe destacar que a partir del 2019 se presentó un aumento que se puede atribuir a que en el año 2017 las Naciones Unidas formularon la agenda 2030 con sus 17 objetivos que apuntaban a mejorar su desarrollo sostenible a nivel global. Por esta razón, la mayor cantidad (5 documentos) se registró en 2019 y (4 documentos) en el 2021.

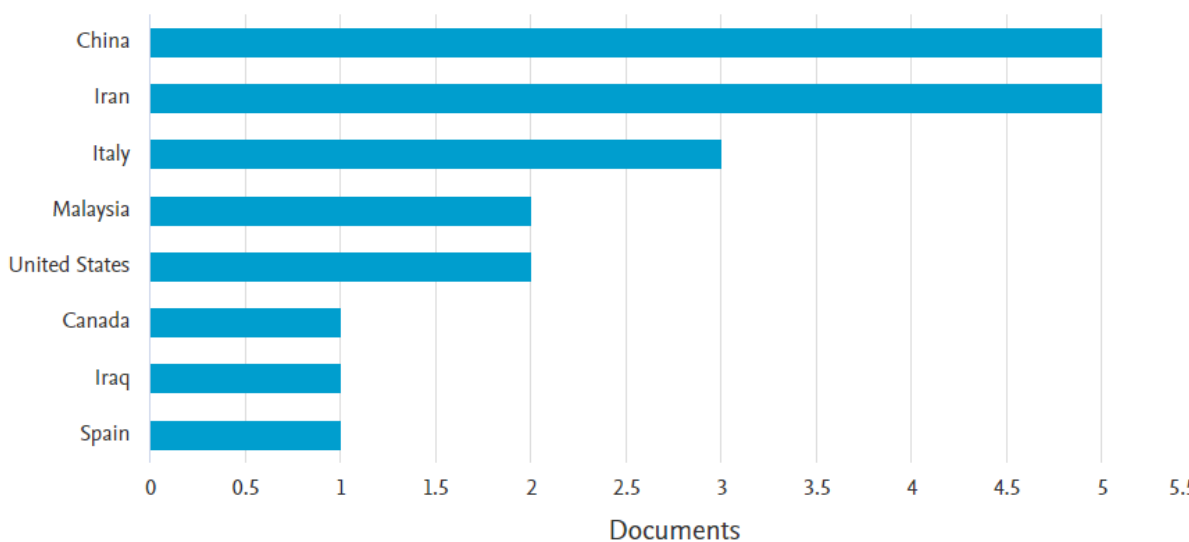
Este incremento también se puede atribuir a diversas razones: una de ellas, es la preocupación por la gestión eficiente del agua en la agricultura. Según los artículos revisados, alojados en Scopus, se puede interpretar que la necesidad de evaluar y mitigar los impactos ambientales relacionados con el consumo de agua ha impulsado a gobiernos y universidades a adoptar nuevas herramientas (software, aplicaciones, páginas webs, entre otras) y metodologías para calcular la huella hídrica agrícola. Cabe resaltar que el mayor número de publicaciones provienen de instituciones investigativas afiliadas a universidades.

En el 2022, se publicó tan solo 1 artículo en Scopus, aunque este se duplicó en 2023. No obstante, en comparación con el periodo anterior (2011-2015) se puede interpretar que hubo cierto interés en el problema de la huella hídrica. Así pues, la publicación de tan solo 1 artículo en 2022

puede asociarse a factores externos, como por ejemplo la pandemia del COVID-19, la cual derivó en crisis económicas y políticas que a su vez afectaron las dinámicas científicas de investigación y publicación.

Figura 18. *Diagrama de barras distribución geográfica sobre las publicaciones del cálculo de la huella hídrica sector agrícola.*

Documents by country or territory



Adaptado de Scopus Elsevier, B.V, (2023).

En la Figura No. 18, Se observó el siguiente diagrama de barras, donde, se registró que Irán y China son los países con mayor número de artículos publicados, alcanzando casi (5.5 documentos). Se deduce que hay un fuerte e interés en la investigación debido a las necesidades de obtener una mejor sostenibilidad del recurso hídrico climático (Zarezadeh, et al., 2023, p. 108272), las preocupaciones ambientales regionales en la Huella Hídrica de las producciones agrícolas, cambio climático, controlar las descargas de contaminantes como el nitrógeno total (NT) y el fósforo total (FT) (Shervin, Somaye & Majid, 2022, p. 127458), escasez de agua (Shervin

Jamshidi, 2020), crecimiento demográfico (Sharaai, et al., 2019, pp. 123–132) y mala gestión (Rezaie Kalvai, 2019, p. 13).

En Irán las aguas subterráneas en climas áridos se utilizan principalmente para el riego de cultivos (Zekster, Everett, y G, 2004). Está documentado que las aguas subterráneas se identifican como un recurso natural crucial en la mayoría de los países debido a la baja probabilidad de contaminación, la distribución uniforme, la buena calidad y el hecho de que no se ven afectadas por la evaporación (Zekster, Everett, y G, 2004). Además de eso, la creciente demanda de aguas subterráneas y la gestión inadecuada generan preocupaciones por la escasez de agua y la sobreexplotación de este recurso hídrico limitado (Gleeson et al., 2012).

En China, por su parte, es uno de los países líderes en producción científica a nivel mundial. Su crecimiento económico y su inversión masiva en investigación e innovación tecnológica han posicionado a sus instituciones y autores en el centro de muchas redes académicas. Además, China ha intensificado sus estudios en áreas como medio ambiente, energía renovable, inteligencia artificial y biotecnología, lo que refleja su compromiso con abordar tanto desafíos internos como globales. También, dado por el tamaño de la población y los desafíos ambientales, no es sorprendente que China tenga ese registro (National Center for S y T Evaluation, 2017).

Italia con un registro de (3) artículos publicados, lo que indica un interés moderado en los temas relacionados. A pesar de ello, Italia es un país con un interés acerca a la agricultura gracias a su fuerte red de colaboración internacional en temas ambientales y agrícolas. El país ha implementado prácticas agrícolas sostenibles y ha liderado iniciativas para mejorar la calidad de vida a través de la producción orgánica y de alta calidad. (Marco Frojo, 2023)

Además, este país está comprometida con la sostenibilidad ambiental y la lucha contra el cambio climático cumpliendo con el objetivo 6 y 15 de la agenda 2030 de Las Naciones Unidas,

también, contribuyendo a la creación de proyectos que promueven la movilidad urbana sostenible, el uso de energías renovables y la educación ambiental (iila, 2020)..

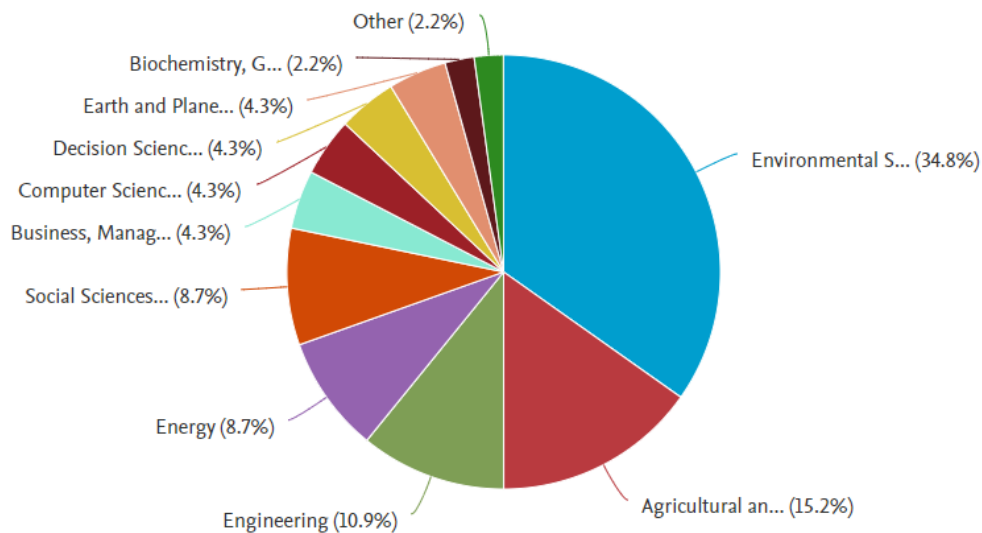
Iraq, Malasia, Suecia y Estados Unidos tienen (2) registros de artículos publicados, lo que indica un interés bajo, a pesar de contar con un número limitado de publicaciones, se observa un interés creciente y un compromiso sostenido hacia la investigación en esta área, lo cual indica su relevancia dentro del área científica. De acuerdo con los artículos, estos países muestran diferentes niveles de investigación y aplicación del concepto debido a su grado de desarrollo y enfoque en la gestión del agua.

Etiopia, Grecia, España y Turquía tienen (1) registro de artículos publicados, estos países tienen un número de documentos inferiores a 2.5, observando un menor enfoque o recursos dedicados a la producción de documentos comparado con los otros países mencionados. Esto indica una integración de los países a iniciativas de investigación por parte de la Unión Europea reflejando disciplina altamente valorado y cumpliendo con el objetivo 6 y 15 de la agenda 2030 (iila, 2020).

Es importante destacar que este diagrama permite identificar a los países líderes en el desarrollo de metodologías y tecnologías en este campo, así como entender dónde existe una mayor preocupación o necesidad en torno a la gestión eficiente del agua agrícola. Además, revela posibles sesgos geográficos en la producción científica.

Figura 19. Diagrama circular sobre la temática del área de los artículos científicos

Documents by subject area



Adaptado de Scopus Elsevier, B.V, (2023).

En la Figura 19. Se observa las áreas que abarca cada documento, las Ciencias Ambientales (16) documentos cubre un 34.8%, Ciencias Agrícolas y Biológicas (7) documentos con un 15.2% , Ingeniería (5) documentos con un 10.9% , Energía (4) documentos con un 8.7% ,Ciencias Sociales (4) documentos con un 8.7% ,Negocios, Gestión y Contabilidad (2) documentos con un 4.3% .Ciencias de la computación (2) documentos con un 4.3%, Ciencias de la decisión (2) documentos con un 4.3% , Ciencias de la tierra y planetarios (2) documentos con un 4.3% ,Bioquímica, Genética y Biología Molecular (1) documento con un 2.2% Otros-Multidisciplinario (1) documento con un 2.2%.

Las Ciencia Ambiental es la temática dominante, seguida por las Ciencias Agrícolas y Biológicas, mientras que otros campos tienen una representación más modesta.

La creciente preocupación por el cambio climático y la degradación de los ecosistemas ha impulsado una demanda global de investigación en estas áreas. Las Ciencias Ambientales, Ciencias Agrícolas y Biológicas están fuertemente interrelacionadas, estas abordan problemas cruciales como la sostenibilidad, la gestión de recursos naturales y la mitigación de desastres ambientales, lo que las convierte en un tema de alta prioridad en la investigación científica actual.

Los gobiernos y organizaciones internacionales han aumentado la financiación y el apoyo a las investigaciones lo que ha contribuido al crecimiento exponencial de publicaciones e iniciativas como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, donde han puesto un fuerte énfasis en los estudios Ambientales y Agrícolas y Biológicas, Ingeniería, Energía y Ciencias Sociales promoviendo una mayor producción de conocimiento científico cumpliendo con sus Objetivos (iila, 2020).

Este diagrama permite identificar temas interdisciplinarios a lo largo de los años, no es solo un tema ambiental o agrícola. También se aborda desde la ingeniería, energía, bioquímica, ciencias sociales, informática, entre otras. Esto destaca que es una problemática compleja que requiere enfoques desde distintas disciplinas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se realizó un análisis de redes de información partiendo de los 20 documentos encontrados a través de la creación de una red bibliométrica utilizando el Software VOSviewer, a continuación, en la Figura No 20.

resources", "crops" y "water management". La red de color rojo representa una puntuación moderada, y se visualizan términos como "crop production" (producción de cultivo), "water user" "China", "sustainability" y "water stress" son las palabras claves con una búsqueda moderada. La red de color azul y amarillo representa puntuaciones más bajas.

Cada palabra clave que aparece en el análisis bibliométrico facilita la identificación visual de las áreas de interés de los documentos científicos, permitiendo localizar rápidamente los temas más relevantes. A su vez, estas palabras representan los focos de interés predominantes en cada país y documento, ya que reflejan las prioridades de investigación de las naciones. Es decir, cada término no solo facilita la clasificación temática, sino que también indica las líneas de investigación prioritarias y relevantes que cada país ha decidido explorar, en función de sus necesidades y políticas científicas.

Este enfoque visual y temático también ayuda a identificar patrones de colaboración y áreas emergentes de investigación a nivel global, ya que las palabras clave tienden a coincidir con los intereses estratégicos de las instituciones académicas y gubernamentales de los países representados.

4.1.2 Herramientas tecnológicas para medir la huella hídrica de agricultura

Se realizó un cuadro comparativo (**Tabla 10**) a partir de los 20 artículos científicos, en el cual se analizaron y examinaron las tecnologías empleadas que calculan la huella hídrica azul, verde y gris de diferentes estudios agrícolas, con el objetivo de reconocer y comparar la eficiencia y facilidad empleada por estas.

Tabla 10. *Evaluación comparativa de las herramientas existentes para el cálculo de la huella hídrica agrícola*

#	Titulo	Método	Huella hídrica	Aspectos relevantes	Tipo documento	Referencia
1	(Performance analyses of effective rainfall estimation methods for accurate quantification of agricultural water Footprint) Análisis de rendimiento de métodos efectivos de estimación de precipitaciones para la cuantificación precisa de la huella hídrica agrícola	CROPWAT	Huella Hídrica Verde & Azul	El objetivo principal del estudio es probar el rendimiento de diferentes modelos de estimación de precipitación con relación al balance hídrico del suelo en un sitio experimental con un campo de maíz en Ankara, Turquía. El estudio proporciona una evaluación detallada sobre el impacto de la precipitación efectiva en los resultados de la huella hídrica azul y verde, y resalta la importancia de mejorar la precisión de las fórmulas, se utilizan sensores de humedad para estimar el balance de agua del suelo a nivel diario y mensual. Luego se calculan los parámetros P eff, WF verde y WF azul utilizando diferentes métodos, como FP, US-BR, USDA-SCS, FAO/AGLW, CROPWAT y SuET, y se comparan con el método SWB.	Articulo	Muratoglu, A. , Bilgen, GK , Angin, I. , Kodal, S.

#	Titulo	Método	Huella hídrica	Aspectos relevantes	Tipo documento	Referencia
2	(Evaluating the effectiveness of macro-level water-saving policies based on water footprint sustainability indicators) Evaluación de la eficacia de las políticas de ahorro de agua a nivel macro en función de los indicadores de sostenibilidad de la huella hídrica	SWAT model	Huella Hídrica Verde & Azul & Gris	El estudio evaluó la capacidad de cuatro documentos gubernamentales iraníes para lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos. Se utilizó un enfoque integral que combinó un modelo de optimización y los índices de sostenibilidad de la huella hídrica. Los resultados mostraron que las políticas de los documentos tenían potencial para mejorar la sostenibilidad, pero eran insuficientes y requerían considerar aspectos como la asignación efectiva de agua y las pérdidas económicas. El estudio sugiere que el enfoque utilizado puede ser recomendado para futuras aplicaciones. Se desarrolló un enfoque integral al vincular el modelo de optimización SWAT y los índices de sostenibilidad de la huella hídrica para las evaluaciones	Artículo	Zarezadeh, M., Delavar, M., Morid, S., Abbasi, H.
3	(An approach to quantifying the grey water footprint of agricultural productions in basins with impaired environment) Una aproximación a la cuantificación de la huella hídrica gris de las producciones agrícolas en cuencas con deterioro ambiental	SWAT & QGIS	Huella Hídrica Gris	En primer lugar, se utiliza la herramienta de evaluación de suelos y aguas (SWAT) para la simulación de cuencas. En segundo lugar, los WF de las producciones agrícolas se evalúan mediante los resultados del modelo y de acuerdo con el enfoque convencional de contabilidad GWF. En el tercer paso, se introduce una enmienda en la evaluación de WF para contabilizar el agua dulce incrustada requerida para la mejora ambiental. Esta enmienda desarrolla la evaluación de GWF de contaminantes múltiples y aumenta los WF de las producciones agrícolas en cuencas ambientalmente deterioradas. Este enfoque se verifica en la cuenca del lago	Artículo	Jamshidi, S., Imani, S., Delavar, M.

#	Titulo	Método	Huella hídrica	Aspectos relevantes	Tipo documento	Referencia
				Zrebar, donde las tierras de cultivo son las principales fuentes no puntuales y el lago experimenta eutrofización.		
4	(Modeling climate change impacts on blue, green, and grey water footprints and crop yields in the Texas High Plains, USA) Modelado de los impactos del cambio climático en las huellas hídricas azules, verdes y grises y el rendimiento de los cultivos en Texas High Plains, EE. UU.	SWAT	Huella Hídrica Verde, Gris y Azul	El estudio evaluó los impactos del cambio climático en la huella hídrica y la producción de cultivos en la cuenca de Palo Duro de Texas High Plains. Se utilizaron proyecciones climáticas de 11 modelos de circulación general bajo diferentes escenarios de emisión. Se encontró que el maíz y el sorgo regados experimentarían reducciones en el riego, la evapotranspiración del cultivo y los rendimientos. En cambio, el trigo de invierno regado vería disminuciones en el riego y la evapotranspiración, pero aumentos en los rendimientos. Para el trigo de secano, los cambios en la evapotranspiración estuvieron relacionados con la variación de las precipitaciones. Sin embargo, se identificó una gran incertidumbre en las simulaciones de escorrentía superficial bajo riego y trigo de secano. Estos resultados indican la importancia de considerar los impactos del cambio climático al seleccionar cultivos alternativos para mitigar sus efectos.	Artículo	Chen, Y., Marek, G.W., Marek, T.H., ...Brauer, D.K., Srinivasan, R.
5	(Water Footprint of Rice in Iraq) Huella Hídrica del arroz en Irak	CROPWAT	Huella Hídrica Azul y Verde	El estudio evaluó la huella hídrica del cultivo de arroz en diferentes provincias de Irak. Se encontró que la Huella Hídrica del arroz en Irak es alta en comparación con el promedio mundial. Se utilizó una gran cantidad de agua para	Documento de conferencia	Ewaid, S.H., Abed, S.A., Chabuk, A., Al-Ansari, N.

#	Titulo	Método	Huella hídrica	Aspectos relevantes	Tipo documento	Referencia
				regar las áreas de cultivo de arroz en todo el país. Se sugirió que el arroz podría ser reemplazado por cultivos como verduras que requieren menos agua y brindan mayores beneficios económicos. Se recomendó concentrar la producción en provincias con una huella hídrica baja. Estos hallazgos son importantes para garantizar la seguridad alimentaria y el uso eficiente del agua en Irak.		

Nota: Para consultar la tabla completa, por favor, dirigirse al **Apéndice a*

4.1.3 *Análisis cuadro comparativo*

La Tabla 10 enseña información acerca de veinte (20) artículos de investigación obtenidos a partir de la ecuación de la revisión bibliográfica realizada, en donde se identificaron herramientas claves para poder calcular la huella hídrica de agricultura, diez (10) artículos utilizaron la herramienta SWAT, siete (7) artículos utilizaron la herramienta CROPWAT, cinco (5) artículos utilizaron la herramienta QGIS y por último uno (1) artículo utilizó el prototipo GAWFC.

4.1.3.1 **Artículos de SWAT.** De acuerdo con los documentos observados, se identificó que diez (10) usaron la herramienta SWAT permitiendo identificar y obtener varios parámetros esenciales para calcular la huella hídrica como: evapotranspiración, precipitación, ciclo hidrológico y servir de extensión en varios sistemas como ArcGIS o QGIS. los autores Zarezadeh, et al. (2023).

Utilizaron este modelo donde obtuvieron resultados de requerimiento de agua y suelo, evapotranspiración, uso de agua, precipitación, flujo de corriente, riego con agua cultivada, recarga y flujo de retorno, rendimiento de los cultivos a raíz para hallar la huella hídrica verde y azul. Otros autores como Jamshidi, S., Imani, S., Delavar, M (2022) diseñaron una simulación de cuenca en su investigación, usaron el programa de QGIS y SWAT siendo SWAT una extensión del sistema QGIS para realizar las simulaciones hidrológicas y calcular la Huella Hídrica Gris. Los autores Chen, Y., et al. (2021) usaron el mismo modelo de SWAT para obtener datos de escorrentía superficial en los campos de trigo para la evaluación de la humedad relativa y cultivos donde se proporcionó datos necesarios a escala de cuenca, datos de evapotranspiración y escorrentía para calcular Huella Hídrica Verde, Azul y Gris. Otro estudio realizado por los autores Gao, et al. (2021) utilizaron el modelo SWAT, mediante el cual se construyó un balance hídrico del suelo, considerando las pérdidas de suministro de agua de los canales de riego para determinar y

cuantificar los recursos hídricos azules y verdes. El siguiente estudio por los autores D'Ambrosio, E et al. (2020) hicieron una evaluación acerca de la escasez de agua y niveles de contaminación, donde tomaron datos del caudal del río de estudio y la calidad de agua en la cuenca d'Aidda para hallar los niveles de la huella gris, verde y azul. Usaron la herramienta SWAT para evaluación de suelo y agua, modelaron cuencas y obtuvieron los datos necesarios para la evaluación de la huella hídrica, tuvieron en cuenta la evaluación integral de la seguridad hídrica actual en diferentes niveles espaciales y temporales. formularon respuestas para lograr una sostenibilidad adecuada. Otro estudio realizado por los autores Jamshidi, S., Imani, S., Delavar, M (2020) tomaron muestras que FIR (fertilizantes y reducción de irrigación de suelo) y VFS (franja filtrante con vegetación) adjuntaron datos de la evapotranspiración, nutrientes de escorrentía en el modelo SWAT para determinar el porcentaje de la huella hídrica agrícola gris. D'Ambrosio, E., Gentile, F., De Girolamo, A.M (2020 usaron la Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua (SWAT) para estimar la escorrentía, la evapotranspiración y los nutrientes en la escorrentía. Se aplicó una técnica de arranque, junto con simulaciones en la cuenca Monte Carlo, para evaluar la huella hídrica relacionada con la variabilidad en los datos. Otro estudio por los autores De Girolamo, et al. (2019) El objetivo de este artículo fue estimar la huella hídrica gris para la producción de cultivos a escala de cuenca. La zona de estudio se realizó en la cuenca del río Mannu (Cerdeña, Italia) para la producción de trigo duro, se evaluó utilizando el modelo de la Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua (SWAT) el cual se calibró con datos de monitoreo en el arroyo. Se evaluó la sostenibilidad ambiental de la producción de trigo duro a través del nivel de contaminación del agua. Otro estudio realizado por los autores Yang, M., et al. (2018). En Estados Unidos cuantificaron la disponibilidad de agua dulce en la cuenca del río Savannah para calcular la huella hídrica azul y verde, el modelo SWAT fue usado para cuantificar el rendimiento y las WF del arroz

del cultivo dentro de la cuenca de Nanlijiang, China validó las simulaciones frente al índice de área foliar, la biomasa, la escorrentía, la evapotranspiración y el rendimiento de arroz observados en secuencia, se utilizó un método combinado de delineación automática y manual de subcuencas para la configuración del modelo en este trabajo para reflejar las diferencias entre los distritos de riego en cuanto a rendimiento y uso de agua del arroz. El último artículo analizado sobre la herramienta SWAT por los autores Veetil, A.V., Mishra, A.K (2016). Desarrollaron un marco de modelado integrado considerando factores climáticos y antropogénicos para investigar la variabilidad espaciotemporal de la disponibilidad de agua azul y verde y cuantificar la seguridad hídrica en una cuenca fluvial. El marco de modelado propuesto puede ser útil para proporcionar una visión general de la seguridad hídrica dentro de la cuenca e identificar regiones de estrés hídrico (puntos críticos) dentro de la cuenca fluvial. Aplicaron la herramienta de evaluación de suelos y agua (SWAT) para cuantificar la disponibilidad de agua dulce (agua azul y agua verde) en la cuenca del río Savannah (SRB), EE. UU. Los factores antropogénicos (por ejemplo, demanda de agua) y la información sobre los requisitos de caudal ambiental (EFR) se incorporaron para cuantificar la seguridad hídrica en términos de índices de escasez y vulnerabilidad.

De acuerdo a los 10 artículos analizados, **SWAT** es un modelo hidrológico útil para evaluar la huella hídrica agrícola y la sostenibilidad de la producción de los cultivos, exige datos necesarios para calcular la huella hídrica como: fracciones de nutrientes que se lixivian en el suelo a las aguas subterráneas o la escorrentía a las aguas superficiales, flujo lateral, rendimiento de los cultivos, precipitación, evapotranspiración, infiltración, percolación, crecimiento de cultivos, cargas de sedimentos y nutrientes en paisajes bajo diferentes prácticas de manejo y regímenes climáticos lo cual es importante para calcular la huella hídrica agrícola verde, azul y gris; sin embargo, para realizar dichos cálculos la persona debe poseer conocimientos previos sobre informática ya que

SWAT es un modelo software y no cualquiera puede usarlo, por el contrario los resultados para hallar la evapotranspiración serán los más precisos posibles si usan el modelo Penman-Monteith, esta herramienta brinda tres modelos Hargreaves, Priestley Taylor y Penman-Monteith. La estimación de la evapotranspiración se realiza mediante modelos empíricos, semiempíricos, fisicomatemáticos y variables meteorológicas. La selección del método adecuado depende de la disponibilidad de datos meteorológicos y de la exactitud y precisión del modelo según la región deseada. (de Carvalho Alves, et al., 2013) De igual forma SWAT ofrece una extensión a QGIS que brinda una experiencia al usuario incluyendo datos necesarios en el mapa geo satelital o georreferencial.

4.1.3.2 Artículos de CROPWAT. El software CROPWAT cuenta con el respaldo de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

En siete (7) de las veinte (20) investigaciones revisadas en Scopus se utilizó el software CROPWAT, con el cual es posible calcular la evapotranspiración requerida por el cultivo y el requerimiento de riego, climatología, coeficiente de cultivo, patrón de cultivo, cálculo de riego y el caudal que se requiere regar. Según “Performance analyses of effective rainfall estimation methods for accurate quantification of agricultural Water Footprint” por los autores **Muratoglu, A., et ál. (2023)**, el programa informático CROPWAT obtuvo como resultado una precipitación efectiva con una desviación máxima del 5% comparado al método SWB (balance hídrico del suelo). Además, CROPWAT ayudó a calcular la huella hídrica azul y obtuvo un índice de error inferior al 1% comparado al método de USDA-SCS el cual no produjo los resultados esperados. FAO-AGLW proporcionó el rendimiento más bajo; los errores en la estimación de precipitación en condiciones semiáridas hacen que los resultados de la huella hídrica verde y azul sean inferiores. El estudio de **Muratoglu, A., et ál. (2023)** proporcionó una de las evaluaciones más detalladas

sobre el impacto de la lluvia efectiva en los resultados de la huella azul y verde con una alta resolución temporal. Otro estudio de **Muratoglu, A. et ál, (2020)** realizado en Iraq obtuvieron resultados sobre el rendimiento de agua de cultivo utilizando el software CROPWAT.

Por su parte, los autores **Ewaid, S.H., Abed, S.A., Chabuk, A., Al-Ansari, N (2021)** utilizaron CROPWAT y obtuvieron resultados de datos climáticos, cultivos y suelos. Estos datos son claves para obtener la estimación de la huella hídrica azul de la producción de cultivos de algodón y frijol.

Así mismo, **Gebremariam, F.T., Habtu, S., Yazew, E., Teklu, B (2019)** utilizaron el software CROPWAT 8.0 el cual mostró una subestimación de resultados de la huella hídrica azul debido a la falta de valores de Kc (coeficiente de cultivo) y fechas precisas de las etapas de crecimiento de los cultivos. también en la huella verde debido a la amplia variedad de fertilizantes aplicados en las tierras agrícolas. A pesar de estas incertidumbres, los resultados fueron útiles para evaluar el problema de la escasez de agua y desarrollar estrategias inteligentes de gestión del agua en la provincia de Shandong.

Otro estudio por los autores **Ewaid, S.H., Abed, S.A., Al-Ansari, N (2019)** por medio del Modelo CROPWAT obtuvieron el requerimiento de agua del cultivo con resultados efectivos. Otro estudio por los autores **Kalvani, S.R., et al. (2019)** destacaron la evaluación de la evapotranspiración para calcular la huella hídrica azul y verde, los resultados fueron favorables. El último estudio por los autores **Charchousi, D., Tsoukala, V.K., Papadopoulou, M.P (2019)** evaluaron diferentes escenarios en términos de consumo de agua (básico y futuro) y condiciones hidrológicas (media y seca). Además, se estimó la HH, aplicando diferentes métodos para calcular la Evapotranspiración y la lluvia efectiva, con el fin de determinar si la elección del método aplicado puede afectar la estimación de la HH agrícola, por lo que la aplicación del modelo

CROPWAT obtuvo resultados que no alteraron significativamente las decisiones relacionadas con el posible plan de gestión de los recursos hídricos.

De acuerdo con el análisis de siete (7) artículos seleccionados entre los veinte (20) resultados obtenidos, se identificó que CROPWAT, desarrollado por la FAO, es el software más preciso para la gestión de recursos hídricos, presentando un índice de error inferior al 1%. Su eficiencia en la aplicación de estrategias de riego y estimación de requerimientos hídricos, lo posiciona como una herramienta confiable para la planificación agrícola y la optimización del uso del agua.

4.1.3.3 Artículos QGIS. Según el análisis de los cinco (5) artículos revisados de veinte (20), se identificó que la herramienta QGIS fue utilizada para la georreferenciación y el análisis de imágenes satelitales de las áreas de estudio.

No obstante, aunque QGIS cuenta con una extensión denominada GSWAT, que permite integrar el modelo SWAT para la visualización de los ciclos hidrológicos, esta herramienta presenta ciertas limitaciones. En particular, GSWAT no proporciona información detallada sobre variables climatológicas, requerimientos hídricos o condiciones específicas de cultivo, lo que puede dificultar el cumplimiento de los objetivos de investigación en estudios relacionados con la gestión del agua y la producción agrícola.

4.1.3.4 Artículo GAWFC. El Software GAWFC es una herramienta prototipo donde permite calcular balances hídricos, medir y reducir huellas de carbono y de agua.

Esta Herramienta lo utilizaron en la producción bananera en Costa Rica, por el Dr. Mesfin Mekonnen en la Universidad de Nebraska (2012), GAWFC toma datos de entrada georreferenciados y datos climáticos (Precipitaciones y Evapotranspiración de referencia – ET0)

Texturas de suelos, Cultivo (Coeficientes de cultivo, rendimientos) Riego (Frecuencia, cantidad) para calcula la Huella Hídrica de los cultivos.

Como conclusión respecto a todo este análisis, el software CROPWAT es la más óptima debido a su sistema integral, debido que genera un índice de error menor al 1% y avalada por la FAO, el cual proporciona una metodología completa y confiable para el cálculo de la huella hídrica en la agricultura., en comparación con las demás herramientas, CROPWAT ofrece mayor precisión y un enfoque basado en datos científicos, lo que lo convierte en una opción fuerte para el análisis del consumo de agua en cultivos. No obstante, se reconoce la necesidad de hacer esta herramienta más accesible para el público en general, por lo que se busca simplificar su aplicación y comprensión. En el año 2023, el municipio de Suratá contaba con un total de 803 adultos mayores, de los cuales 402 eran mujeres (50.1%) y 401 hombres (49.9%). Este grupo poblacional representaba el 19.5% de la población total del municipio. (Telencuestas, 2023). En Matanza tiene un total de 1,093 adultos mayores: 534 mujeres (48.9%) y 559 hombres (51.1%). Los adultos mayores representaban el 20.6% (Telencuestas, 2023) y California tiene un total de 270 adultos mayores: 139 mujeres (51.5%) y 131 hombres (48.5%). Los adultos mayores representaban el 12.0% de la población total (Telencuestas, 2023). Dicho porcentaje resulta significativo para la implementación de la herramienta alrededor de la subcuenta rio Suratá alto, dado que las personas adultas mayores pueden enfrentar dificultades en el uso de plataformas o herramientas con estructuras complejas. Por ello, es fundamental considerar la accesibilidad y facilidad de uso en el diseño y aplicación de la herramienta, asegurando su adaptabilidad a las necesidades de esta población. El sector campesino se encuentra en un proceso de envejecimiento progresivo, lo que resalta la necesidad de implementar medidas orientadas a la permanencia y fortalecimiento de las y los jóvenes en el campo. Actualmente, el 36.7% de la población mayor de 65 años se identifica

como campesina, mientras que el 34.3% corresponde al grupo etario de 41 a 64 años. En el rango de 26 a 40 años, este porcentaje desciende al 31%, y entre los jóvenes de 18 a 25 años, la cifra se reduce aún más, alcanzando el 24.5%. Estos datos evidencian una disminución gradual de la identificación campesina en las generaciones más jóvenes, lo que plantea desafíos para la sostenibilidad del sector. (Dejusticia, 2020)

Una de las variables más importantes para calcular la huella hídrica observados en los artículos científicos fue el método de Penman-Monteith, este método requiere de 3 componentes: 1. resistencia aerodinámica (demanda evaporativa de la atmósfera estimada en función de las variables climatológicas: temperatura máxima y mínima, humedad relativa, luz solar, altitud y latitud); 2. resistencia superficial del cultivo (flujo del agua por difusión desde las raíces hasta los estomas de la planta y de la evaporación directa del agua desde el suelo), y 3. albedo (radiación solar reflejada por el cultivo); (Ortiz y Chile, 2020) Estas características hace que este método sea la más precisa y adecuada para calcular la huella.

Sumado a eso, el método de Penman-Monteith ofrece dos beneficios significativos en comparación con otras fórmulas: primero, su aplicación es globalmente válida sin necesidad de calibraciones locales, gracias a sus fundamentos físicos; segundo, se trata de un modelo de ecuación ampliamente documentado y validado a través de numerosos datos obtenidos de lisímetros. (Gocic y Trajkovic, 2010).

la búsqueda de estas herramientas es fundamental para el propósito del trabajo, ya que permite comprender qué metodologías y tecnologías existen actualmente para calcular la huella hídrica de la agricultura. Esto no solo ayuda a identificar sus fortalezas y limitaciones, sino que también orienta el desarrollo de una alternativa más adecuada a las necesidades específicas del estudio. Además, analizar herramientas digitales globales permite contrastar enfoques, validar la

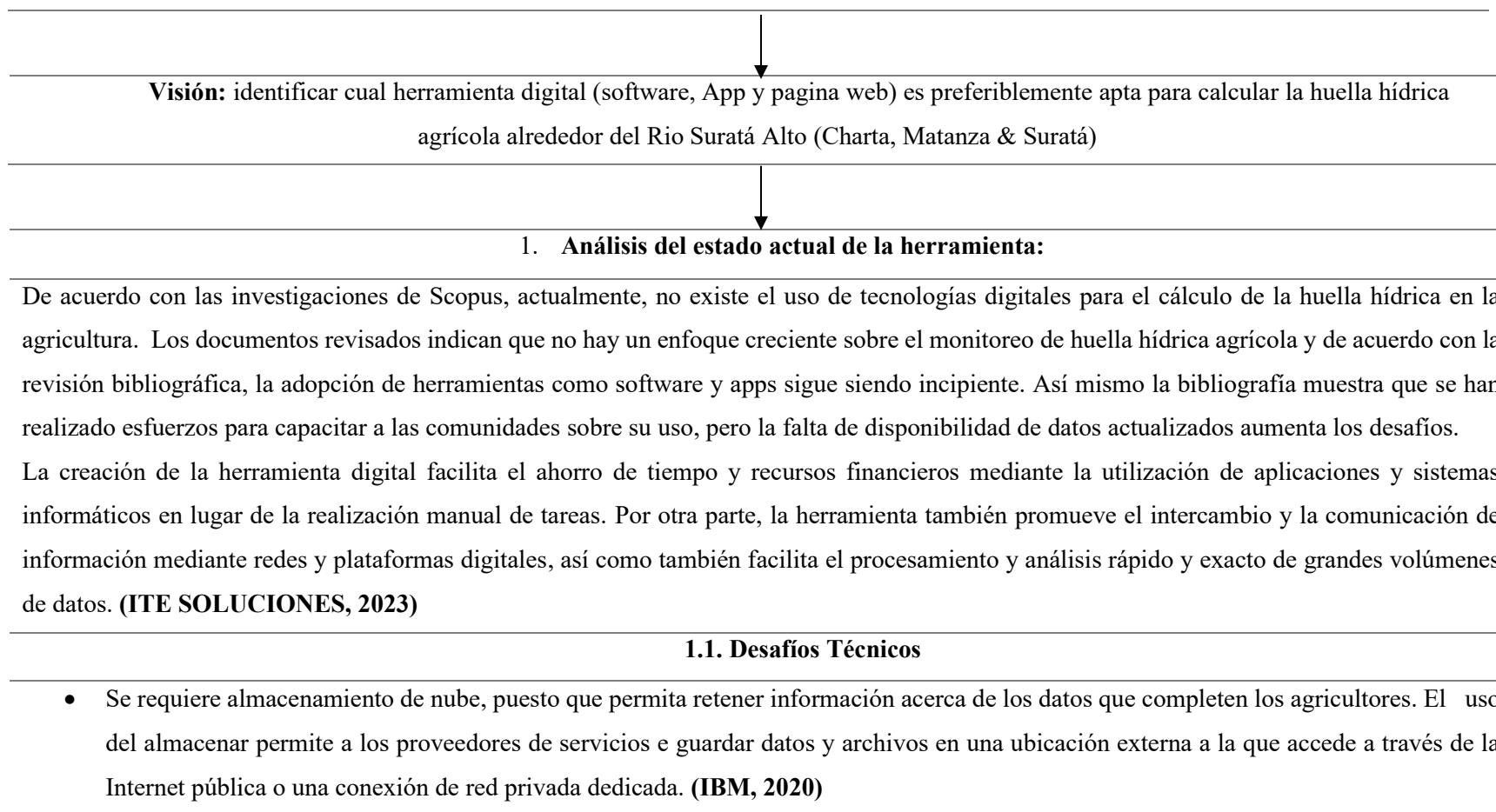
propuesta y garantizar que las soluciones planteadas sean viables y accesibles. De esta manera, la investigación y la sugerencia sobre adaptar el sistema CROPWAT a una plataforma digital más sencilla no solo se enriquece con información relevante, sino que también contribuye a la mejora y adaptación de herramientas digitales para un público más amplio.

4.2 Resultados mapa de ruta tecnológico

A continuación, se realizó un mapa de ruta tecnológico con el fin de determinar cuál herramienta digital (software, página web, app) es adecuada para el cálculo de la huella hídrica para los agricultores.

Tabla 11. *Mapa de selección de Tecnologías Digitales para calcular la huella hídrica en el sector agrícola cuenca rio Suratá Alto.*

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICO



-
- Se requiere acceso a tecnologías adecuadas, como dispositivos móviles, computadoras, y conexión a internet. En áreas rurales, el acceso a infraestructuras tecnológicas puede ser limitado, estas áreas carecen de infraestructura necesaria para brindar acceso a Internet de alta velocidad, su población es pequeña, lo que dificulta que los proveedores de servicios de Internet recuperen el costo **(RTA, 2024)**
 - Mantener datos suficientes o actualizados, es importante mantener un rendimiento en la herramienta presenta características y funciones nuevas y más potentes **(DreamHost, 2025)**
 - El rendimiento de las aplicaciones web está directamente influenciado por la calidad de la conexión a Internet y la cantidad de usuarios que acceden simultáneamente. Una conexión lenta o una sobrecarga de tráfico pueden afectar la velocidad de respuesta, reduciendo la eficiencia y la experiencia del usuario **(Samantha, 2021)**.
 - Dependerá la precisión y el tipo de códigos de programación adjuntada de los datos de entrada. Los datos incorrectos pueden llevar un error en los resultados. Además, si los usuarios ingresan datos incorrectos o no entienden correctamente cómo completar los campos, esto también puede afectar la precisión de los resultados.

1.2. Desafíos Económicos:

-
- Las herramientas digitales tales como páginas web, app y softwares para calcular la huella hídrica pueden implicar costos de licencia legales, actualizaciones, mantenimiento y almacenamiento. Esto garantiza ejecuta las herramientas de manera eficiente, seguro y actualizado, mejora el rendimiento, errores, recibir soporte técnico y ahorrar costos a largo plazo. **(Medium, 2023)**
 - Varios agricultores trabajan de forma independiente y en pequeñas parcelas, la implementación de tecnologías a gran escala es difícil de obtener sin una demanda consolidada debido a la falta de programas de desarrollo implica que no prospere generando desempleo, poco desarrollo industrial entre otros, lo que reduce aún más la accesibilidad económica, la falta de tecnologías adecuadas y la ausencia de conocimientos técnicos como una de las causas grandes del problema. **(Alcaldía Suratá, 2014)**
 - los costos de estas herramientas no disminuyen, Esta escasez de los componentes electrónicos, desde los más insignificantes hasta los más esenciales como los ordenadores, servidores, equipos de centros de datos, procesadores y otros dispositivos informáticos. Incluyendo las industrias móviles se está viendo afectada por la escasez de silicio, le genera un elevado precio los smartphones y una mayor escasez de algunos modelos. **(EPSA, 2021)**
-

- Las aplicaciones pueden mecanizar tareas y varios procesos, reduciendo costos en los operativos hasta de un 30%. Las aplicaciones móviles personalizadas han sido elegidas como uno de los medios más efectivos para estar al alcance de los usuarios. Con un crecimiento de 7.33 mil millones de usuarios de teléfonos móviles a nivel mundial en el 2023. Además, las pequeñas y medianas empresas también pueden cosechar los beneficios de las aplicaciones móviles bien diseñadas y funcionales. **(ElTiempo, 2023).**

1.3. Desafíos Ambientales:

De acuerdo con las investigaciones previas, de esta manera el uso de la herramienta podría presentar varios desafíos, la poca disponibilidad de datos climáticos precisos por el tiempo, la precisión de monitoreo de la calidad del agua, los impactos negativos durante la fabricación del hardware y el ciclo de vida de los dispositivos digitales como medio de uso de la herramienta.

Ventajas	Desventajas
<p>Prevención del uso inadecuado del recurso hídrico: se busca solucionar esta problemática de subutilización del recurso hídrico como la erosión y remoción (Alcaldía Suratá, 2014). La creación de esta herramienta. que podría ayudar a los agricultores a gestionar mejor el recurso de agua y reducir el impacto negativo de desperdicio.</p>	<p>Consumo de energía eléctrica: El tráfico digital equivale a un consumo aproximado del 7% de la electricidad mundial, Las industrias tecnologías de la información genera actualmente el 2% de las emisiones globales de CO2. (National Geographic, 2019)</p>
<p>Promover la existencia del cálculo de la huella hídrica a agricultores: Conocer el resultado sobre el cálculo de la huella hídrica agrícola gris, verde y azul ayuda a entender cuánta agua se usa en las actividades diarias en la producción agrícola. Esto permite tomar mejores decisiones para su uso, reducir costos y cuidar este recurso. Aplicando buenas prácticas e invertir en mejores controles para el manejo del agua en las diferentes veredas (Alcaldía Suratá, 2014)</p>	<p>Contaminación ciclo de vida del dispositivo: <i>Dispositivos móviles</i>, La contaminación de los teléfonos móviles no termina en el momento de la fabricación, se estima que una vez fabricado, un smartphone genera una media de 8 kg de emisiones por su uso anual durante su vida útil (2-5 años) (CashConverters, 2022). Los residuos electrónicos son una preocupación ambiental creciente. Para el año 2030 Un estudio revela que esta tecnología generaría hasta 2,3 millones de basura (InfoBae, 2024).</p>

Mitigar el uso de pesticidas y fertilizantes: Generar un nuevo manejo eficiente en el uso de riego puede hacer que los cultivos necesiten menos insumos químicos. Debido al debilitamiento de los suelos por falta de técnicas apropiadas **(Alcaldia Suratá, 2014)**

Consumo y contaminación de servidores, servidores enormes que están repartidos por el mundo tienen un sistema de refrigeración, unos con agua, otros con aires acondicionados, y todos crean una cantidad de CO₂ impresionante. No nada más es lo que consume el equipo como tal, sino también su mantenimiento. Aires acondicionados y equipo para controlar el clima generan mucho CO₂.

Investigadores del Imperial College, Londres (Reino Unido), estiman que se consumen hasta 200 litros de agua, en la descarga de un solo Gigabyte (GB) de datos

Innovación: Las herramientas digitales podrían ayudar a los agricultores a implementar nuevas técnicas de riego más eficientes y diferentes estrategias ambientales para la reducir el uso de agua superficial en agriculturas.

Contaminación materia prima: La extracción de materiales y la manufactura de dispositivos electrónicos contribuyen a la degradación ambiental y las emisiones de CO₂ a través de la minería y los procesos de producción, generando contaminación y pérdida de biodiversidad. (World Economic Forum, 2024)

Implementación de ahorro de energía en la agricultura: Las tecnologías que optimizan el riego también pueden reducir el uso de energía, especialmente en sistemas que dependen de riego por aspersor. Algunas personas de escasos recursos económicos no pueden asumir gastos para llevar la electrificación **(Alcaldia Suratá, 2014)**.

Enfrentar estos desafíos ambientales frente a la herramienta a crear requiere una gestión sostenible del agua que considere la eficiencia del uso del agua, la conservación de los recursos hídricos, la promoción de prácticas responsables a nivel individual, empresarial y gubernamental. La concienciación y el cálculo de la huella hídrica son herramientas importantes para abordar estos desafíos y promover una gestión más sostenible del agua.

Nota: Para consultar la tabla completa, por favor, dirigirse al **Apéndice b.*

Se diseñó una matriz con el fin de valorar la herramienta mediante 10 criterios que fueron evaluados con ayuda de una escala de ponderación, lo cual permitió seleccionar de manera objetiva y fundamentada la tecnología digital más adecuada. Los criterios considerados para este análisis fueron los siguientes:

1. *Usabilidad*: evalúa la facilidad con la que un usuario puede interactuar con una herramienta, comprendiendo su funcionamiento de manera intuitiva y eficiente.
 - (10.0) *Máxima facilidad*: La herramienta es completamente intuitiva, no requiere capacitación adicional y se adapta perfectamente a las condiciones del agricultor.
 - (7.5) *Alta facilidad*: Se necesita poca capacitación, pero su uso es eficiente y práctico en la mayoría de los casos.
 - (5.0) *Moderada facilidad*: Hay una curva de aprendizaje, pero con entrenamiento se puede utilizar sin problemas.
 - (3.0) *Baja facilidad*: Requiere una capacitación extensa y su implementación puede ser complicada.
 - (1.0) *Muy baja facilidad*: Difícil de usar, requiere conocimientos avanzados y su aplicación no es viable sin asistencia especializada.

2. *Accesibilidad*: considerando factores que faciliten la navegación de la herramienta como costos de implementación, disponibilidad geográfica.
 - (10.0) *Máxima accesibilidad*: Disponible para todos los agricultores, sin restricciones económicas o geográficas.

- (7.5) *Alta accesibilidad*: Disponible en la mayoría de las zonas agrícolas, con costos razonables.
 - (5.0) *Accesibilidad moderada*: Limitada a ciertos mercados o regiones con costos variables.
 - (3.0) *Baja accesibilidad*: Dificultad para conseguir materiales, especialistas o financiamiento.
 - (1.0) *Muy baja accesibilidad*: Tecnología o práctica difícil de obtener, con costos extremadamente altos o poca disponibilidad en el mercado
3. *Costo de Inversión*: evalúa los recursos financieros necesarios para la adquisición, implementación y puesta en marcha de la herramienta. Incluye gastos en infraestructura, capacitación, mantenimiento inicial y posibles adaptaciones y determinar la viabilidad económica y la inversión a largo plazo.
- (10,0) *Costo de inversión muy bajo* (< \$800,000 COP)
 - (7,5) *Costo de inversión bajo*. (\$1,000,000 - \$1,500,000 COP)
 - (5,0) *Costo de inversión moderado* (\$2,000,000 - \$3,500,000 COP)
 - (3,5) *Costo de inversión alto* (\$4,000,000 - \$4,500,000 COP)
 - (1,0) *Costo de inversión muy alto* (> \$5,000,000 COP)
4. *Simplicidad y eficiencia en la actualización*: el mantener de la herramienta al día con nuevas versiones, mejoras o cambios tecnológicos. Un sistema con alta facilidad de actualización permite integrar mejoras sin interrupciones ni costos excesivos, asegurando su vigencia y eficiencia a largo plazo.
- (10.0) *Muy fácil de actualizar*: Adaptable y con mejoras constantes.

- (7.5) *Fácil de actualizar*: Actualizaciones disponibles y de bajo costo.
 - (5.0) *Actualización moderada*: Puede mejorarse, pero con esfuerzo.
 - (3.0) *Difícil de actualizar*: Requiere cambios estructurales o costosos.
 - (1.0) *No actualizable*: No se puede modificar ni mejorar.
5. *Rentabilidad*: evalúa la relación entre los costos de inversión y los beneficios obtenidos. Una herramienta es rentable si genera mayores ingresos o ahorros en comparación con su costo, asegurando un retorno de inversión positivo a corto o largo plazo.
- (10.0) *Máxima rentabilidad*: Aumento significativo en producción y reducción de costos, con retorno de inversión rápido.
 - (7.5) *Alta rentabilidad*: Genera beneficios considerables en productividad y ahorro de recursos.
 - (5.0) *Rentabilidad moderada*: Beneficios económicos evidentes, pero con periodos largos de retorno de inversión.
 - (3.0) *Baja rentabilidad*: Rentabilidad limitada o depende de condiciones externas favorables.
 - (1.0) *No rentable*: No genera beneficios económicos y puede representar pérdidas.
6. *Confiabilidad*: evalúa la capacidad de la herramienta para funcionar de manera constante y sin fallos. Una alta confiabilidad garantiza estabilidad, precisión en los resultados y menor riesgo de errores o interrupciones.
- (10.0) *Máxima confiabilidad*: Sistema altamente eficiente, probado y con bajo margen de error o fallas.

- (7.5) *Alta confiabilidad*: Presenta buen desempeño con mínimas interrupciones o fallos.
 - (5.0) *Confiabilidad moderada*: Puede presentar fallos ocasionales o requerir mantenimiento frecuente.
 - (3.0) *Baja confiabilidad*: Frecuentes problemas de funcionamiento o requerimientos técnicos elevados.
 - (1.0) *Muy baja confiabilidad*: No ofrece estabilidad en su desempeño y es poco viable en la práctica.
7. *Seguridad*: evalúa la protección, privacidad y la confidencialidad de la información. Un índice de seguridad sólido garantiza la integridad de los datos y la confianza en el proyecto. (10,0)
- (10.0) *Seguridad máxima*: Protegido contra cualquier riesgo o falla.
 - (7.5) *Alta seguridad*: Protección efectiva con medidas preventivas.
 - (5.0) *Seguridad moderada*: Puede ser vulnerable en ciertos casos.
 - (3.0) *Baja seguridad*: Falencias evidentes que pueden comprometer su uso.
 - (1.0) *Muy baja seguridad*: Propenso a riesgos graves y fallos críticos.
8. *Impacto Ambiental*: Evalúa los efectos que la herramienta tiene sobre el medioambiente. Considera factores como el consumo de recursos, generación de residuos y emisiones, priorizando soluciones sostenibles y de bajo impacto ecológico.
- (10.0) *Muy bajo impacto*: Sostenible y beneficioso para el ambiente.
 - (7.5) *Bajo impacto*: Uso eficiente de recursos sin degradación significativa.

- (5.0) *Impacto moderado*: Algunos efectos negativos, pero manejables.
 - (3.0) *Alto impacto*: Contribuye al deterioro ambiental.
 - (1.0) *Muy alto impacto*: Práctica insostenible con graves consecuencias ecológicas.
9. *Comunicación*: evalúa la claridad y eficacia con la que una herramienta facilita el intercambio de información. Una buena comunicación garantiza que los usuarios comprendan su funcionamiento, reciban retroalimentación oportuna y puedan interactuar sin barreras.
- (10.0) *Excelente comunicación*: La información es clara y accesible.
 - (7.5) *Buena comunicación*: Mensajes efectivos, aunque pueden mejorar.
 - (5.0) *Comunicación moderada*: Información entendible, pero con lagunas.
 - (3.0) *Baja comunicación*: Dificultades para transmitir la información.
 - (1.0) *Comunicación deficiente*: Información confusa o inaccesible.
10. *Rendimiento y velocidad*: evalúa la capacidad de la herramienta para ser utilizada por el mayor número de personas posible accediendo a la herramienta (10,0)
- (10.0) *Máxima eficiencia*: Carga en menos de 2 segundos, sin errores ni ralentizaciones. Funciona de manera fluida incluso con múltiples usuarios y procesos simultáneos.
 - (7.5) *Alta eficiencia*: Carga entre 2 y 4 segundos, con una experiencia fluida en la mayoría de los casos. Puede presentar pequeños retrasos bajo alta demanda.
 - (5.0) *Rendimiento aceptable*: Carga entre 4 y 6 segundos. Presenta ciertas ralentizaciones ocasionales, pero sin afectar gravemente la usabilidad.
 - (3.5) *Bajo rendimiento*: Carga entre 6 y 10 segundos. Hay notables demoras y retrasos en el procesamiento, afectando la experiencia del usuario.

- (1.0) *Muy bajo rendimiento*: Carga superior a 10 segundos. El sistema es lento, se congela o falla con frecuencia, haciendo difícil su uso.

4.3 Análisis ponderado de los criterios en cada una de las tres herramientas digitales en el mapa de ruta tecnológico

4.3.1 Página web

Usabilidad (10,0): la página web es intuitiva y fácil de usar, permitiendo a los usuarios acceder a la información sin necesidad de una capacitación previa.

Accesibilidad (7,5): en las zonas de Suratá, Matanza y Charta la conexión a internet es débil debido a restricciones geográficas y económicas.

Costo de inversión (10,0): el desarrollo de una creación web tiene un costo bajo, menor a 800,000 COP en comparación con otros software especializado o aplicaciones (apps).

Facilidad de actualización (10,0): permite modificaciones y mejoras constantes sin necesidad de grandes cambios estructurales ni costosos.

Rentabilidad (5,0): representa una inversión eficiente, ya que facilita el acceso a la información sin incurrir en costos recurrentes elevados; pero es necesario considerar el gasto inicial y la posible necesidad de soporte técnico para garantizar su óptimo funcionamiento.

Confiabilidad (7,5): garantiza estabilidad y disponibilidad constante de la información, con bajo riesgo de fallos. Sin embargo, en algunos casos las actualizaciones pueden generar incompatibilidades temporales o requerir ajustes adicionales para su implementación adecuada.

Impacto ambiental (7,5): al ser digital, la web reduce el consumo de papel y otros recursos físicos, disminuyendo la huella ecológica. Pero su impacto ambiental aun dependerá del uso de energía, hídrica y carbono, así como de los procesos asociados a su infraestructura tecnológica.

Comunicación (10,0): facilita el acceso a datos, informes y retroalimentación en tiempo real, mejorando la interacción con los usuarios.

Rendimiento y velocidad (10,0): una página web consume menos recursos del servidor, lo que se traduce en una mejor escalabilidad y menor costo operativo.

4.3.2 App (Aplicación)

Usabilidad (10,0): la aplicación es altamente intuitiva y fácil de usar, lo que permite a los agricultores acceder rápidamente a la información y utilizar sus herramientas sin capacitación previa.

Accesibilidad (5,0): su disponibilidad y su dificultad de acceso se ve limitada en algunas zonas rurales debido a problemas de conectividad a internet o a la falta de dispositivos compatibles con la aplicación desarrollada.

Costo de inversión (5,0): el desarrollo y mantenimiento de la app requieren un costo de inversión moderado de \$2,000,000 - \$3,500,000 COP, lo que puede representar un reto para su implementación en una etapa inicial.

Simplicidad y eficiencia en la actualización (7,5): la aplicación permite realizar mejoras y correcciones de manera ágil, aunque algunas actualizaciones pueden requerir ajustes técnicos más complejos donde requiere bastante inversión y tiempo.

Rentabilidad (3,5): la recuperación de la inversión puede ser un desafío si no se establece un modelo de negocio sostenible, como suscripciones o financiamiento externo y mas para una comunidad de agricultura pequeña.

Confiabilidad (7,5): la app ofrece estabilidad y acceso a la información en tiempo real, pero su funcionamiento depende de la conectividad y actualizaciones periódicas.

Seguridad (10,0): se implementan medidas avanzadas de protección de datos, autenticación y encriptación, reduciendo riesgos de ataques cibernéticos o filtraciones de información.

Impacto ambiental (7,5): Al ser digital, reduce el uso de papel y otros materiales físicos, pero su huella ecológica depende del consumo energético de servidores y dispositivos móviles.

Comunicación (10,0): Facilita la interacción entre los agricultores y expertos, proporcionando datos en tiempo real, notificaciones y herramientas de mensajería.

Rendimiento y velocidad (10,0): La aplicación está optimizada para ofrecer tiempos de carga rápidos y una experiencia fluida, asegurando una operación eficiente incluso en dispositivos con especificaciones estándar.

4.3.3 software

Usabilidad (5,0): El software presenta una interfaz funcional, pero su uso puede requerir cierta capacitación para que los agricultores lo utilicen de manera eficiente.

Accesibilidad (10,0): Para una zona geográfica como la zona de Suratá alto, la herramienta puede instalarse y ejecutarse sin conexión a internet, lo que lo hace altamente accesible en zonas rurales donde la conectividad es limitada o la disponibilidad para algunos agricultores.

Costo de inversión (5,0): Su desarrollo e implementación requieren una inversión moderada, aunque puede representar un desafío para pequeñas comunidades agrícolas sin financiamiento externo.

Simplicidad y eficiencia en la actualización (1,0): Las actualizaciones del software pueden ser complejas y requieren intervención técnica, lo que dificulta su mantenimiento continuo sin apoyo especializado.

Rentabilidad (5,0): Su retorno de inversión dependerá de su adopción y del valor que aporte a los agricultores, pero puede requerir estrategias de financiamiento para su sostenibilidad.

Confiabilidad (7,5): El software ofrece estabilidad y un desempeño adecuado, pero algunos errores o problemas técnicos pueden surgir, especialmente si no se realizan mantenimientos frecuentes.

Seguridad (10,0): Implementa protocolos avanzados de protección de datos, reduciendo riesgos de vulnerabilidades y accesos no autorizados.

Impacto ambiental (7,5): Al ser digital, minimiza el uso de recursos físicos como papel y almacenamiento en dispositivos locales, aunque su consumo energético dependerá del equipo donde se ejecute.

Comunicación (10,0): Facilita el acceso a información relevante y permite la generación de reportes, mejorando la toma de decisiones en el ámbito agrícola.

Rendimiento y velocidad (10,0): Su procesamiento es eficiente, asegurando tiempos de respuesta rápidos y estabilidad en su funcionamiento, lo que mejora la experiencia del usuario.

Tabla 12. *Resultados basados en la evaluación de criterios*

<i>Criterios</i>	<i>App</i>	<i>Página web</i>	<i>Software</i>
Usabilidad	10,0	10,0	5,0
Accesibilidad	5,0	10,0	10,0
Costo de inversión	3,5	10,0	5,0
Simplicidad y eficiencia en la actualización	7,5	10,0	1,0
Rentabilidad	3,5	5,0	5,0
Confiabilidad	7,5	7,5	7,5
Seguridad	10,0	10,0	10,0
Impacto ambiental	7,5	7,5	7,5
Comunicación	10,0	10,0	10,0
Rendimiento y velocidad	10,0	10,0	10,0

Una vez asignados el puntaje de cada criterio, se procedió a calificar las diferentes tecnologías de los criterios mencionados anteriormente, utilizando la escala de puntuación del 1.0 a 10.0. Obteniendo los siguientes resultados que son expuestos en la Tabla No.5

Tabla 13. *Resultados de la suma basado en la escala de ponderación para seleccionar la tecnología más adecuada.*

<i>Tecnología</i>	<i>Puntuación ponderada total</i>
Página Web	80,0
Aplicación (APP)	74,5
Software	71,0

De acuerdo con las ponderaciones para cada criterio, se concluye que la mejor herramienta digital para calcular la huella hídrica de agricultura es la creación de una página web. Debido a que el desarrollo de esta herramienta tiende a ser más económica en comparación con el software y aplicación (app) que requieren algoritmos más avanzados y a mayor costo. Si se necesita realizar actualizaciones frecuentes, una página web responde con mayor agilidad en comparación con el proceso de aprobación que exige los demás. Además, se analizó que sus planificaciones de corto, mediano y largo plazo son consideradas efectivo y concurrente en comparado frente a las demás herramientas.

4.4 Prototipo página web y formulación de estrategias

Para el desarrollo de la página web se emplearon los lenguajes de programación JavaScript y HTML. En JavaScript, se utilizaron variables (**var**) y funciones (**function**) para realizar cálculos, así como la declaración de constantes (**const**). Adicionalmente, el diseño de la página se ubicó en un *hosting* de *Framework Bootstrap*, una herramienta para crear proyectos con códigos más estructurados que utiliza componentes y sistemas de cuadrícula prediseñados (Getbootstrap, 2024). Es necesario resaltar que la creación de la página web requirió un proceso de desarrollo de un año, durante el cual se llevaron a cabo distintas fases: planificación, diseño, implementación y, por último, una fase de ajustes, hasta lograr una estructura completa y funcional. El trabajo durante este tiempo permitió garantizar que todos los elementos estuvieran integrados y optimizados de manera adecuada para su propósito.

Como resultado del tercer objetivo, se logró que la página web genere un reporte personalizado de acuerdo con los datos particulares y a partir de los resultados obtenidos en cada consulta la página sugiere una selección de prácticas ambientales destinadas a equilibrar el uso del recurso hídrico. Estas sugerencias consideran los datos de: ubicación geográfica, clima de la zona de estudio y análisis de las ecuaciones aplicadas.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este documento (trabajo de grado) es diseñar una estructura con las variables necesarias para calcular la huella hídrica de agricultura, no resulta pertinente aquí explicar el detalle técnico del proceso de creación de la página web.

Para comprender en detalle las prácticas que favorecen la optimización hídrica y su implementación, se puede consultar un elemento de la página web, en donde los usuarios podrán acceder y consultar guías y enlaces.

A continuación, se muestra una breve explicación de los posibles resultados y estrategias:

$HH_{gris} \leq 0$, indica que no se requiere agua adicional para diluir contaminantes generados por las actividades. Un valor de cero en la huella hídrica gris sugiere una producción que no causa contaminante o un impacto negativo en la calidad del agua, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento de normativas de calidad hídrica (Hoekstra A. , et al., 2021).

$HH_{verde} > HH_{azul}$, Cuando la huella verde es mayor que la huella azul, significa que la mayor parte del agua utilizada por el cultivo proviene de la lluvia o agua almacenada en el suelo, y no tanto de fuentes de agua artificial (ríos o los pozos). Esto es positivo, ya que depende menos de recursos hídricos gestionados por el agricultor. Sin embargo, esto también puede indicar que el cultivo está en una región con suficientes lluvias (Suratá), y si estas disminuyen, podría haber un riesgo de escasez de agua.

$HH_{verde} < HH_{azul}$, Cuando la huella verde es menor que la azul, se observa que el cultivo depende significativamente de la extracción de agua de fuentes superficiales o subterráneas para riego. Esto puede reflejar un entorno agrícola con baja pluviosidad o un uso ineficiente de las fuentes naturales, lo que podría generar problemas de sostenibilidad hídrica en el futuro si no se implementan tecnologías de conservación de agua o riego eficiente. Por lo tanto, se recomienda:

- *Riego programado (Riego por Goteo)*, los sistemas de riego mediante goteo o microaspersión son óptimos, dado que proporcionan el agua directamente a las raíces vegetales, reduciendo así la pérdida de agua a través de la evaporación. Es esencial realizar irrigaciones tempranas en la mañana o en la noche para minimizar la evaporación. (Sola, 2024)
- *Uso de Hidrogel*, Los geles hidro retenedores se caracterizan por retener agua o lluvia sólida, consiste en aplicar a la base o raíz del cultivo un material absorbente en polvo o

gel, al absorber agua, sigue satisfaciendo las necesidades hídricas de la planta, reduciendo así el volumen de agua requerido para el riego.

El hidrogel, un polímero coloidal no tóxico, tiene la capacidad de retener de dos a tres veces su peso en agua, lo que disminuye los costos de riego y mantenimiento de los cultivos. Además, almacena nutrientes que se pierden durante el riego, favoreciendo la salud de las plantas. (Consulting, 2020)

- *Labranza de conservación*, (labranza cero), Implementar cultivos de cobertura de material orgánica como hojas, tierra o tallos, Este Sistema opta por reducir la necesidad de riego. Su preparación consiste en plantar la semilla en surcos o agujeros sin remover el suelo, con un ancho y profundidad suficiente según la guía de la FAO para una adecuada cobertura y contacto de la semilla con el suelo protegida por una capa de cobertura orgánica, este sistema evita la compactación del suelo, aporta nutrientes al suelo, retiene la humedad y Disminución de la aparición de malezas. (FAO, 2021).
- *Construcción de zanjas*, Los terrenos con inclinación, las zanjas pueden contribuir a la disminución del escurrimiento del agua y a la potenciación de su infiltración en la superficie terrestre. Estas estructuras asimismo mitigan la erosión del suelo, una condición que puede disminuir la capacidad del suelo para retener agua (Sola, 2024)
- *Labranza de contorno*, Esta práctica de conservación de suelos consiste en diseñar las hileras de cultivo de forma perpendicular a la pendiente del terreno, siguiendo las curvas a nivel. De este modo, cada surco o hilera actúa como una barrera natural que reduce la velocidad del agua de escorrentía, impidiendo que adquiera la fuerza suficiente para causar erosión. Como resultado, se minimiza la pérdida de suelo y nutrientes, favoreciendo la

estabilidad del terreno y la sostenibilidad del cultivo a largo plazo. (Elizondo Alvarado, 2019)

$HH_{verde} > HH_{gris}$, cuando la huella verde es mayor que la gris, esto indica que el cultivo usa principalmente agua de lluvia, y no se requiere una gran cantidad de agua para diluir contaminantes generados por el uso de fertilizantes o pesticidas. Es una señal positiva, porque sugiere que el cultivo se maneja de manera ecológica, con bajo impacto sobre la calidad del agua.

$HH_{verde} < HH_{gris}$, Cuando la huella verde es menor que la gris, puede indicar que el cultivo depende menos del agua de lluvia y más de fuentes de agua externas, pero al mismo tiempo, se están utilizando insumos agrícolas que generan una mayor contaminación del agua. Esto podría ser una señal de que, aunque se esté utilizando agua externa para el riego, hay una preocupación por el uso de fertilizantes y otros productos químicos que podrían estar afectando la calidad del agua. Reducir el uso de fertilizantes artificiales y pesticidas. replazándolo con otras alternativas como el abono orgánico, caldos minerales, biofermentos y pesticidas orgánicos

- *Abono orgánico*, algunos ejemplos de fertilizantes totalmente orgánicos son el compost, el estiércol y la roca en polvo. La liberación gradual de los fertilizantes minerales naturales representa un beneficio significativo para las plantas, ya que asegura un aporte continuo de nutrientes por un periodo prolongado. Esto facilita una absorción más eficiente y minimiza el riesgo de pérdidas. Asimismo, los fertilizantes orgánicos de origen mineral contribuyen a mejorar la estructura del suelo, optimizan su capacidad de retención de agua y favorecen el desarrollo de microorganismos beneficiosos para el ecosistema agrícola. (Cherlinka, 2025)

- *Caldos minerales*, esta práctica ayuda el control y disminución de enfermedades fungosas y sirve como insecticida que combate especialmente los ácaros (Jica, 2013).
- *Biofermentos* Es un método de fermentación de materia orgánica que contribuye a reducir la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos. Además, favorece el incremento del rendimiento y optimiza la calidad de la producción agrícola (Calderon, 2023).
- *Pesticidas orgánicos*, esta práctica tiene como beneficio estructurar el suelo de manera más oxigenada, permitiendo un suelo más sano y fértil, además, cumple un mayor y mejor período disponible para los cultivos que los fertilizantes químicos, es respetuoso con el medio ambiente y fácil de usar (Casteleijn, 2022).

$HH_{\text{azul}} > HH_{\text{gris}}$, Si la huella azul es mayor que la gris, significa que el agua extraída para el riego es más significativa que el impacto generado por los contaminantes en el agua. Esto sugiere que el cultivo requiere un uso considerable de agua de fuentes externas, pero no necesariamente genera un alto nivel de contaminación.

$HH_{\text{azul}} < HH_{\text{gris}}$, Si la huella gris supera la huella azul, refleja que el impacto de la contaminación del agua por el uso de insumos agrícolas es mayor que la cantidad de agua extraída para el riego. Este desequilibrio sugiere una práctica agrícola que podría estar afectando negativamente la calidad del agua, y se requiere una intervención para optimizar el uso de fertilizantes, pesticidas y otros insumos para reducir la huella gris.

Nota: Para consultar imágenes, por favor, dirigirse al **Apéndice B**.

Enlace página web: <https://mihuellahidrica.github.io/>

5. Conclusiones

Para avanzar en el primer objetivo, se hizo el análisis de los documentos recogidos en Scopus, con el fin de identificar las herramientas para calcular la huella hídrica agrícola. Como resultado, se logró observar la gravedad del impacto hídrico de la agricultura en diferentes países del mundo; además, se pudieron conocer datos sobre la gestión del recurso hídrico. Asimismo, se evidenció el interés de diferentes instituciones como la conservación del Suelo y el Agua, así como de la Universidad Tarbiat Mudares, Ankara y Mekelle, en la sostenibilidad de dicho recurso.

A partir de ocho criterios relacionados con accesibilidad, seguridad y efectividad, el mapa de ruta tecnológico permitió determinar la herramienta más adecuada para el cálculo de la huella hídrica de la agricultura. De esta manera, se determinó que la página web cumplía de mejor manera con dichos criterios y esto resultó de un ponderado de 90,0 provenientes de la suma de los criterios mencionados. Al mismo tiempo, se evaluó la posible relación de la página web con la satisfacción de algunas necesidades propias de la zona del Rio Suratá Alto.

Para cumplir con el tercer objetivo de esta investigación, se logró diseñar un prototipo de herramienta web que calcula (aun con ciertas limitaciones) la huella hídrica de agricultura mediante los lenguajes de programación Java Script y HTML que simplificaron la interfaz del usuario final; esto quiere decir que está diseñada para que a los agricultores les resulte sencillo e intuitivo el uso de la herramienta. Además, como resultado, se elaboraron recomendaciones basadas en los resultados obtenidos. Resulta un acierto haber elegido la página web considerando las habilidades tecnológicas de los agricultores y la zona de estudio a fin de evitar barreras en su usabilidad.

Cabe destacar que la ecuación de Penman-Monteith permite un margen de error menor al 1% en el cálculo de huella hídrica de la agricultura. Por tanto, se considera otro acierto para este

objetivo que la herramienta se haya basado en dicha metodología. De esta manera, las mediciones resultan precisas para la zona de estudio porque las variables de la ecuación traducen las condiciones climatológicas de la zona rio surata alto (Matanza, Surata & Charta).

6. Recomendaciones

Como recomendaciones para futuras investigadores que toman el trabajo como referencia y para quienes aporten observaciones para mejorar la herramienta web, es fundamental tener en cuenta que el sitio web debe estar sujeto a actualizaciones debido a que los datos disponibles actualmente (el tipo de cultivos, la zona de estudio) son muy específicos. Por lo tanto, es esencial mantener el sitio web en constante renovación, incluyendo la actualización del servicio de hosting para garantizar su funcionalidad y la incorporación de nueva información relevante.

De igual manera, es necesario personalizar y añadir nuevas pestañas en el sitio web, donde se implementen guías y cartillas sobre las estrategias adoptadas, evitando la incorporación de enlaces a sitios web externos. Esto permitirá centralizar la información y ofrecer a los agricultores un acceso directo y completo a las soluciones y recomendaciones disponibles; a fin de mejorar la experiencia del usuario y garantizando una mayor coherencia en la presentación del contenido.

Referencias

- ADAMA. (2023, 11 de diciembre). *Agua: Un reto de gestión en la agricultura*.
<https://www.adama.com/colombia/es/sostenibilidad/agua-un-reto-de-gestion-en-la-agricultura>
- Alcaldía Suratá. (2014). *Ordenamiento Territorial Suratá Santander*.
<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/11126/6127-15.pdf?sequence=15&isAllowed=y>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., . (2006). *Evapotranspiración del cultivo-guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 56).
<https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s.pdf>
- ArcGeek. (2020, 16 de Agosto). *Las mejores computadoras para aplicaciones SIG*.
<https://acolita.com/las-mejores-computadoras-para-aplicaciones-sig/>
- AWS. (2024). *AWS ¿Cuál es la diferencia entre las aplicaciones web, las aplicaciones nativas y las aplicaciones híbridas?*. <https://aws.amazon.com/es/compare/the-difference-between-web-apps-native-apps-and-hybrid-apps/>
- Biobilbao. (2023, 18 de Julio). *Biobilbao-la huella hidrica*. <https://biobilbao.bilbao.eus/la-huella-hidrica/>
- Calderon, C. (2023, 11 de Abril). *IICA Biofermento, Alternativa para nutrición foliar en el cultivo de tomate*. <https://iica.int/es/press/noticias/biofermento-alternativa-para-nutricion-foliar-en-el-cultivo-de-tomate/#:~:text=El%20biofermento%20es%20el%20producto,la%20calidad%20en%20la%20producci%C3%B3n.>

Carabalí, T. (2015). *Cuantificación de la huella hídrica gris en el cultivo de maíz tolima.*

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/28bd39c8-f212-4f7e-bd98-e010d55a3b6c/content>

Cardona, C. M., y Congote Ochoa, B. (2013). *La huella hídrica, un indicador de impacto en el uso del agua.*: file:///C:/Users/slend/Downloads/adminojs,+PDF-Revista-Tecnogestion-Vol.-10-N.-1-ano-2013-20-25%20(4).pdf

Carmona Vega, L. (2010). *Estimación de la huella gris de la agricultura teniendo en cuenta el efecto de fertilizantes y pesticidas.*

[https://cashconverters.es/es/es/oportunidades/profesionales/contaminacion-telefono/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20de%20nuestros%20tel%C3%A9fonos,\(2%2D5%20a%C3%B1os\).](https://cashconverters.es/es/es/oportunidades/profesionales/contaminacion-telefono/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20de%20nuestros%20tel%C3%A9fonos,(2%2D5%20a%C3%B1os).)

Casteleijn, M. (2022, 18 de Agosto). *royal brinkman.* https://royalbrinkman-com.translate.goog/knowledge-center/crop-care/advantages-organic-fertilizers?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge&_x_tr_hist=true

CDMB. (2006). *Plan de ordenamiento y manejo microcuena suratá alto.*
<https://economia.uniandes.edu.co/sites/default/files/webproyectos/santurban/PLAN-DE-ORDENAMIENTO-Y-MANEJO-SURATA-ALTO.pdf>

CDMB. (2023). *Informe de la red hidroclimatologica 1 semestre de 2023. Bucaramanga: CDMB y PRODEAM.*

<http://caracoli.cdm.b.gov.co/cai/rhc/docs/RHC/Informe%20RHC%20CDMB%20I%20Semestre%202023.pdf>

- CDMB. (2023). *Informe de Monitoreo de Agua*.
<http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/docs/INFORMES/INFORME%20SUBCUENCA%20SURATA%202023%20VERSION%20FINAL.pdf>
- Cheng, P., y Sun, M. (2022). *Calculation of seasonal agricultural grey water footprint in monsoon region based on river reference conditions*. *Ecological Indicators Vol 145*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22011116>
- Cherlinka, V. (2025, 5 de Abril). *Eos data analytic*. <https://eos.com/es/blog/fertilizantes-organicos/>
- ColombiaGames. (2021, 6 de Junio). *¿Cuánto cuesta desarrollar una aplicación móvil?*.
<https://colombiagames.com/cuanto-cuesta-desarrollar-una-aplicacion-movil/>
- Consulting, M. C.–B. (2020). *Nanotecnología Hidrogel, una pieza clave para la agricultura*.
<https://blueberriesconsulting.com/nanotecnologia-hidrogel-una-pieza-clave-para-la-agricultura/>
- Correal, M. (2021, 20 de Mayo). *De desechos a recursos: gestión de residuos sólidos para el desarrollo*. <https://blogs.iadb.org/agua/es/desechos-a-recursos-gestion-residuos-solidos/>
- Carvalho Alves, M., de Carvalho, L., Vianello, R., Sedyama, G., de Oliveira, M., y de Sá Junior, A. (2013). *Geostatistical improvements of evapotranspiration spatial information using satellite land surface and weather stations data*. *Theor. Appl. Climatol*, 113 (1-2): 155-174.
- Dejusticia. (2020, 25 de Marzo). *Dejusticia*. <https://www.dejusticia.org/colombia-tiene-la-primera-radiografia-de-su-poblacion-campesina/>
- Dergarabedian, Cesar. (2024). *Iprofesional*. <https://www.iprofesional.com/tecnologia/408506-cuantos-gb-es-recomendable-que-tenga-tu-nuevo-celular>

- DreamHost. (2025). <https://www.dreamhost.com/es/servicios-profesionales/administracion/actualizacion-de-sitio/>
- EL HERALDO. (2015, 22 de Marzo). *Economía EL HERALDO*. Sitio Web: <https://www.elheraldo.co/economia/la-agricultura-consume-el-70-del-agua-en-el-mundo-188535>
- Elizondo Alvarado, M. (2019). *platicar*. https://www.platicar.go.cr/images/buscador/fichas-tecnicas/SUELOS/07_SIEMBRA_A_CONTORNO.pdf
- ElTiempo. (2023, 11 de Octubre). *Beneficios que reciben las compañías al desarrollar sus propias apps móviles*. <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/apps/beneficios-que-reciben-las-companias-al-desarrollar-sus-propias-apps-moviles-815213>
- ElTiempo. (2023, 27 de Abril). *Colombianos usan en promedio de 6 a 10 aplicaciones, según estudio*. <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/apps/colombianos-usan-en-promedio-de-6-a-10-aplicaciones-segun-estudio-763245>
- eMarketServices. (2022, 21 de Octubre). *Más de 4.700 millones de personas usan las redes sociales, casi el 60% de la población mundial*. <https://www.emarketservices.es/es/menu-principal/actualizate/detalle-noticias.mas-de-4700-millones-de-personas-usan-las-redes-sociales-casi-el-60-de-la-poblacion-mundial.news202210#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20informe%2C%20los%20usuarios,en%20los%20%C3%BAti>
- ENA. (2022). *Estudio nacional del agua 2022*. Obtenido de ministerio de ambiente y desarrollo sostenible pdf: https://www.andi.com.co/Uploads/ENA%202022_compressed.pdf

EPSA. (2021). *¿Por qué ha aumentado el precio de los equipos informáticos?*

<https://es.epsa.com/es/news/por-que-ha-aumentado-el-precio-de-los-equipos-informaticos/>

EsAgua. (2023). *GAWFC: la Calculadora Geográfica de Huella Hídrica agrícola de Good Stuff*

International. <https://www.esagua.es/gawfc-la-calculadora-geografica-de-huella-hidrica-agricola-de-good-stuff-international/>

ESAP. (2019). *EOT : Escuela Superior de Administración Pública.*

<https://repositoriodim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/11126/6127-15.pdf?sequence=15&isAllowed=y>

Escobar, D. (2024, 15 de Marzo). *Cuánto daño le hace el uso del celular al medio ambiente*

(infobae) <https://www.infobae.com/tecno/2024/03/15/cuanto-dano-le-hace-el-uso-del-celular-al-medio-ambiente/>

FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.*

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f3660258-d07f-487e-b3c1-01661c83cb16/content>

FAO. (2021). *Cero labranza. Principios y equipamientos* .[https://www.fao.org/family-](https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1678160/#:~:text=Se%20denomina%20cero%20labranza%20al,la%20semilla%20con%20el%20suelo.)

[farming/detail/es/c/1678160/#:~:text=Se%20denomina%20cero%20labranza%20al,la%20semilla%20con%20el%20suelo.](https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1678160/#:~:text=Se%20denomina%20cero%20labranza%20al,la%20semilla%20con%20el%20suelo.)

FAO. (2025). *Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura.*

<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>

FAO. (2025). *Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura.*

<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>

Getbootstrap. (2024). *Cree sitios web rápidos y con capacidad de respuesta con Bootstrap.*

<https://getbootstrap.com/>

Gobierno de Mexico. (2021). *Mapa de ruta tecnológica.*

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/817115/pts-016-02-mapa-de-ruta_resumen-alta.pdf

Gocic y Trajkovic. (2010). *Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data , computers and Electronics in Agriculture Vol. 71*, pp. 158-162.

GoDaddy. (2024, 27 de agosto). *Rangos de precios para crear una página web en Colombia.*

<https://www.godaddy.com/resources/latam/clientes/cuanto-cuesta-pagina-web-colombia>

González Ulibarry, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes.*

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf

GoogleEarth. (2025). [https://earth.google.com/web/@7.36464724,-](https://earth.google.com/web/@7.36464724,-73.03240718,2565.85280545a,30197.17377702d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwo1CiExOEpUZUIxNVFCcmxiWHQweE00eINMQmhYSkFUX0pqbGkgAToDCgEwQgIIAEoICJi-2PkEEAE)

[73.03240718,2565.85280545a,30197.17377702d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwo1CiExOEpUZUIxNVFCcmxiWHQweE00eINMQmhYSkFUX0pqbGkgAToDCgEwQgIIAEoICJi-2PkEEAE](https://earth.google.com/web/@7.36464724,-73.03240718,2565.85280545a,30197.17377702d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMikKJwo1CiExOEpUZUIxNVFCcmxiWHQweE00eINMQmhYSkFUX0pqbGkgAToDCgEwQgIIAEoICJi-2PkEEAE)

GooglePlay- GCRS. (2024, 31 de Mayo). *Water Footprint.*

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.waterfootprint&hl=es>

Guerrero, J., y Virginia, F. (2015). *Surata globalizado con equidad y sostenibilidad.*

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/17409/20985-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Haiko. (2021, 12 de Abril). *La Actualidad del Desarrollo de Software: Innovación, Retos y Oportunidades*. <https://blog.haiko.es/2021/04/12/la-actualidad-del-desarrollo-de-software-innovacion-retos-y-oportunidades/>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonnen, M. M., Valdés de anca, A., y AENOR. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica*. https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf
- Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H., der Zaag, P. v. (2006, Julio). *The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities*. https://www.waterfootprint.org/resources/Report_21_WFP_Morocco_and_Netherlands.pdf
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Maite, A., Mesfin, M., Almodena, V. d., y AENOR. (2021). *AENOR internacional*. https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf
- HZ Hardzone. (2024, 14 de Mayo). *¿Cuáles es la velocidad estándar de las memorias RAM DDR4 y DDR5?*. <https://hardzone.es/tutoriales/rendimiento/velocidades-memorias-ram-pc/>
- iAguá. (2018, 6 de Junio). *Club iAguá*. <https://www.iagua.es/noticias/fao/contaminantes-agricolas-grave-amenaza-agua-planeta>
- iAguá. (2024). *iagua sitio web. Arjen Hoekstra, padre del concepto de la Huella hídrica*. <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/fallece-arjen-hoekstra-padre-concepto-huella-hidrica?platform=hootsuite>
- Iberdrola. (2024). *La huella hídrica, clave para preservar un recurso natural vital Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-huella-hidrica>

- IBM. (2020). *¿Qué es el almacenamiento de datos?*. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/data-storage#:~:text=Para%20almacenar%20datos%2C%20independientemente%20de,y%20almacenamiento%20basado%20en%20red.>
- ICONTEC. (2014). *Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina*. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/archivos/paginas/huella_de_agua_en_america_latina.pdf
- ICONTEC. (2022). *Seguridad de la información, ciberseguridad y protección de la privacidad. Sistemas de gestión de seguridad de la información*. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-iso-iec-seguridad-de-la-informacion-ciberseguridad-y-proteccion-de-la-privacidad-sistemas-de-gestion-de-seguridad-de-la-informacion-requisitos-ntc-iso-iec27001-2022.html>
- IFP. (2017, 6 de Junio). *Innovación en Formación Profesional*. <https://www.ifp.es/blog/las-redes-moviles-3g-4g-y-5g-todo-lo-que-necesitas-saber#:~:text=Las%20generaciones%20m%C3%B3viles%20han%20evolucionado,permitiendo%20nuevas%20aplicaciones%20y%20servicios.>
- IICA. (2014, 17 de Marzo). *Agua para la seguridad alimentaria y el bienestar en america latina y el caribe: implicaciones sociales y ambientales para una economia globalizada*. <https://iica.int/es/prensa/eventos/agua-para-la-seguridad-alimentaria-y-el-bienestar-en-america-latina-y-el-caribe>
- iila. (2020, 8 de Octubre). *Desarrollo sostenible: IILA compensa su huella ecologica con proyectos para la sostenibilidad medioambiental*. <https://iila.org/es/desarrollo-sostenible-iila-compensa-su-huella-ecologica-con-proyectos-para-la-sostenibilidad-medioambiental/>
- Infobae. (2022, 10 de Agosto). *Río Suratá, en Santander, está contaminado con mercurio y Defensoría del Pueblo pide medidas:*

<https://www.infobae.com/america/colombia/2022/08/11/rio-surata-en-santander-esta-contaminado-con-mercurio-y-defensoria-del-pueblo-pide-medidas/>

InfoBae. (2024). *Nuevo problema para la IA: produciría toneladas de residuos electrónicos y aún no hay solución.* <https://www.infobae.com/tecno/2024/10/31/nuevo-problema-para-la-ia-produciria-toneladas-de-residuos-electronicos-y-aun-no-hay-solucion/>

ITE SOLUCIONES. (2023, 6 de enero). *¿Por qué es importante el desarrollo de software?* <https://www.itesoluciones.com/por-que-es-importante-el-desarrollo-de-software/>

jica. (2013). *Gobierno Reconciliación y Unidad Nacional.* https://www.jica.go.jp/Resource/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/46_instrucciones_03.pdf

Kingston. (2024, febrero). *¿Cuánta memoria necesita para ejecutar las aplicaciones de Windows, macOS o Linux?* <https://www.kingston.com/latam/blog/pc-performance/memory-assessor>

La Nota Económica. (2020). *Colombia destaca como el cuarto mercado de TI en América Latina: ¿Cómo cerrar la brecha de talento digital?* <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/colombia-destaca-como-el-cuarto-mercado-de-ti-en-america-latina-como-cerrar-la-brecha-de-talento-digital/>

Lama, G. (2022, 5 de Diciembre). *Lama. la huella hídrica en agricultura* <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s.pdf>

Legarda Burbano, L., Puentes, G., Benavides Guerrero, H. (1999). *Revista de ciencias agrícolas. importancia de los parametros hidrofisicos del suelo y requerimientos hidricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersion liviana:* <file:///C:/Users/slend/Downloads/Dialnet-ImportanciaDeLosParametrosHidrofisicosDelSueloYReq-6191459%20.pdf>

Luan, X., Wu, P., Sun, S., Wang, Y., Gao, X., y . (2018). *Quantitative study of the crop production water footprint using the SWAT model. Ecological Indicators Vol.89, 89, 1-10.*

maratum. (2022, 26 de Octubre). *La importancia del sitio web para una empresa.*
<https://maratum.com/importancia-pagina-web-para-empresa/>

Marco Frojo. (2023, 2 de Octubre). *LaRepubblica.*
https://www.repubblica.it/dossier/economia/transizione-sostenibile/2023/10/02/news/lagricoltura_in_prima_linea_nella_lotta_al_cambiamento_climatico-416567254/

Medium. (2023). *mantenimiento y actualizaciones a los softwares que se usan en la empresa.*
<https://medium.com/@sangeloz69/la-importancia-de-dar-mantenimiento-y-actualizaciones-a-los-softwares-que-se-usan-en-la-empresa-79a490de5670#:~:text=Dar%20mantenimiento%20y%20aplicar%20actualizaciones,aportes%20significativos%20de%20ambas%20partes.%E2%80%9>

Merginmaps. (2025). *QGIS.*
<https://es.merginmaps.com/glossary/qgis#:~:text=El%20ecosistema%20QGIS%20puede%20utilizarse,la%20proyecci%C3%B3n%20gracias%20a%20PROJ.>

Miguel Gomez. (2018). *por que el desarrollo web es un buen negocio.*
<https://miguelgomezsa.com/blog/desarrollo-de-paginas-web-buen-negocio#:~:text=El%20desarrollo%20de%20p%C3%A1ginas%20web,en%20d%C3%ADa%20para%20un%20programador.>

MSMK. (2024, 9 de Septiembre). *¿Qué es un error de software?* <https://msmk.university/que-es-un-error-de-software-msmk->

university/#:~:text=Pueden%20ocurrir%20por%20diversos%20motivos,causar%20fallos%20en%20el%20sistema.

National Center for S y T Evaluation. (2017, 12 de Diciembre). *ncste.org*. Clarivate.com:
<https://ncste.org/uploads/www/201712/200927279unk.pdf>

National Geographic. (2019, 20 de Febrero). *¿Cuánto contamina internet?*
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/02/cuanto-contamina-internet>

ONG. (2021, 18 de Marzo). *El agua: en el centro de la crisis climática*.
<https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/water>

ONU. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos* 2018.
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261579_spa/PDF/261579spa.pdf.multi

ONU. (2022). *Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF_Sp.pdf

Ortiz, R., y Chile, M. (2020, 28 de febrero). *Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco*. Obtenido de
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/246/2461061007/html/index.html>

POR:INVID. (2020). *¿Cuánto cuesta el software personalizado?*
<https://invidgroup.com/es/cuanto-cuesta-el-software-personalizado/#:~:text=El%20costo%20del%20desarrollo%20de,a%20los%20costos%20del%20desarrollo.>

- Portaltic. (2019, 17 de Mayo). *Un teléfono móvil tiene hasta 40 materiales tóxicos: aprende a reciclarlo*. <https://www.europapress.es/portaltic/gadgets/noticia-telefono-movil-tiene-40-materiales-toxicos-aprende-reciclarlo-20160517161026.html>
- Rankmyapp. (2021, 5 de Agosto). *Diseño de interfaz de una app: ¿por qué es bueno invertir?* <https://rankmyapp.com/es/disenio-de-interfaz-de-una-app-por-que-es-bueno-invertir/>
- RECURSOSTICS. (2024). *Diferencias entre aplicaciones móviles y de escritorio* <https://www.rekursostics.com/aplicaciones-moviles-y-de-escritorio/>
- Redekop. (2025). *Redekop. Mejora del rendimiento de los cultivos año tras año* <https://redekopmfg.com/es/mejorar-el-rendimiento-de-los-cultivos-a%C3%B1o-tras-a%C3%B1o/>
- Rezaie Kalvai, S. A. (2019). *Assessing ground and surface water scarcity indices using ground and surface water footprints in the tehran province of iran*. *ALÖKI*, 13.
- Ríos Flores, J., Torres Moreno, M., Castro Franco, R., Torres Moreno, M., Ruiz Torres, J., y . (2015). *Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México*. *Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 47, núm. 1, 93-107.
- Rojas, A., y Hernández, D. (2018). *Cálculo comparativo de la huella hídrica del sistema productivo de arroz de riego en cuatro zonas arroceras de Colombia por medio del software Cropwat 8.0*. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*.
- rootstack. (2022, 9 de Marzo). *¿Qué lenguajes se utilizan en el desarrollo de software?*. <https://rootstack.com/es/blog/desarrollo-software-lenguajes>
- RTA. (2024). *Los desafíos de brindar acceso a Internet en áreas rurales*. <https://rtatel.com/es/the-challenges-of-providing-internet-access-in-rural-areas/>

Samantha, B. (2021). *Codster. Desarrollo de Aplicaciones Web vs. Aplicaciones de Escritorio:*

<https://codster.io/blog/desarrollo-software/desarrollo-de-aplicaciones-web-vs-escritorio/>

Sánchez Bautista, E., Villarreal Roa, J., Torres Ortega, J. (2015). *Estimación de la huella hídrica para un cultivo de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus). Investigación Vol. 9, 135.*

SÁNCHEZ, J. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad.* (P. 16, Ed.)

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>

Semana. (2019, 22 de Marzo). *Agricultura, el mayor consumidor de agua en el país.*

<https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/agricultura-el-sector-que-mas-agua-demanda-en-el-pais/43450/>

Sharaai, A. H., Manaf, L. A., Hamidian, A. H., Kalvani, S. R. (2019). *Water footprint of crop production in tehran province. Journal of the Malaysian Institute of Planners, 123 – 132.*

Shervin Jamshidi, S. I. (2020). *Impact Assessment of Best Management Practices (BMPs).* International Journal of Environmental Research.

Shervin, Somaye y Majid. (2022). *An approach to quantifying the grey water footprint of*

agricultural productions in basins with impaired environment. Journal of Hydrology, 127458. [https://pdf.sciencedirectassets.com/271238/1-s2.0-S0378377423X00067/1-s2.0-S0378377423001373/main.pdf?X-Amz-Security-](https://pdf.sciencedirectassets.com/271238/1-s2.0-S0378377423X00067/1-s2.0-S0378377423001373/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjED4aCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDKJVOdV4%2BYDxwu83h5ejVb02g06iWALGIM8RQ4LoMh0AIgH664PS%2F2%2FMIQ2uDLtAIqKUivEcY0%2B3t0XEGR)

[Token=IQoJb3JpZ2luX2VjED4aCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDKJVOdV4%2BYDxwu83h5ejVb02g06iWALGIM8RQ4LoMh0AIgH664PS%2F2%2FMIQ2uDLtAIqKUivEcY0%2B3t0XEGR](https://pdf.sciencedirectassets.com/271238/1-s2.0-S0378377423X00067/1-s2.0-S0378377423001373/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjED4aCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDKJVOdV4%2BYDxwu83h5ejVb02g06iWALGIM8RQ4LoMh0AIgH664PS%2F2%2FMIQ2uDLtAIqKUivEcY0%2B3t0XEGR)

- SIRSE. (2019, 28 de noviembre). *Sistema iberoamericano de responsabilidad social empresarial*.
<https://sirse.info/quien-fue-arjen-hoekstra-el-padre-del-concepto-de-huella-hidrica/>
- Sola. (2024, 28 de Junio). *Técnicas de conservación del agua en el huerto*
https://solaviveroseco.es/tecnicas-de-conservacion-del-agua-en-el-huerto/#Eleccion_de_plantas_resilientes
- Telencuentas. (2023). *Cuántos habitantes tenía Suratá, Santander en 2023*
<https://telencuentas.com/censos-de-poblacion/colombia/2023/santander/surata>
- Telencuentas. (2023). *Cuántos habitantes tenía Matanza, Santander en 2023*
<https://telencuentas.com/censos-de-poblacion/colombia/2023/santander/matanza>
- Telencuentas. (2023). *Telencuentas California*. <https://telencuentas.com/censos-de-poblacion/colombia/2023/santander/california>
- UPRA. (2022). *SANTANDER, Microanálisis Evaluaciones agropecuarias- EVAs*
https://upra.gov.co/Kit_Territorial/2-%20Informaci%C3%B3n%20por%20Departamentos/SANTANDER/3-%20Microan%C3%A1lisis%20Evaluaciones%20agropecuarias%202023-Santander.pdf
- Uribe, N. (2010, 20 de Abril). *CIAT. Conceptos básico y guía rápida para el usuario, Version SWAT 2005* <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>
- USDA. (2022). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. USDA.
<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Vasquez, R., y Lambarri, J. (2017). *Huella Hidrica en México: Analisis y perspectivas*. En IMTA, *Huella Hidrica en México: Analisis y perspectivas* (pág. 117). Mexico: SEMARNAT

(Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales).

https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/huella-

[hidrica/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/huella-hidrica/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

Vergara, S. (2025, 7 de Enero). *ITDO. Frameworks y tecnologías emergentes en el desarrollo de aplicaciones móviles APPs en 2025* <https://www.itdo.com/blog/frameworks-y-tecnologias-emergentes-en-el-desarrollo-de-aplicaciones-moviles-apps-en-2025/>

Vergé, X., VanderZaag, A., Smith, W., Grant, B., Gordon, R., (2017). *The consideration of time step in calculating grey water footprints of agricultural cropping systems. Ecological Indicators Vol.78*, 31-36.

Vidal, S. (2023, 10 de Agosto). *TECNOBIS*. <https://tecnobits.com/cuales-son-los-software-y-herramientas-utilizados-para-la-web/>

World Economic Forum. (2024, 15 de Enero). *How technological advances are strengthening supply chains*. Obtenido de <https://www.weforum.org/agenda/2024/01/how-technological-advances-like-ai-are-strengthening-supply-chains/>

Wu, M., Li, Y., Xiao, J., Guo, X., Cao, X. . (2022). *Blue, green, and grey water footprints assessment for paddy irrigation-drainage system. Journal of Environmental Management Vol.302*.

WWF. (2012). *WWF Colombia*. WWF.
file:///C:/Users/slend/Downloads/hh_colombia_final_web_marcadores%20(4).pdf

Zarezadeh, M., Delavar, M., Morid, S., Abbasi, H. (2023). *Evaluating the effectiveness of macro-level water-saving policies based on water footprint sustainability indicators. Agricultural Water Management*, 108272.

Zekster, I., Everett, G, L. (2004). *Groundwater resources of the world and their use.*

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433>

Lista de Apéndices

Apéndices a. Herramientas tecnológicas para el cálculo de la huella hídrica de la agricultura

#	TITULO	TECNOLOGIA (software)	HUELLA HIDRICA	ASPECTOS RELEVANTES	TIPO DOCUMENTO	REFERENCIA
6	(The water footprint of irrigation-supplemented cotton and mung-bean crops in Northern Ethiopia) La huella hídrica de los cultivos de algodón y frijol, mangos complementados con riego en el norte de Etiopía	CROPWAT	Huella hídrica azul y verde	En este estudio, se utilizó la herramienta Evaluación de la Huella Hídrica (WFA) para determinar la huella hídrica de la producción de algodón y frijol mango con riego de Center Pivot. Se encontró que la huella hídrica del algodón fue de 2745 m ³ /tonelada, con una contribución del 35% de agua verde y 65% de agua azul. Para el frijol mango, la huella hídrica fue de 6561 m ³ /tonelada, con un 93% de agua azul. Las estimaciones basadas en CROPWAT y en datos de campo mostraron una buena concordancia. Cambiar las fechas de siembra cerca de los meses de lluvia principal contribuyó a reducir la huella hídrica azul. Este estudio concluye que la evaluación de la huella hídrica puede hacerse satisfactoriamente utilizando el modelo CROPWAT respaldado por información de campo.	Artículo	Gebremariam, F.T., Habtu, S., Yazew, E., Teklu, B.
7	(Distributed quantification of blue and green water resources and water footprint of crop production in an	SWAT	Huella hídrica azul y verde	En este estudio realizado en el distrito de riego de Baojixia en China, se cuantificó y evaluó el consumo de diferentes recursos hídricos utilizando el concepto de huella hídrica. Se seleccionó la	Artículo	Gao, J., Wu, P., Xie, P., Zhuo, L.

	irrigation district at multiple temporal scales [灌区蓝绿水资源与作物生产水足迹多时空分布量化分析) Cuantificación distribuida de recursos hídricos azules y verdes y huella hídrica de la producción de cultivos en un distrito de riego en múltiples escalas temporales			producción de maíz y trigo como estudio de caso, y se recopilaron datos de escorrentía, precipitación, riego y propiedades del suelo. Se estableció un modelo hidrológico basado en el ciclo hidrológico y se cuantificaron los recursos hídricos azul y verde, así como las huellas hídricas de los cultivos.	
8	(Using water footprint concepts for water security assessment of a basin under anthropogenic pressures) Uso de conceptos de huella hídrica para la evaluación de la seguridad hídrica de una cuenca bajo presiones antropogénicas	SWAT	Huella hídrica verde, gris y azul	Este artículo propone un enfoque de evaluación de sostenibilidad de la huella hídrica para analizar la seguridad hídrica en una cuenca fluvial bajo presiones humanas. La metodología involucra una evaluación integral de la seguridad hídrica actual en diferentes niveles espaciales y temporales, e identifica formulaciones de respuesta adecuadas para lograr la sostenibilidad. Se llevaron a cabo encuestas y mediciones en campo (caudal del río, calidad del agua) y se utilizó el modelo Soil and Water Assessment Tool para evaluar los componentes del balance hídrico y la calidad del agua.	Articulo D'Ambrosio, E., Ricci, G.F., Gentile, F., De Girolamo, A.M.

9	(Impact Assessment of Best Management Practices (BMPs) on the Water Footprint of Agricultural Productions) Evaluación de Impacto de las Mejores Prácticas de Gestión (BMPs) sobre la Huella Hídrica de las Producciones Agrícolas	SWAT	Huella hídrica gris	<p>Este estudio propone una metodología integrada para evaluar los impactos de las mejores prácticas de gestión (BMP) en las huellas hídricas de las producciones agrícolas. Se centra en la reducción de los contaminantes difusos de nitrógeno total (TN) y fósforo total (TP) en las aguas superficiales, así como en la huella hídrica gris (GWF) de la agricultura. El enfoque combina el uso de la herramienta de evaluación de suelos y aguas (SWAT) para el modelado de cuencas y el cálculo de datos relevantes, y la cuantificación y comparación de las huellas hídricas en diferentes escenarios de BMP.</p> <p>Los resultados del modelo SWAT muestran que la reducción de fertilizantes y riego (FIR) y la aplicación de franjas de filtro con vegetación (VFS) son efectivas en la reducción de TN y TP, respectivamente. La combinación de BMP tiene el potencial de disminuir hasta el 60% de las concentraciones de TN y TP en un lago en un período de 8 años. Sin embargo, las BMP pueden tener un impacto limitado en las huellas hídricas de las producciones agrícolas, ya que la GWF promedio representa solo el 4,2% de la huella hídrica total en la cuenca estudiada.</p>	Artículo	Jamshidi, S., Imani, S., Delavar, M.
---	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	---------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	--------------------------------------

10	(Assessing the sustainability in water use at the basin scale through water footprint indicators) Evaluación de la sostenibilidad en el uso del agua a escala de cuenca a través de indicadores de huella hídrica	SWAT & Water Footprint Network	Huella hídrica verde, gris y azul	<p>Este estudio tuvo como objetivo evaluar la sostenibilidad del uso del agua a escala de cuenca mediante el análisis de la huella hídrica (HH). Para esto, se integró la metodología propuesta por Water Footprint Network con un modelo hidrológico y de calidad del agua, junto con datos de monitoreo en la corriente, en la cuenca del Canale D'Aiedda, ubicada en el sureste de Italia.</p> <p>Se utilizó la Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua para estimar la escorrentía, la evapotranspiración y los nutrientes presentes en la escorrentía. Para evaluar la incertidumbre de la huella hídrica relacionada con la variabilidad en los datos de entrada y el nivel de fondo natural desconocido de los nutrientes en las aguas superficiales, se aplicó una técnica de arranque junto con simulaciones de Monte Carlo.</p>	Articulo	D'Ambrosio, E., Gentile, F., De Girolamo, A.M.
11	(Improving grey water footprint assessment: Accounting for uncertainty) Mejora de la evaluación de la huella de agua gris: Contabilización de la incertidumbre	SWAT	Huella Hídrica gris	<p>este estudio se centró en estimar la huella hídrica gris (GWF) y su incertidumbre en la producción de trigo duro a nivel de cuenca. Se destacó la importancia de considerar la contaminación del agua y la necesidad de realizar más análisis para evaluar la sostenibilidad ambiental en la producción agrícola.</p> <p>se evaluó la huella hídrica gris (GWF) en la producción de trigo duro a nivel de</p>	Articulo	De Girolamo, A.M., Miscioscia, P., Politi, T., Barca, E.

cuenca. La GWF representa la cantidad de agua dulce necesaria para diluir los contaminantes y cumplir con los estándares de calidad del agua. El objetivo principal fue estimar el GWF y su nivel de incertidumbre en la cuenca del río Mannu, ubicada en Cerdeña, Italia.

Se utilizó la Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua para evaluar la fracción de nutrientes que fluyen hacia el río y las aguas subterráneas. Este modelo se calibró utilizando datos de monitoreo en el río. Para estimar la incertidumbre del GWF, se aplicó una técnica de arranque junto con simulaciones de Monte Carlo, considerando la variabilidad de los datos de entrada primarios y el nivel de fondo natural desconocido de nutrientes en el agua.

12	(Comprehensive Assessment of Water Footprints and Water Scarcity Pressure for Main Crops in Shandong Province, China) Evaluación integral de la huella hídrica y la presión de escasez de agua para los principales cultivos en la provincia de Shandong, China	CROPWAT 8.0 & SIG	Huella hídrica azul, verde & gris	En este estudio se calculó la huella hídrica verde, azul y gris de los cultivos de trigo, maíz, algodón y maní en la provincia de Shandong, China, desde 1989 hasta 2016. Utilizando datos meteorológicos, agrícolas y tecnología GIS, se analizaron las variaciones espaciales y temporales de las huellas hídricas de los cultivos, así como la evaluación del estrés hídrico en la agricultura.	Artículo	Fu, Mengran Guo, Bin Wang, Weijiao Wang, Juan Zhao, Lihua Wang, Jianlin
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	-----------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	----------------------------------------------------------------------------------------

Los resultados mostraron que las huellas hídricas promedio por unidad de producción fueron de 1,09 m³/kg, 1,24 m³/kg, 7,29 m³/kg y 1,75 m³/kg para trigo, maíz, algodón y maní, respectivamente, en la provincia de Shandong. Se calculó una gran cantidad de huella hídrica total promedio para los cuatro cultivos, siendo de $420,59 \times 108$ m³/año para trigo, $222,16 \times 108$ m³/año para maíz, $72,70 \times 108$ m³/año para algodón y $50,07 \times 108$ m³/año para maní. La huella hídrica total promedio de los cuatro cultivos fue de $765,52 \times 108$ m³/año, con un 29,98% correspondiente a la huella hídrica azul, y mostró una tendencia decreciente a lo largo del tiempo.

Se observó que la huella hídrica total del trigo fue la más alta entre los cuatro cultivos, aunque también mostró una disminución durante el período estudiado. El maíz ocupó el segundo lugar y fue el único cultivo que mostró un aumento rápido en su huella hídrica. Se identificaron cambios espaciales y temporales en las huellas hídricas de los cultivos, especialmente en relación con los años de lluvia.

Se concluyó que muchas regiones en la provincia de Shandong enfrentaban la amenaza de la escasez de agua en la

				producción agrícola. Por lo tanto, se recomendó implementar una planificación científica en la estructura de cultivos y un control racional de las áreas sembradas con cultivos de alta huella hídrica en regiones con escasez severa de agua. Estas medidas contribuirían al desarrollo sostenible de la agricultura y a la utilización eficiente de los recursos hídricos.	
13	(Water Footprint of Wheat in Iraq) Huella hídrica del trigo en Irak	CROPWAT & CLIMWAT	Huella hídrica azul	La huella hídrica (HH) es un indicador del uso directo e indirecto de agua dulce. Con respecto a facilitar los procesos de toma de decisiones, WF brinda una excelente perspectiva sobre cómo y dónde se usa el agua dulce en la cadena de suministro. Más de 39 millones de personas viven en Irak y, con una población en crecimiento, hay escasez de agua y una creciente demanda de alimentos que no se podrá satisfacer en el futuro. En este estudio, se estima la HH de la producción de trigo para el año 2016-2017 para 15 provincias iraquíes. La WF se calculó utilizando el método de Mekonnen y Hoekstra (2011) y la opción de requerimiento de agua del cultivo de los softwares CROPWAT y CLIMWAT. Se encontró que la WF en m ³ /tonelada fue de 1876 m ³ /tonelada. Las 15 provincias mostraron variaciones en los HH, lo que puede atribuirse a la diferencia en el clima y los valores de producción. La HH de trigo más alta se	Artículo Ewaid, S.H., Abed, S.A., Al-Ansari, N.

				<p>encontró en la provincia de Nínive, seguida de Muthanna, Anbar y Basora. Las últimas tres provincias producen poco y tienen una alta HH por lo que en estas provincias se puede sustituir el trigo por cultivos que necesitan menos agua y dan más beneficio económico. Existe la oportunidad de reducir la HH verde aumentando la producción de las 4 provincias de secano, lo que reducirá la necesidad de producción de las provincias de riego y, por lo tanto, reducirá el uso de agua azul.</p>	
14	(Water footprint of crop production in Tehran province) Huella hídrica de la producción agrícola en la provincia de Teherán	CROPWAT	Huella hídrica azul	<p>En este estudio se estima la huella hídrica (HH) de la producción de trigo en 15 provincias de Irak para el período 2016-2017. Se utilizó el método de Mekonnen y Hoekstra junto con los softwares CROPWAT y CLIMWAT para calcular la WF. Se encontró que la HH promedio por tonelada de trigo fue de 1876 m³/tonelada.</p> <p>Se observaron variaciones en las HH entre las provincias, debido a las diferencias en el clima y los valores de producción. La provincia de Nínive presentó la HH más alta, seguida de Muthanna, Anbar y Basora. Estas últimas provincias producen una cantidad baja de trigo, pero tienen una alta HH. Por lo tanto, se sugiere que se reemplace el cultivo de trigo en estas provincias por otros cultivos que requieran menos agua</p>	<p>Artículo</p> <p>Kalvani, S.R., Sharaai, A.H., Manaf, L.A., Hamidian, A.H.</p>

			<p>y brinden mayores beneficios económicos. Además, se señala la oportunidad de reducir la HH verde aumentando la producción en las cuatro provincias que dependen principalmente de la lluvia y no requieren riego. Esto reduciría la necesidad de producción en las provincias que dependen del riego y, en consecuencia, disminuiría el uso de agua azul.</p>			
15	<p>(Assessing ground and surface water scarcity indices using ground and surface water footprints in the Tehran province of Iran) Evaluación de los índices de escasez de agua subterránea y superficial utilizando huellas de agua subterránea y superficial en la provincia de Teherán en Irán</p>	SIG	<p>Huella hídrica azul & verde</p>	<p>En esta investigación se analiza la tendencia de la huella hídrica (HH) de la producción de cultivos en Teherán durante el período 2008-2015 y se evalúa la escasez de agua azul en el sector agrícola. Se utiliza el método Water Footprint (WF) para evaluar el consumo de agua en la producción de cultivos, y se aplica el modelo CROPWAT para estimar la evapotranspiración.</p> <p>Los resultados muestran que los cultivos de pistacho, algodón, nuez, almendra y trigo tienen una alta HH, que varía desde 1,817 m³/kg hasta 11,111 m³/kg. Esto indica que estos cultivos requieren una gran cantidad de agua dulce para su producción.</p> <p>Para abordar este problema, se sugiere que Teherán tome medidas para reducir la escasez de agua en la agricultura, especialmente mediante la reducción de la huella hídrica del sector agrícola. Esto</p>	<p>Artículo</p>	<p>Rezaei Kalvani, S., Sharaai, A., Manaf, L., Hamidian, A.</p>

puede implicar la implementación de prácticas agrícolas más eficientes en el uso del agua y la promoción de cultivos que requieran menos agua.

Estos hallazgos destacan la importancia de evaluar la cadena de suministro del consumo de agua en la agricultura para abordar la escasez de agua y fomentar un uso más sostenible de los recursos hídricos en la región de Teherán.

16	<p>(Assessment of Potential Climate Change Effects on the Rice Yield and Water Footprint in the Nanliujiang Catchment, China) Evaluación de los posibles efectos del cambio climático en el rendimiento del arroz y la huella hídrica en la cuenca de captación de Nanliujiang, China</p>	SWAT	<p>Huella Hidráulica azul & verde</p>	<p>En esta investigación se analiza la cuenca de Nanliujiang en el sur de China, que es una importante región productora de arroz. Se utiliza el modelo SWAT para evaluar el rendimiento y la huella hídrica del arroz en esta cuenca, centrándose en los distritos de riego. Se validan las simulaciones con datos observados de índice de área foliar, biomasa, rendimiento de arroz, evapotranspiración y escorrentía. Los resultados de tres modelos climáticos globales (GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR y HadGEM2-ES) bajo tres escenarios de concentración representativa de emisiones (RCP2.6, 4.5, 8.5) se utilizan en el modelo SWAT.</p> <p>Los hallazgos principales son los siguientes:</p>	Artículo	<p>Yang, M., Xiao, W., Zhao, Y., ...Hou, B., Li, B.</p>
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	---------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	---------------------------------------------------------

(a) El modelo SWAT es adecuado para simular el desarrollo del arroz y la hidrología en la cuenca.

(b) Según las proyecciones climáticas, se espera un aumento en el rendimiento del arroz que varía entre +1,4% y +10,6% utilizando los modelos GFDL-ESM2M e IPSL-CM5A-LR, mientras que el modelo HadGEM2-ES muestra ligeras disminuciones entre -3,5% y -0,8%.

(c) El rendimiento y la huella hídrica del arroz presentan diferencias significativas en la cuenca, con rendimientos más altos en el sur y más bajos en el norte, debido a variaciones en las condiciones climáticas, calidad del suelo y fertilización.

(d) Se prevé una disminución del 45,5% en la huella hídrica azul y un aumento del 88,1% en la huella hídrica verde, lo cual podría permitir expandir las áreas de riego y adoptar medidas para mejorar la eficiencia en el uso del agua de riego.

(e) El aumento proyectado en la huella hídrica gris plantea desafíos significativos para la protección de los recursos hídricos y el control de la contaminación ambiental en la cuenca. Se requieren estrategias de manejo de nutrientes para abordar la contaminación

agrícola difusa en los distritos de riego, especialmente en los distritos de Hongchaojiang y Hepu.

Estos resultados resaltan la importancia de considerar el cambio climático, el uso del agua de riego y el control de la contaminación en la producción de arroz en la cuenca de Nanliujiang, y sugieren la necesidad de implementar medidas de gestión para mejorar la sostenibilidad del sector agrícola en esta región.

17	(Water security assessment using blue and green water footprint concepts) Evaluación de la seguridad del agua utilizando conceptos de huella hídrica azul y verde	SWAT	Huella hídrica azul & verde	En este estudio, se desarrolló un marco de modelado integrado para evaluar cuantitativamente la seguridad hídrica en una cuenca fluvial. El marco utiliza el concepto de huellas hídricas azules y verdes y considera factores climáticos y antropogénicos. El modelo SWAT se utilizó para cuantificar la disponibilidad de agua dulce (agua azul y agua verde) en la cuenca del río Savannah en Estados Unidos.	Artículo	Veetil, Anoop Valiya Mishra, Ashok K.
				El estudio muestra que los condados ubicados en la parte superior de la cuenca presentan una mayor cantidad de agua azul, mientras que aquellos con agricultura intensiva y grandes masas de agua, como embalses, tienen un mayor flujo de agua verde. Se observó un lapso entre la precipitación máxima en los meses de junio a septiembre y la máxima		

disponibilidad de agua azul entre diciembre y marzo.

Además, se incorporaron factores antropogénicos, como la demanda de agua y el Requerimiento de Caudal Ambiental (EFR), para cuantificar la seguridad hídrica en términos de índices de escasez y vulnerabilidad. La evaluación mensual del flujo de agua azul y verde también se analizó para los condados dentro de la cuenca.

El objetivo de este marco de modelado es proporcionar una visión general de la seguridad hídrica en la cuenca e identificar puntos críticos de estrés hídrico. La evaluación de la seguridad del agua puede ayudar a comprender los impactos de la extracción de agua para actividades humanas, como riego, uso industrial, producción de energía y uso doméstico, en los ecosistemas de la cuenca. En resumen, este estudio demuestra cómo la evaluación cuantitativa de la seguridad hídrica utilizando huellas hídricas azules y verdes puede mejorar la gestión de los recursos hídricos a nivel local y regional, proporcionando información útil para la identificación de puntos críticos y la toma de decisiones en la cuenca fluvial analizada.

18	(Downscaling the grey water footprints of production and consumption) Reducción de la huella hídrica gris de la producción y el consumo	SIG	Huella hídrica gris	<p>En este trabajo, se reconoce que las políticas y estrategias económicas y ambientales tienen impactos ambientales localizados, especialmente en relación con los recursos hídricos, la contaminación del agua y el estrés hídrico. El estudio se centra en las interacciones entre las 17 regiones de España, la Unión Europea y el Resto del Mundo, y examina los efectos locales de estas interacciones.</p>	Artículo	Cazcarro, I., Duarte, R., Sánchez-Chóliz, J.
				<p>Se analiza la huella hídrica gris, que mide la capacidad de asimilación de los recursos hídricos, tanto a nivel regional como empresarial. Se utiliza información espacialmente explícita para calcular las huellas hídricas grises de la producción, incluyendo la agricultura (contaminación difusa) y otras actividades económicas (contaminación de fuente puntual). Además, se considera la extensión de estas huellas a lo largo de la cadena de suministro y se computan las huellas hídricas del consumo a nivel regional.</p>		
				<p>El estudio utiliza un modelo de entrada-salida multirregional que abarca las 17 regiones españolas, la UE y el Resto del Mundo. Se identifican puntos críticos y áreas vulnerables, relacionando las huellas de agua gris de la producción en estas áreas con las responsabilidades del consumidor final.</p>		

Se evalúan los efectos de escenarios de sustitución de importaciones en España como ejemplo de la metodología combinada utilizada. Los resultados muestran una fuerte demanda final en regiones como Madrid y Cataluña, así como en regiones exportadoras netas como Andalucía, Aragón, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Navarra. Algunas de estas regiones presentan áreas claramente vulnerables a los nitratos y otros contaminantes, y también sufren estrés hídrico, lo que plantea dudas sobre la sostenibilidad de las relaciones entre la estructura productiva y comercial y el medio ambiente.

En resumen, este trabajo destaca la necesidad de considerar los impactos ambientales a nivel localizado y proporciona una metodología combinada para evaluar la huella hídrica gris y sus efectos en diferentes regiones y a lo largo de la cadena de suministro. Estos hallazgos pueden ayudar a cuestionar la sostenibilidad de las actividades productivas y comerciales en relación con el medio ambiente y promover una toma de decisiones más informada.

19	¿Cómo puede afectar el proceso de evapotranspiración a la	CROPWAT	En este estudio, se evaluaron diferentes escenarios en el Valle de Chania en Creta, una región con escasez de agua,	Artículo	Charchousi, D., Tsoukala, V.K., Papadopoulou, M.P.
----	-----------------------------------------------------------	---------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	----------------------------------------------------

estimación del
indicador de huella
hídrica en la
agricultura?

para determinar el impacto del consumo de agua y las condiciones hidrológicas en la huella hídrica agrícola. Se enfocaron en la huella hídrica verde, que considera la evapotranspiración total del agua de lluvia y el agua incorporada en los cultivos.

Se aplicaron diferentes métodos para calcular la evapotranspiración y la precipitación efectiva, con el objetivo de determinar si la elección del método afecta la estimación de la huella hídrica agrícola y las decisiones relacionadas con la gestión del agua de riego.

La huella hídrica se demostró como una herramienta útil para determinar la cantidad y el tipo de uso de agua por tonelada de producto agrícola, lo que permite evaluar la eficiencia del uso del agua en la agricultura. Se encontró que la clasificación de los cultivos en términos de consumo de agua puede variar ligeramente según el método utilizado para calcular los parámetros de la huella hídrica.

El método más preciso para calcular la evapotranspiración resultó ser la evapotranspiración real, que tiene en cuenta la frecuencia y cantidad de riego, así como la humedad del suelo utilizada por los cultivos.

A pesar de las variaciones entre los diferentes métodos utilizados para calcular la evapotranspiración, se concluyó que estas diferencias no alteran significativamente las decisiones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos de la región y la planificación de la reestructuración de los cultivos a nivel político.

En resumen, la huella hídrica se mostró como una herramienta valiosa para evaluar el uso del agua en la agricultura. Aunque la elección del método de cálculo puede afectar ligeramente la clasificación de los cultivos en términos de consumo de agua, las variaciones entre los métodos no tienen un impacto significativo en las decisiones de gestión del agua a nivel regional y político.

20	(Managing the Water Footprint of Irrigated Food Production in England and Wales) Gestión de la huella hídrica de la producción de alimentos de regadío en Inglaterra y Gales	SIG	Huella hídrica azul & verde	<p>En este capítulo se examina el concepto de huella hídrica en relación con la producción de alimentos de regadío en Inglaterra y Gales, así como las oportunidades para reducir su impacto ambiental. Se divide en tres partes principales.</p> <p>En la primera parte, se aborda la definición de huella hídrica y se establece su diferencia con la huella de carbono. Se explora la distinción entre los diferentes tipos de agua, como el agua "azul"</p>	Documento de conferencia	Hess, Tim Knox, Jerry Kay, Melvyn Weatherhead, Keith
----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----	-----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------	---------------------------------------------------------------

(extraída de fuentes superficiales y subterráneas) y el agua "verde" (agua de lluvia almacenada en el suelo y utilizada por los cultivos). También se destacan los desafíos asociados con la interpretación de los datos de huella hídrica.

La segunda parte revisa el estado actual y las tendencias en la agricultura de regadío, incluyendo los volúmenes de agua extraídos y las fuentes de agua utilizadas. Se utiliza un sistema de información geográfica (SIG) para combinar datos sobre las extracciones de riego con información sobre la disponibilidad de recursos hídricos. Esto permite identificar cuencas donde la producción agrícola de regadío puede tener un impacto ambiental significativo.

La parte final del capítulo evalúa las opciones para una mejor gestión del agua en la agricultura de regadío, tanto a nivel de la explotación agrícola como desde la perspectiva de la captación de agua. En la explotación agrícola, se discuten medidas como una gestión más eficiente y la adopción de tecnologías que mejoren la uniformidad del riego y la eficiencia del agua. En cuanto a la captación de agua, se consideran medidas de regulación, como limitar las extracciones en cuencas con daños ambientales conocidos, utilizar el comercio de agua

para asignar el agua a usos agrícolas de mayor valor y ajustar el momento de las extracciones para fomentar el almacenamiento en embalses durante el invierno.

El capítulo concluye con una discusión sobre las implicaciones de depender cada vez más de los mercados extranjeros para el suministro de alimentos y las consecuencias para la sostenibilidad ambiental y el empleo rural en el sector agrícola en general. En resumen, el capítulo examina la huella hídrica en la producción de alimentos de regadío en Inglaterra y Gales, destacando la importancia de gestionar el agua de manera eficiente y sostenible tanto a nivel de explotación agrícola como a nivel de políticas de captación de agua.

Google Académico

21	Evaluación de la Huella Hídrica del Sector Bananero en la República Dominicana	GAWFC	Huella hídrica azul y verde	El objetivo del presente estudio consiste en aplicar la metodología de Evaluación de Huella Hídrica al sector bananero en República Dominicana con el fin de proponer estrategias de respuesta dirigidas a un uso más sostenible del agua en la región, a un aumento de la productividad y la competitividad, y a una reducción de la huella hídrica y sus impactos en las cuencas de interés, lo	Artículo	Victor Prada, Dr. Mesfin Mekonnen
----	--------------------------------------------------------------------------------	-------	-----------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	-----------------------------------

cual en últimas redunda en una mejor calidad de vida para los productores dominicanos. Esto se hace dentro del marco del programa especial BAM, “Medidas de Acompañamiento del Banano”, está dirigido a los 10 principales países productores de banano del grupo de países ACP, con el apoyo de la Unión Europea.

Apéndices b. Mapa de ruta tecnológico

6. Áreas Prioritarias de Investigación y Desarrollo I+D

Investigación de materias primas adecuadas para la aplicación del cálculo de la huella hídrica	Lenguaje de programación JAVA, JavaScript, Disco compacto y HTML , Visual studio code, plantillas de códigos de programación, hosting.
Investigación de sistemas de captura de información:	Base de datos hidrológicas, datos climatológicos, tecnologías de teledetección (sensores remotos) y monitoreo en tiempo real, metodologías de cálculo por medio del uso del modelo, algoritmos de cálculo eficientes con mayor precisión para la realización de la huella hídrica verde, azul y gris y factores como tipo de cultivo para mejor aprovechamiento de la demanda hídrica.
Investigación de sistemas de almacenamiento:	<p>Para el uso básico en computadora/portátil se recomienda una capacidad de almacenamiento desde 4-8GB hasta 16GB y procesamiento de datos robusta y escala para manejar grandes cantidades de información y proporcionar resultados eficientes y rápidos. (Kingston, 2024)</p> <p>Para el uso de un teléfono móvil se recomienda una capacidad de almacenamiento desde 64 GB hasta 256 GB. (Dergarabedian, Cesar, 2024)</p>
Investigación de sistemas de privacidad:	Tanto en computadoras como en teléfonos móviles o cualquier dispositivo digital, se incorpora medidas de seguridad y privacidad (NTC ISO/IEC 27001) para proteger la integridad de los datos de los usuarios y garantizar un buen cumplimiento de la regulación de protección de la información de datos. (ICONTEC, 2022)

Investigación de modelos económicos y de negocio	Se implementaría un modelo de mercado: Planificar la capacidad de actualizaciones y mantenimiento continuo, se implementarán anuncios (Google Ads) con el fin de obtener los recursos financieros necesarios para financiar el desarrollo de las actualizaciones para asegurar que la aplicación este siempre utilizada con las ultimas metodologías y datos.
---------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7. Identificación de tecnologías clave y/o rutas para la implementación del cálculo de la huella hídrica

Tecnología	Margen de error de datos calculados (nivel de efectividad)	Costo	Interfaz (amigable, rápida)
1 PÁGINA WEB	La página web se desarrolla mediante códigos comprobables, bien diseñados, eficiente y ser compatibles con todos los navegadores. Sin embargo, no se podrá realizar las actividades en caso de problemas de conectividad. Si llegado caso se presenta algún error de códigos de programación se pueden corregir rápidamente en el servidor sin necesidad de que el usuario descargue nada. (Samantha, 2021).	Una página web básica-personal, puede costar entre \$300.000 y \$1.000.000 de pesos colombianos. Las intermedias con especificaciones, generalmente para negocios, pueden tener un precio entre \$1.000.000 y \$3.000.000 de pesos colombianos. Por otro lado, las páginas avanzadas o personalizadas pueden costar entre \$3.000.000 y \$10.000.000. (GoDaddy, 2024).	El diseño personalizado implica mayores costos a comparación con las plantillas prediseñadas. Los costos de mantenimiento y actualizaciones de seguridad deben funcionar y tener características como foros de discusión, también incrementa el precio porque aumenta la complejidad de la web. La cantidad de páginas que tendrá el sitio web afecta directamente a su costo de desarrollo. Una web One-Page siempre será más económica que un portal web. También es necesario implementar estrategias de SEO para mejorar la visibilidad de la web en motores de búsqueda. Es necesario garantizar que la web sea accesible y funcional en dispositivos móviles, y crear una interfaz amigable, puede conllevar costos adicionales. (GoDaddy, 2024)

2 APP	<p>En el desarrollo de aplicación para aplicar corrección de errores requiere de mayor tiempo y de mantenimiento, lo cual llega a ser más costoso (AWS, 2024).</p> <p>Las apps requieren de actualizaciones y requieren de espacio de almacenamiento amplia. Por lo tanto, pueden disminuir el rendimiento del equipo. (RECURSOSTICS, 2024)</p>	<p>En Colombia el costo varía dependiendo a los requerimientos, una App básica esta entre 20'000.000 y 50'000.000 COP, Moderada está entre 50'000.000 y 120'000.000 COP y compleja entre 120'000.000 COP y 250'000.000 COP. (ColombiaGames, 2021)</p>	<p>el diseño de la aplicación debe construirse de acuerdo con las secciones. También los iconos, considerar el tamaño y la resolución de imagen, el aspecto hace toda la diferencia para una navegación clara y rápida. De igual forma el cuadro de búsqueda es una sección que facilita rápidamente al usuario,</p> <p>La interfaz de programación de aplicaciones, conocida como API, son para un software sirve para definir los sistemas operativos OIS y Android. (Rankymyapp, 2021)</p>
3 SOFTWARE DE ORDENADOR	<p>Produce código limpio y eficiente basado en especificaciones. No es necesario el uso de internet, no requiere de actualizaciones automáticas. Compatible únicamente con computadora/portátil (Samantha, 2021)</p>	<p>El costo del desarrollo de software personalizado varía, pero podría comenzar en \$123,000,000 millones. (POR:INVID, 2020)</p>	<p>El software contribuye a la automatización de tareas y procesos, incrementando la eficiencia y minimizando de los errores.</p> <p>La conexión a la red es la principal diferencia. Una vez instalado el software, ya no es necesario volver a tener una conexión a internet comparado a la página web y aplicaciones móviles, por lo tanto, el software es la mejor opción cuando el usuario se dispone a estar de viaje o en lugares con poca conectividad. (Samantha, 2021)</p>

8. Evaluación Tecnológica & Mercado de las Rutas Planteadas para futuras investigaciones

En esta sección hace referencia a un estudio de mercado analizado, el cual se toma como base para contextualizar el análisis presente. No obstante, dado que el objetivo de este trabajo no es profundizar en dicho estudio, se asume como una referencia secundaria, sin embargo, este enfoque podría constituir una valiosa línea de investigación para futuros estudios.

Página web Estudio de Mercado a largo plazo : El desarrollo de creación de una página web es una de las formas más rentables para impulsar un negocio (Miguel Gomez, 2018). La presencia online ayuda a desarrollar una imagen en el mercado digital al cual puede favorecer en atraer más público. (maratum, 2022)

Más del 63% de la población mundial usa Internet, con 171 millones de nuevos usuarios en los últimos 12 meses. (eMarketServices, 2022)

Análisis de la Competencia: De acuerdo con las investigaciones previas, las páginas web “water Footprint Calculator” y “Extended Water Footprint Calculator” estas herramientas brindan un enfoque sobre la huella hídrica personal y extendida lo cual no enfocan sobre huella hídrica agrícola. Sería adecuado implementar o combinar datos con metodologías especializadas en el sector agrícola. Además, estas herramientas implementan un uso sencillo al momento de aplicarlo e información previa en varias secciones sobre la huella hídrica personal y extendida.

Evaluación de la Propiedad Intelectual:

La página web ofrece recomendaciones personalizadas basadas en los hábitos de navegación del usuario o historial de compras, esto puede ser una ventaja competitiva, la página web ofrece contenido propio. La página web puede asegurar exclusividad de la plataforma y evitando su uso indebido. Además, con el registro adecuado, puede convertirse en un recurso valioso con potencial de licenciamiento o comercialización.

Observaciones Financieras:

Si la página web tiene el potencial de generar ingresos directos se evalúa el modelo de negocio y la viabilidad financiera Por medio de anuncios ya que esto va dirigido a la población rural y ellos puedan ingresar de manera gratuita. Es recomendable el uso de un portátil o computador de mesa superando los 800,000 pesos colombianos. (GoDaddy, 2024)

Análisis de Riesgos Ambiental: la finalización del ciclo de vida del dispositivo electrónico como el teléfono contienen metales y compuestos orgánicos tóxicos como el plomo, mercurio, cadmi y cromo. (Escobar, 2024)

Análisis de Tecnología: (que se requiere ejemplo algún computador o portátil con procesador alto) el usuario debe obtener un procesador de al menos 106 GHz y 4 GB De RAM para cargar una página web básica si no cumple esas características el navegador no podrá fluir y la capacidad de manejar varias pestañas del navegador al mismo tiempo además es recomendable un espacio de almacenamiento suficiente para guardar archivos descargados y otros datos, una tarjeta de red para una conexión a internet por cable, tarjeta Ethernet , si la conexión es inalámbrica se requiere una tarjeta de red inalámbrica Wifi. (HZ Hardzone, 2024)

APP	<p data-bbox="367 185 1892 267">Estudio de Mercado: Los colombianos prefieren las aplicaciones móviles con un 84.5 por ciento que canales web, presentando un aumento del 5 por ciento en 2022 con respecto a 2021 y más del 10 por ciento que la referencia global (ElTiempo, 2023)</p> <p data-bbox="367 276 1892 454">La aplicación comprende una demanda potencial debido a la identificación del público objetivo lo cual por medio de investigaciones cálculos y datos se puede cumplir las necesidades que determina el cálculo de la huella hídrica en sus cultivos y a su vez no es algo que se haya implementado antes en Santander y así ayudar a diseñar una aplicación relevante y exitosa que aborde los desafíos específicos de la región en relación con su uso responsable del agua y realizar recomendaciones concluidas de sus resultado. (ElTiempo, 2023)</p> <hr/> <p data-bbox="367 462 1892 544">Análisis de la Competencia: Water Footprint, es una aplicación móvil diseñada para evaluar, analizar y mitigar la huella hídrica tanto de manera individual como grupal, permite evaluar aspectos de la vida cotidiana como el consumo doméstico. (GooglePlay- GCRS, 2024)</p> <hr/> <p data-bbox="367 552 1892 730">Observaciones Financieras: para almacenar datos y contenidos evaluar los costos asociados de estos servicios incluyendo costos de mantenimientos se requiere servidor web y costos de desarrollo, ciclo de vida de la aplicación y mejorar para mantener relevante y competitiva en el mercado y concluir si es posible evaluar las opciones de monetización como publicidad. Es recomendable el uso de un celular superando los 600,000 pesos colombianos. (ColombiaGames, 2021)</p> <hr/> <p data-bbox="367 747 1892 876">Análisis de Riesgos Ambiental: Los teléfonos móviles al terminar su ciclo de vida estas contienen alrededor de 40 materiales tóxicos para el ambiente, la falta de conectividad a internet en las áreas donde operan los agricultores puede ser un riesgo al no tener una cobertura que implique el envío de información. Las aplicaciones no son ilimitadas en cuanto a su almacenamiento. (Portaltic, 2019)</p> <hr/> <p data-bbox="367 885 1892 1112">Análisis de la Tecnología: se debe considerar la facilidad de uso y la adaptabilidad de la aplicación para que sea accesible para agricultores y puedan utilizar la herramienta de manera efectiva y sin dificultades. Es recomendable características de un sistema operativo compatible con la aplicación la mayoría de estas disponibles tanto Android como iOS, capacidad de conexión a internet ya sea mediante wifi o datos móviles (4G/LTE) almacenamiento interno de 180 o 256 GB, una resolución que facilite la visualización clara de la información, buen procesador y suficiente memoria RAM, resistencia y GPS. (IFP, 2017)</p>
Software	<p data-bbox="367 1120 1892 1250">Estudio de Mercado: En 2019, Colombia se posicionó como el cuarto mercado de TI (tecnologías de información) más grande en Latinoamérica superando a Brasil, México y Chile, El mercado de software y servicios TI en el país superó en 2019 los USD 8,2 mil millones (La Nota Economica, 2020)</p> <hr/> <p data-bbox="367 1258 1892 1339">Análisis de la Competencia: CROPWAT & SWAT son aplicaciones de software fuertes en el mercado para calcular la huella hídrica. CROPWAT indicada para gestionar y planificar el riego a nivel de cultivo, ofreciendo una solución directa y menos compleja, sin embargo, en</p>

SWAT se centra en la gestión de cuencas, permitiendo evaluar el impacto de diferentes prácticas de manejo en la dinámica hídrica y la calidad del agua.

Evaluación de la Propiedad Intelectual: la protección de la app permite competir en el mercado con una ventaja legal y comercial. Además, con el registro adecuado, pueden licenciar la tecnología o venderla a empresas interesadas o instituciones.

Análisis de Riesgo Ambiental: puede ocurrir una baja probabilidad de error, pero podría pasar por errores de programación, deficiencia de diseño del sistema y errores de lógica, incompatibilidades, entre otros ya que manejar grandes volúmenes de datos y un número creciente de usuarios puede disminuir su rendimiento (MSMK, 2024).

Análisis de la Tecnología: es necesario disponer un computador /portátil que requiera de una CPU de al menos 2.2 GHz recomendado un 4 cores o superior, mínimo un procesador Intel Pentium 4, Intel Core Duo, or Xeon Processors sería recomendado un i3, i5, o superior , un mínimo de almacenamiento de 128GB SSD y recomendado de 256GB SSD + HDD, una RAM de 2GB y recomendado de 8GB o superior, un mínimo de Pantalla de 24-bit color Depth o superior, recomendada una resolución de pantalla 1024×768 o superior y una tarjeta gráfica de 256 MB RAM (ArcGeek, 2020).

5. Identificación de Brechas Tecnológicas para la Implementación de estas Tecnologías. (App, página web y software)

Selección de lenguaje tecnológica viable y de calidad.	La selección de herramientas tecnológicas viables y de calidad varía según el tipo de desarrollo. Para aplicaciones móviles, opciones como Flutter (Google) y React Native (Meta) permiten crear apps multiplataforma, mientras que Swift (iOS) y Kotlin (Android) son ideales para desarrollos nativos. En el caso de páginas web, React.js, Vue.js y Angular son frameworks populares para el frontend, mientras que en el backend se utilizan Node.js, Django (Python) y Spring Boot (Java). Para bases de datos, PostgreSQL y MySQL son opciones relacionales eficientes, mientras que MongoDB es ideal para estructuras NoSQL. En almacenamiento y servidores, soluciones en la nube como AWS, Google Cloud y Microsoft Azure ofrecen escalabilidad y seguridad. Para diseño y prototipado, herramientas como Figma, Adobe XD y Sketch facilitan la creación de interfaces intuitivas. Finalmente, en control de versiones y desarrollo colaborativo, GitHub, GitLab y Bitbucket son esenciales. La elección depende del presupuesto, la complejidad del proyecto y la compatibilidad con otras tecnologías. (Vergara, 2025)
Diseño de la herramienta	El diseño de la estructura del sitio web se implementa por medio de códigos HTML, que permitirán definir la disposición de los elementos en el sitio. Para garantizar un desarrollo eficiente y ordenado, se implementa el entorno de desarrollo Visual studio code,

el cual facilita la escritura, edición y depuración del código, ofreciendo herramientas avanzadas que mejoran la productividad y aseguran la coherencia en la programación. (rootstack, 2022)

Monitoreo y control: El monitoreo y control en aplicaciones, páginas web y software garantiza un sistema operativo óptimo, seguridad y rendimiento a lo largo del tiempo. Esto implica el uso de herramientas de seguimiento como Google Analytics, Firebase, Datadog o New Relic para analizar métricas clave, detectar errores y mejorar la experiencia del usuario. Además, se implementan sistemas de control como pruebas automatizadas, monitoreo de servidores y actualizaciones constantes para prevenir fallos y vulnerabilidades. Un monitoreo eficiente permite optimizar recursos, mejorar la toma de decisiones y garantizar la estabilidad y confiabilidad del sistema.

Equipamiento y tecnologías adecuadas: Para la creación de una aplicación, página web o software, es fundamental contar con un equipo con buen procesador, suficiente memoria RAM y almacenamiento SSD, además de una conexión a internet estable y servidores adecuados, ya sean físicos o en la nube como AWS, Google Cloud o Azure. En cuanto a tecnologías, los lenguajes varían según el desarrollo: Swift y Kotlin para apps móviles, HTML, CSS y JavaScript para páginas web, y Python, Java o C# para software en general. Frameworks como React, Angular o Django agilizan el proceso, mientras que bases de datos como MySQL, PostgreSQL o MongoDB garantizan un buen manejo de la información. El uso de IDEs como Visual studio code o android studio, junto con herramientas de control de versiones como GitHub, facilita la programación y el trabajo colaborativo. Además, es crucial implementar medidas de seguridad como cifrado de datos y autenticación robusta, así como optimizar el código y tiempos de carga con CDN. La correcta elección de estas tecnologías impactará directamente en la eficiencia, escalabilidad y seguridad del producto final. (Vidal, 2023)

Rentabilidad económica:

Página Web: en un periodo de largo plazo puede generar ingresos a través de publicidad local, suscripciones, venta de productos o servicios en línea y promoción de negocios locales. Su costo de mantenimiento es relativamente bajo, lo que la hace una opción accesible y rentable si hay suficiente tráfico.

Aplicación Móvil: Si se enfoca en resolver necesidades específicas del pueblo, como comercio local, servicios comunitarios o turismo, puede monetizarse mediante descargas pagas, compras dentro de la app o financiamiento por parte del municipio o empresas locales.

Software: Dependiendo de su utilidad (por ejemplo, gestión agrícola, administración municipal o educación), puede venderse por licencias o suscripciones. Su desarrollo es más costoso, pero si cubre una necesidad esencial, puede generar ingresos sostenibles.

6. Identificación de Riesgos y Oportunidades Asociados con el Desarrollo y la Implementación de las Tecnologías Identificadas.

Identificación general de los riesgos y oportunidades del uso de herramientas tecnológicas para el cálculo de Huella Hídrica de agricultura por página web, Aplicaciones y software.

Oportunidades:

Educación Ambiental: Ayuda a difundir prácticas sostenibles a gran escala, alcanzando más personas.

Contribución a la Economía Local: La identificación de oportunidades para el aprovechamiento de agua puede abrir nuevos nichos de mercado y oportunidades de negocio en el campo de la sostenibilidad y gestión del agua y reducción de costos en logísticas y gestión. La ausencia de programas de desarrollo ha impedido el progreso económico en el municipio Suratá, lo que ha causado una creciente desintegración entre los productores, el incremento del desempleo y una limitada expansión del sector industrial. **(Alcaldía Suratá, 2014)**

Reducción de Impactos Ambientales negativos: mitiga los problemas de escasez hídrica, sino que también promueve prácticas agrícolas más económicas, sostenibles y alineadas con la protección ambiental como la reutilización de agua residual tratada en actividades agrícolas, disminución del agotamiento de fuentes de agua, reducción de la contaminación del agua, mitigación de la erosión del suelo, disminución de la huella de carbono. **(Correal, 2021).**

Innovación Tecnológica: estas tecnologías facilitan la automatización de tareas complejas, mejoran la eficiencia y personalizan la experiencia del agricultor. Además, la adopción de metodologías ágiles y la automatización de procesos contribuyen a la eficiencia operativa y fomentan la innovación. La integración de estas tecnologías no solo mejora la calidad del software, sino que también impulsa el crecimiento y la competitividad en el sector tecnológico. **(Haiko, 2021)**

Rentabilidad: De acuerdo con los documentos investigados el desarrollo de una página web, una app o un software en los municipios de Suratá, matanza y Charta representa una gran oportunidad para impulsar la economía local, mejorar la comunicación y facilitar el acceso a servicios esenciales. Estas herramientas pueden fortalecer el comercio local al conectar emprendedores con clientes, mejorar la gestión de recursos agrícolas o municipales y brindar acceso a educación y salud a distancia. Además, permiten digitalizar procesos que antes dependían de la presencialidad, optimizando tiempo y costos. Con el respaldo de tecnologías accesibles y modelos de negocio innovadores, estas soluciones pueden generar empleo, fomentar la inclusión digital y atraer inversiones o apoyo gubernamental para el desarrollo sostenible de la comunidad.

Riesgos:

Falta de Datos Precisos: El éxito de estas herramientas depende en gran medida de la calidad y disponibilidad de los datos sobre el consumo de agua y la generación de residuos. La falta de datos precisos podría afectar la exactitud de los resultados. En caso de que los datos sean incompletos, la exactitud de los resultados se verá afectada, lo que podría llevar a errores en la evaluación y el diseño de estrategias sostenibles. Por lo tanto, la recolección y el manejo adecuado de los datos es fundamental para el correcto funcionamiento y utilidad de estas herramientas.

Conectividad limitada: En zonas rurales, la falta de acceso a internet o conexiones inestables pueden afectar el uso eficiente de la herramienta.

Costo de desarrollo y mantenimiento: El desarrollo de software puede ser costoso, y si no se cuenta con un modelo de negocio sostenible, su mantenimiento a largo plazo puede volverse inviable.

Gestión del Usuario: La implementación de herramientas tecnológicas para el cálculo de huella hídrica puede ser compleja y requerir un nuevo reto de aprendizaje para los agricultores, lo que podría limitar su adopción.

7. Planificación Sugerida para el desarrollo de la herramienta

se refiere a una estructura o guía recomendada para organizar y ejecutar el proceso de creación de la herramienta tecnológica, como una página web, aplicación o software. Incluye la definición de objetivos, selección de tecnologías, asignación de recursos, cronograma de implementación y pruebas. Esta planificación busca optimizar tiempos, costos y funcionalidad, asegurando que la herramienta cumpla con su propósito de manera eficiente y accesible.

Planificación a Corto Plazo (1-3 años):

- I. Evaluación de Tecnologías Existentes: Realizar una evaluación exhaustiva de las tecnologías disponibles en el mercado para el cálculo de la huella hídrica en el sector agrícola. Identificar las herramientas más adecuadas y efectivas que se ajusten a las necesidades específicas del proyecto.
 - II. Selección de Herramienta Tecnológica: Tomar una decisión informada y seleccionar la herramienta tecnológica que mejor se adapte a los requisitos del proyecto y que ofrezca funcionalidades para medir y calcular la huella hídrica de manera precisa y eficiente.
 - III. Desarrollo o Adquisición de la Herramienta: Si no existe una herramienta adecuada en el mercado, considerar la posibilidad de desarrollar una aplicación personalizada o adaptar una existente para cumplir con los objetivos del proyecto. En caso de adquisición, asegurarse de contar con las licencias y permisos necesarios.
 - IV. Pruebas Piloto y Validación: Realizar pruebas piloto de la herramienta tecnológica seleccionada para asegurar su funcionalidad y precisión en un entorno controlado. Validar los resultados obtenidos comparándolos con datos reales y evaluando su coherencia.
-

-
- V. Capacitación del Personal: Capacitar al personal involucrado en la utilización de la herramienta tecnológica. Brindar entrenamiento en el manejo adecuado de la aplicación y en la interpretación de los resultados para garantizar un uso efectivo de la herramienta.
 - VI. Implementación en Proyectos Piloto: Aplicar la herramienta tecnológica en proyectos piloto en diferentes regiones o unidades de producción agrícola para obtener datos y resultados más representativos y evaluar su adaptación en diferentes contextos.
 - VII. Monitoreo y Mejora Continua: Establecer un sistema de monitoreo constante para evaluar el desempeño de la herramienta y detectar oportunidades de mejora. Recopilar comentarios y retroalimentación de los usuarios para realizar ajustes y optimizar la aplicación.
 - VIII. Análisis de Resultados y Beneficios: Evaluar los resultados obtenidos a través del uso de la herramienta y medir los beneficios económicos, ambientales y sociales que se han logrado. Comunicar y divulgar los avances y logros alcanzados a lo largo del proceso.
 - IX. Alianzas y Colaboraciones: Buscar alianzas con instituciones académicas, organizaciones gubernamentales y otras empresas del sector para compartir experiencias y conocimientos, así como para ampliar la aplicación de la herramienta a nivel regional o nacional.
 - X. Evaluación de Escalabilidad: Evaluar la viabilidad de escalar el uso de la herramienta tecnológica a más unidades de producción agrícola y considerar la expansión del proyecto a otros sectores industriales o áreas geográficas.
-

Planificación a Mediano Plazo (3-6 años):

-
- I. Escalabilidad y Expansión: Evaluar la capacidad de escalar la implementación de la herramienta tecnológica a más empresas y unidades de producción agrícola. Identificar áreas geográficas adicionales donde se pueda implementar la herramienta para ampliar su alcance y efectividad.
 - II. Fortalecimiento de Capacidades: Continuar con la capacitación y entrenamiento del personal en el uso de la herramienta tecnológica. Proporcionar cursos de formación más especializados y avanzados para los usuarios, lo que les permitirá maximizar los beneficios de la aplicación.
 - III. Integración con Sistemas Existentes: Evaluar la posibilidad de integrar la herramienta tecnológica con otros sistemas de gestión y monitoreo utilizados por las empresas agrícolas. Esto permitirá una mayor eficiencia y una mejor utilización de los datos recopilados.
 - IV. Colaboración y Alianzas Estratégicas: Continuar buscando alianzas y colaboraciones con actores clave, como instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales y entidades gubernamentales, para fortalecer el apoyo y la visibilidad del proyecto.
 - V. Investigación y Desarrollo: Invertir en investigación y desarrollo para mejorar y actualizar constantemente la herramienta tecnológica. Esto puede incluir la incorporación de nuevos enfoques metodológicos, datos climáticos actualizados o la adaptación a nuevas tecnologías emergentes.
 - VI. Evaluación del Impacto: Realizar evaluaciones periódicas para medir el impacto de la aplicación de la herramienta en términos de reducción de la huella hídrica, ahorro de recursos y beneficios socioeconómicos. Utilizar estos resultados para mejorar el diseño y las estrategias del proyecto.
 - VII. Permitir actualizaciones: mantener una herramienta digital actualizado reduce riesgos de ciberseguridad y asegura que la herramienta siga siendo competitiva y funcional a lo largo del tiempo.
-

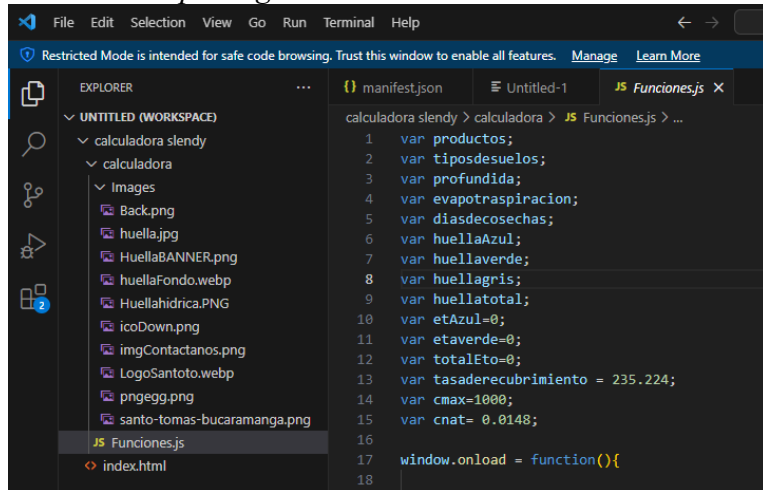
-
- VIII. **Certificaciones y Reconocimientos:** Buscar la certificación de la huella hídrica o sellos de sostenibilidad para las empresas que han implementado la herramienta y logrado mejoras significativas en su gestión del agua.
 - IX. **Educación y Concientización:** Desarrollar campañas de educación y concientización dirigidas a agricultores, productores y consumidores sobre la importancia del uso sostenible del agua y la gestión de la huella hídrica en el sector agrícola.
 - X. **Difusión de Resultados y Mejores Prácticas:** Compartir los resultados obtenidos y las mejores prácticas implementadas a través de publicaciones, conferencias y eventos, para inspirar y motivar a otras empresas e industrias a adoptar tecnologías sostenibles.
 - XI. **Evaluación de Sostenibilidad:** Realizar una evaluación integral de la sostenibilidad del proyecto, teniendo en cuenta no solo los aspectos económicos, sino también los ambientales y sociales. He de asegurar que el proyecto contribuya de manera positiva a la conservación de los recursos hídricos y el bienestar de las comunidades locales.

Planificación a Largo Plazo (10 años):

-
- I. **Escalabilidad a Nivel Nacional:** Consolidar el uso de la herramienta tecnológica en el sector agrícola a nivel nacional. Establecer alianzas con entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y asociaciones de agricultores para promover la adopción masiva de la herramienta.
 - II. **Implementación en Otros Sectores:** Explorar la posibilidad de extender la aplicación de la herramienta a otros sectores industriales que tengan un impacto significativo en el uso del agua y la huella hídrica, como la industria manufacturera o la minería.
 - III. **Investigación y Desarrollo Continuo:** Invertir en investigación y desarrollo para mejorar y actualizar la herramienta tecnológica de acuerdo con los avances científicos y tecnológicos. Integrar constantemente nuevos datos e información para garantizar su precisión y relevancia.
 - IV. **Certificaciones y Reconocimiento a Nivel Regional o Internacional:** Buscar la certificación y el reconocimiento a nivel regional o incluso internacional, lo que puede aumentar la credibilidad y la visibilidad del proyecto y sus impactos positivos.
 - V. **Educación y Formación Continua:** Continuar con programas de educación y formación dirigidos a agricultores, técnicos agrícolas, gestores de recursos hídricos y otros actores clave, para promover una cultura de uso sostenible del agua y la importancia de calcular la huella hídrica.
 - VI. **Monitoreo y Evaluación a Largo Plazo:** Establecer un sistema de monitoreo y evaluación a largo plazo para medir los resultados y los impactos a lo largo del tiempo. Analizar los datos recopilados para realizar ajustes y mejoras continuas.
-

-
- VII. Innovación Tecnológica: innovar tecnologías emergentes relacionadas con el cálculo de la huella hídrica y la gestión del agua. Integrar nuevas tecnologías que puedan mejorar aún más la eficiencia y precisión de la herramienta.
 - VIII. Incentivos y Políticas Públicas: Colaborar con el gobierno y otros actores relevantes para promover políticas públicas y programas de incentivos que fomenten la adopción de prácticas sostenibles en el uso del agua y el cálculo de la huella hídrica.
 - IX. Transferencia de Conocimientos: Compartir conocimientos y experiencias con otros países y regiones que puedan enfrentar desafíos similares en la gestión del agua. Fomentar la transferencia de tecnología y buenas prácticas a nivel internacional.
 - X. Comunicación y Divulgación: Continuar con la difusión de los resultados y los beneficios alcanzados mediante campañas de comunicación y divulgación a nivel nacional e internacional. Esto puede motivar a otras naciones y empresas a adoptar tecnologías y prácticas sostenibles en la gestión del agua.
-

Apéndices c. *Prototipo Pagina Web*



The image shows a screenshot of the Visual Studio Code editor. The Explorer sidebar on the left displays a project structure for 'calculadora slendy'. The main editor area shows the 'Funciones.js' file with the following JavaScript code:

```
1 var productos;
2 var tiposdesuelos;
3 var profundida;
4 var evapotraspiracion;
5 var diasde cosechas;
6 var huellaAzul;
7 var huellaverde;
8 var huellagris;
9 var huellatotal;
10 var etAzul=0;
11 var etaverde=0;
12 var totalEto=0;
13 var tasaderecubrimiento = 235.224;
14 var cmax=1000;
15 var cnat= 0.0148;
16
17 window.onload = function(){
18
```

Nota. *Prueba de prototipo del diseño de la página web realizado en Visual Studio Code, 2024*

Apéndices d. *Resultado de 1 año Pagina web sobre el cálculo de la huella hídrica agrícola sobre la zona de estudio*

CALCULA TU HUELLA HÍDRICA
Usando el método de Arjen Hoekstra padre del cálculo de la huella hídrica.

Pon tus datos aquí

Ubicación:	<input type="text" value="Selecciona una ubici..."/> <small>Selecciona una ubicación</small>	Tipo de suelo:	<input type="text" value="Selecciona tipo de su..."/> <small>selecciona un tipo de suelo</small>
Producto:	<input type="text" value="Selecciona un produc..."/> <small>selecciona un producto</small>	Profundidad:	<input type="text" value=""/> m
Fecha de Siembra:	<input type="text" value="dd/mm/aaaa"/> <input type="text" value="📅"/> <small>Ingresa una fecha</small>	Componente Químico:	<input type="text" value="Selecciona el Compr..."/> <small>selecciona el fertilizante</small>
Cantidad de Terreno:	<input type="text" value=""/> ha <small>Ingresa la cantidad</small>	Cantidad de fertilizante:	<input type="text" value=""/> kg/ha <small>Ingresa la cantidad</small>
Cantidad de Producto:	<input type="text" value=""/> kg <small>Ingresa la cantidad</small>		

 **Generar**