



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN
PLANTACIONES DE ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA
DEL GUAYAS**

AUTOR: Eliezer Anbjorn Vargas Herrera

TUTOR: Blgo. David Eloy García Asencio, MSc.

GUAYAQUIL, OCTUBRE 2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN PLANTACIONES DE
ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS

AUTOR: Eliezer Anbjorn Vargas Herrera

TUTOR: Blgo. David Eloy García Asencio, MSc.

GUAYAQUIL, OCTUBRE 2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



ANEXO XI
SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA**

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN PLANTACIONES DE ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS.		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	VARGAS HERRERA ELIEZER ANBJORN		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	ING. VINICIO XAVIER MACAS ESPINOSA, MSc. BLGO. DAVID ELOY GARCÍA ASENCIO, MSc.		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
UNIDAD/FACULTAD:	FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES		
TERCER NIVEL:	INGENIERÍA AMBIENTAL		
GRADO OBTENIDO:	INGENIERO AMBIENTAL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	OCTUBRE, 2020	No. DE PÁGINAS:	81
ÁREAS TEMÁTICAS:	CIENCIAS NATURALES		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	HUELLA HÍDRICA, AGUA VIRTUAL, REQUERIMIENTO HÍDRICO, CONSUMO, CONTAMINACIÓN, RENDIMIENTO DE CULTIVO.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): La huella hídrica y agua virtual calculada en los cultivos de arroz del cantón Daule, entre tres sectores de producción circunscripta a la junta de riego América – Lomas; para lo cual se realizó la cuantificación del requerimiento hídrico mediante las ecuaciones establecidas en el programa Cropwat 8.0 y la recopilación de variables propias del sistema de cultivo entre épocas. Los resultados determinaron que el rendimiento medio del cultivo fue de 2,36 ton/ha, mientras que a nivel de huella hídrica se obtuvo una media de 7.854 (± 1.200) m ³ /ton; Siendo el sector 3 quién presentó mayor huella hídrica con una media de 2992,26 m ³ /ton a pesar de poseer menor hectárea que el sector 4. Además, el flujo de agua virtual neta de exportación del producto con un valor promedio de 169.070 (± 197.547) m ³ /año y el sector 4 representó el mayor aporte con 78,1%, estos resultados reflejan una importación neta negativa, es decir pérdida de agua en la localidad. Se concluye que las cantidades de huella hídrica generadas entre los 3 sectores difirieron entre sí en función a la variabilidad estacional local, pero su vez sus valores no dependen del área de extensión en las plantaciones de arroz.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593997425758	E-mail: Eliezer.vargash@ug.edu.ec Eliezer1996-27@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Blga. Miriam Salvador Brito Teléfono: 593 4 3080777 E-mail: info@fccnnugye.com miriam.salvadorb@ug.edu.ec		



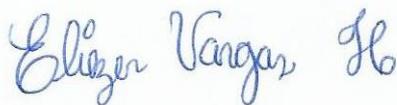
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO XII

***LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA
OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS***

Yo, **ELIEZER ANBJORN VARGAS HERRERA**, con C.I. No. **0929999910**, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN PLANTACIONES DE ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS**, son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del **CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN***, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.



ELIEZER ANBJORN VARGAS HERRERA

C.I. 0929999910



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO VII

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado **DAVID ELOY GARCÍA ASECIO**, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **ELIEZER VARGAS HERRERA**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Ambiental.

Se informa que el trabajo de titulación: **CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN PLANTACIONES DE ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio Urkund, quedando el # 2 % de coincidencia.

URKUND

Document Information

Analyzed document	Vargas Eliezer TI1 2020-2021 urkund.docx (D80440283)
Submitted	10/1/2020 9:27:00 PM
Submitted by	
Submitter email	eliezer.vargash@ug.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	david.garciaa.ug@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://docplayer.es/71128823-Evaluacion-de-la-huella-hidrica-del-cultivo-de-fresa... Fetched: 1/16/2020 4:06:59 PM	3
SA	ANDRES SILVA TESIS 2015.docx Document ANDRES SILVA TESIS 2015.docx (D14485779)	1
W	URL: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24084/1/1.%20Trabajo%20de%20Gr... Fetched: 6/13/2020 3:07:37 PM	1
W	URL: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1402&context=ing_ambien... Fetched: 3/25/2020 11:13:50 PM	1
SA	TESIS CARLOS TOUMA CORREGIDA.docx Document TESIS CARLOS TOUMA CORREGIDA.docx (D31476478)	2
SA	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN BANANO.docx Document PROYECTO DE INVESTIGACIÓN BANANO.docx (D44015642)	1

<https://secure.orkund.com/view/76962676-263489-139344>

BLGO. DAVID ELOY GARCÍA ASECIO, MSC.

C.I. 0920826302

Fecha: 2 de octubre del 2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO VI

CERTIFICADO DEL DOCENTE – TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Guayaquil, 2 de octubre del 2020

Señor Ingeniero

Vinicio Macas Espinosa. MSc.

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad.-

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN PLANTACIONES DE ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS**. Del estudiante **ELIEZER ANBJORN VARGAS HERRERA**, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

Blgo. DAVID ELOY GARCÍA ASECIO, MSc.

C.I. 0920826302

Fecha: 2 de octubre del 2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



Guayaquil, 15 de octubre de 2020

ANEXO VIII

Señor Ingeniero

Vinicio Xavier Macas Espinosa, MSc.

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN PLANTACIONES DE ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS** del estudiante **VARGAS HERRERA ELIEZER ANBJORN**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 17 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son en promedio, de máximo 15 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**VINICIO XAVIER
MACAS ESPINOSA**

Ing. Vinicio Macas Espinosa

C.I. 0704536838

Fecha: 15 de octubre de 2020



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO XIII

**CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA Y AGUA VIRTUAL EN PLANTACIONES DE
ARROZ DEL CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS**

Autor: *Eliezer Anbjorn Vargas Herrera*

Tutor: *Blgo. David Eloy García Asencio, MSc.*

Resumen

La huella hídrica y agua virtual calculada en los cultivos de arroz del cantón Daule, entre tres sectores de producción circunscripta a la junta de riego América – Lomas; para lo cual se realizó la cuantificación del requerimiento hídrico mediante las ecuaciones establecidas en el programa Cropwat 8.0 y la recopilación de variables propias del sistema de cultivo entre épocas. Los resultados determinaron que el rendimiento medio del cultivo fue de 2,36 ton/ha, mientras que a nivel de huella hídrica se obtuvo una media de 7.854 (± 1.200) m³/ton; Siendo el sector 3 quien presentó mayor huella hídrica con una media de 2992,26 m³/ton a pesar de poseer menor hectárea que el sector 4. Además, el flujo de agua virtual neta de exportación del producto con un valor promedio de 169.070 (± 197.547) m³/año y el sector 4 representó el mayor aporte con 78,1%, estos resultados reflejan una importación neta negativa, es decir pérdida de agua en la localidad. Se concluye que las cantidades de huella hídrica generadas entre los 3 sectores difirieron entre sí en función a la variabilidad estacional local, pero su vez sus valores no dependen del área de extensión en las plantaciones de arroz.

Palabras claves: *huella hídrica, agua virtual, requerimiento hídrico, consumo, contaminación, rendimiento de cultivo.*



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO XIV

***CALCULATION WATER FOOTPRINT AND VIRTUAL WATER IN RICE
PLANTATIONS OF CANTON DAULE, GUAYAS PROVINCE.***

Author: Eliezer Anbjorn Vargas Herrera

Advisor: Blgo. David Eloy García Asencio, MSc.

Abstract

The water footprint and virtual water calculated in rice crops in Daule canton, among three production sectors limited to the irrigation board America - Lomas; for which it was carried out the quantification of water requirement through the equations established in the program Cropwat 8.0 and the collection of variables of the cultivation system between seasons. The results determined that the average yield of the crop was 2.36 ton/ha, while at the level of water footprint an average of 7,854 ($\pm 1,200$) m³/ton was obtained; being the sector 3 the one that presented the biggest water footprint with an average of 2992.26 m³/ton in spite of having less hectare than the sector 4. In addition, the net virtual water flow for export of the product with an average value of 169,070 ($\pm 197,547$) m³/year and sector 4 represented the largest contribution with 78.1%, these results reflect a negative net import, i.e., water loss in the locality. It is concluded that the amounts of water footprint generated among the 3 sectors differed among them according to local seasonal variability, but in turn their values do not depend on the area of extension in the rice plantations.

Keywords: water footprint, virtual water, water requirement, consumption, pollution, crop yield.

DEDICATORIA

A mi tía Edith Herrera por apoyarme en mi proceso universitario en diferentes aspectos, por ser quién financió mis estudios, me alentó cada día a seguir adelante y ser mejor persona.

A mis amigos, por brindarme su amistad, con quienes he compartido momentos amenos y tristes durante este trayecto de mi vida, por ayudarme de manera desinteresada en el ámbito académico y personal cuando los he necesitado.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud y sabiduría para lograr mis objetivos. A mi familia por apoyarme incondicionalmente durante todo mi proceso estudiantil, por guiarme en mi vida personal e inculcarme valores.

A mi tutor, el Blgo. David García, MSc. por su ayuda generosa en la realización de mi trabajo de titulación. A las docentes: Ing. Clelia Naranjo, Mcc y Econ. Nancy Castillo, MSc. por haberme incentivado en la selección de mi tema de tesis. A la dirección de riego y drenaje de SENAGUA por impartirme sus conocimientos. A la junta de riego América – Lomas, especialmente a la presidenta la Sra. Rosa Alvarado y a los usuarios de las plantaciones por su disposición para compartir información de manera gentil y lograr la elaboración de este proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	5
1.3. HIPÓTESIS	7
1.4. OBJETIVOS	7
1.4.1. General	7
CAPÍTULO II	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.2. MARCO TEÓRICO	11
2.2.1. Origen de la huella hídrica	11
2.2.2. Origen del agua virtual	12
2.3. MARCO CONCEPTUAL	13
2.3.1. Consumo de agua	13
2.3.2. Huella hídrica	13
2.3.3. Contabilidad de la huella hídrica	14
2.3.4. Componentes de la huella hídrica	15
2.3.4.1. Huella hídrica verde	15
2.3.4.2. Huella hídrica azul	15
2.3.4.3. Huella hídrica gris	15
2.3.5. Agua virtual	16
2.3.6. Huella hídrica y agua virtual	17
2.3.7. Sistema agrícola	17
2.3.8. Sistema de cultivo	17
2.3.9. Arroz	17
2.3.9.1. Características generales	17
2.3.9.2. Etapas del cultivo	18
2.3.9.3. Riego	19
2.3.9.4. Productividad y demanda de agua	20
2.3.9.5. Estrés en el cultivo	21
2.3.9.6. Rendimiento del cultivo	22
2.4. MARCO LEGAL	23
CAPÍTULO III	27

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1.1. Área de estudio.....	27
3.1.2. Diseño experimental	29
3.1.3. Métodos	30
3.1.3.1. Recopilación de información.....	30
3.1.3.2. Método Penman – Monteith.....	30
3.1.3.3. Cropwat 8.0	32
3.1.3.4. Modelo de la huella hídrica.....	35
3.1.3.5. Ecuación de la huella hídrica verde y azul.....	35
3.1.3.6. Ecuación de la huella hídrica gris	37
3.1.3.7. Modelo simple del agua virtual	39
3.1.4. Pruebas estadísticas.....	40
CAPÍTULO IV.....	41
4.1. RESULTADOS.....	41
4.1.1. Calculo de requerimiento hídrico para la producción de arroz en tres sectores del cantón Daule	41
4.1.2. Determinación de los productos químicos de mayor consumo en la producción de arroz	52
4.1.3. Aplicación de un modelo matemático simple para la estimación del flujo de agua virtual de los tres sectores en la exportación de arroz	54
4.1.4. Comparación de rendimiento del cultivo y huella hídrica total entre los diferentes sectores de producción de arroz del cantón Daule	55
4.1.5. Propuesta de un plan de minimización de huella hídrica en los cultivos de arroz del cantón Daule.....	57
CAPÍTULO V.....	64
5.1. DISCUSIÓN	64
CAPÍTULO VI.....	68
6.1. CONCLUSIONES	68
6.2. RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS.....	70
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala y/o tipo de contabilidad de la huella hídrica.....	14
Tabla 2. Etapas del cultivo de arroz.....	19
Tabla 3. Normativa legal aplicable.....	24
Tabla 4. Coordenadas UTM de los sectores de estudio.....	28
Tabla 5. Términos de evapotranspiración usadas en el cálculo.....	31
Tabla 6. Parámetros climáticos calculados en Cropwat.....	32
Tabla 7. Datos generales de cualquier tipo de cultivo.....	33
Tabla 8. Etapas del cultivo de arroz.....	33
Tabla 9. Datos del suelo a emplear.....	34
Tabla 10. ET _o Penman – Monteith Mensual para el cantón Daule.....	41
Tabla 11. Precipitación mensual para el cantón Daule.....	42
Tabla 12. Datos generales de suelo del cantón Daule.....	42
Tabla 13. Datos iniciales de suelo para el cultivo de arroz.....	42
Tabla 14. Fertilizantes utilizados en el sector 1 en cada época.....	52
Tabla 15. Plaguicidas utilizados en el sector 1 en cada época.....	52
Tabla 16. Fertilizantes utilizados en el sector 3 en cada época.....	53
Tabla 17. Plaguicidas utilizados en el sector 3 en cada época.....	53
Tabla 18. Fertilizantes utilizados en el sector 4 en cada época.....	54
Tabla 19. Plaguicidas utilizados en el sector 4 en cada época.....	54
Tabla 20. HH por componente y HH total del sector 1 entre épocas.....	56
Tabla 21. HH por componente y HH total del sector 3 entre épocas.....	56
Tabla 22. HH por componente y HH total del sector 4 entre épocas.....	56
Tabla 23. Componentes de la huella hídrica anual en los 3 sectores.....	57
Tabla 24. Programa de rotación de técnicas de cultivo de arroz en cada estación del año.....	59
Tabla 25. Programa de riego de cultivos de arroz proporcionados por Cropwat.....	60
Tabla 26. Programa de prácticas de abono y control de plagas.....	61
Tabla 27. Programa de mantenimiento de la infraestructura de riego.....	62
Tabla 28. Programa de manejo de desechos peligrosos.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Huella hídrica: definición, objetivos, estructura y clasificación.....	13
Figura 2. Tipos de agua de la huella hídrica.....	16
Figura 3. Agua Virtual: definición, clasificación y dinámica.....	16
Figura 4. Diferencias y semejanzas de la huella hídrica y agua virtual.	17
Figura 5. Etapas del desarrollo típico del arroz.	19
Figura 6. Prácticas de riego según su zona y época.	20
Figura 7. Mapa político del cantón Daule y sus límites.....	27
Figura 8. Mapa de ubicación de los tres sectores de estudio.	29
Figura 9. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 en sus diferentes etapas de desarrollo.	43
Figura 10. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 1 por etapas.....	43
Figura 11. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 por estacionalidad.....	44
Figura 12. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 1 por estacionalidad.	44
Figura 13. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 en sus diferentes etapas de desarrollo.	44
Figura 14. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 1 por etapas.....	45
Figura 15. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 por estacionalidad.....	45
Figura 16. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 1 por estacionalidad.	45
Figura 17. Diagrama de cajas de la cantidad de agua requerida para la ET Verde y ET Azul en el sector 1.	46
Figura 18. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 en sus diferentes etapas de desarrollo.	46
Figura 19. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 3 por etapas.....	46
Figura 20. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 por estacionalidad.....	47

Figura 21. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 3 por estacionalidad.	47
Figura 22. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 en sus diferentes etapas de desarrollo.	47
Figura 23. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 en sus diferentes etapas de desarrollo.	48
Figura 24. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 por estacionalidad.....	48
Figura 25. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 3 por estacionalidad.	48
Figura 26. Diagrama de cajas de la cantidad de agua requerida para la ET Verde y ET Azul en el sector 3.	49
Figura 27. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 en sus diferentes etapas de desarrollo.	49
Figura 28. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 4 por etapas.....	49
Figura 29. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 por estacionalidad.....	50
Figura 30. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 3 por estacionalidad.	50
Figura 31. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 en sus diferentes etapas de desarrollo.	50
Figura 32. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 en sus diferentes etapas de desarrollo.	51
Figura 33.m Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 por estacionalidad.....	51
Figura 34. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 4 por estacionalidad.	51
Figura 35. Diagrama de cajas de la cantidad de agua requerida para la ET Verde y ET Azul en el sector 4.	52
Figura 36. Agua virtual anual de los tres sectores exportadores de arroz.	55
Figura 37. Rendimiento anual del cultivo de arroz en los 3 sectores.....	55
Figura 38. Diagrama de cajas de rendimiento de cultivo de arroz en los 3 sectores.	56

Figura 39. HH total de los 3 sectores de producción de arroz.	57
Figura 40. Gráfico de caja de la HH total de los 3 sectores de estudio.	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Sectores de producción de arroz del área de estudio.	77
Anexo 2. Cuerpo receptor de la carga contaminante, río Daule.	77
Anexo 3. Canales de distribución de agua para riego.	78
Anexo 4. Productos químicos utilizados en los sectores de cultivo de arroz.	78
Anexo 5. Centro de acopio de envases agrícolas fuera de servicio.	78
Anexo 6. Registro de coordenadas geográficas mediante Polaris Navegación GPS.	79
Anexo 7. Valores referenciales de los datos del cultivo de arroz.	79
Anexo 8. Base de datos de parámetros meteorológicos de Climwat 2.0.	80
Anexo 9. Programa Cropwat 8.0 para el cálculo de ET_o verde y azul.	80
Anexo 10. Programa de manejo del cultivo de arroz del sector 4 asistido por Agripac.	81

INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los 60 el crecimiento poblacional a nivel global ha sido la principal causa del aumento de la producción agrícola, se estima que para el 2.050 habrán más de 2,3 billones de personas (ONU, DESA, y Population Division, 2011). En tanto la población mundial como la demanda de alimentos aumente desmesuradamente convirtiéndose en un gran desafío para los jefes de estados de las diversas naciones, puesto que deben buscar estrategias para proporcionar suficiente recursos naturales para la subsistencia de los habitantes (Waterlow et al., 1998).

El cambio climático está contribuyendo a ocasionar condiciones meteorológicas extremas, sequías, inundaciones y otros desastres naturales que privan a millones de personas la accesibilidad a los medios de subsistencia, siendo el 80% de los pobres los más afectados, mismos que viven en áreas rurales y dependen principalmente de las actividades como: agricultura, pesca y silvicultura para su supervivencia. Los impactos del cambio climático están reduciendo la capacidad de los recursos naturales, en especial de los cuerpos hídricos alterando los patrones de precipitación y presentando variabilidad en los caudales de los ríos y en la recarga de acuíferos (IPCC, 2012; FAO, 2019).

La disputa entre los usuarios de agua para riego en las zonas de cultivo va en aumento mientras que la diversidad de cuerpos hídricos disponibles ha ido disminuyendo. Es por esto que diferentes entidades académicas y gubernamentales se han interesado por buscar acciones para la gestión eficaz de los recursos hídricos y en evaluar los riesgos económicos, sociales y ambientales asociados al uso del agua en el sector agropecuario conllevando al desarrollo de conceptos y metodologías para evaluar huella hídrica (HH) con la finalidad de conocer los impactos de producción de bienes en los recursos hídricos (Chapagain y Tickner, 2012).

A medida que los productos agrícolas se comercializan se emplea mayor volumen de agua para producirlos. Lo cual permite identificar la cantidad de agua incorporada en un producto, lo que conlleva a implicaciones para la gestión, la práctica y la política del agua. El aumento del estrés climático y la competencia por la escasez de agua en regiones áridas plantean preguntas importantes para las

partes interesadas en un sistema alimentario integrado y globalizado: ¿Dónde deberían producirse los alimentos?, ¿Cuál es la mejor manera de utilizar los recursos hídricos limitados?, ¿Qué información debería estar disponible para los consumidores para ayudarlos a tomar decisiones más informadas?, entre otras (Ray, McInnes, y Sanderson, 2018).

En consecuencia de la evolución de los métodos de cuantificación de HH se ha buscado comprender y medir el vínculo virtual del flujo de agua entre diferentes territorios. Por consiguiente se desarrolló el cálculo de agua virtual (AV) a partir de la dinámica de comercialización de productos entre continentes, países o ciudades.

La realización del cálculo de HH permitió definir la cantidad de agua disponible por precipitación y la eficiencia de aprovechamiento natural de agua de lluvia para el proceso de evapotranspiración (ET) de los cultivos, evitar el desperdicio y sobreconsumo de agua, proponer nuevas formas de riego y/o aprovechamiento del agua, poseer un inventario de los productos químicos utilizados y su concentración como carga contaminante, reducir costos por consumo de agua y establecer el flujo de agua indirecta de los sectores hacia otras zonas a causa de la exportación del arroz. Daule constituye un productor relevante de arroz para el país, es decir que el consumo y contaminación de agua dulce es significativo (El Comercio, 2015).

Siendo indispensable la determinación de la HH y AV en 3 sectores de producción de arroz pertenecientes a la junta de riego de América – Lomas mediante la aplicación de softwares proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), climwat 2.0 para la recopilación de datos meteorológicos y Cropwat 8.0 para el cálculo de los requerimientos hídricos verde y azul, empleo entrevistas y un modelo matemático simple para la valoración del componente gris y para la estimación del agua virtual.

La finalidad del presente trabajo consistió en calcular la huella hídrica y agua virtual en los cultivos de arroz del cantón Daule, provincia del Guayas, mediante la cuantificación del requerimiento hídrico para la producción de arroz, determinación del producto químico de mayor consumo, aplicación de un modelo matemático para la estimación del flujo de agua virtual, comparación de rendimiento de cultivo y HH total, proposición de un plan de minimización de HH en los cultivos de arroz.

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua dulce es primordial para las diversas actividades de los seres humanos convirtiéndolo en un recurso sumamente crítico para el desarrollo de la sociedad en todo el mundo, la ausencia o contaminación del agua causa alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas y sus cadenas tróficas, afectaciones a la salud de las personas y la desestabilización en la economía de las naciones (Varjo y Mery, 2001).

La disponibilidad de agua dulce del planeta está sujeta a una presión constante en forma de consumo y contaminación del agua a causa del desarrollo de las actividades antropogénicas (Hoekstra y Mekonnen, 2012).

La nutrición de las personas a escala global constituye una cifra importante de los impactos ambientales generados por el consumo de alimentos en los hogares, dicha problemática crece exponencialmente en consecuencia a los cambios generacionales en la sociedad, dónde se ha hecho habitual fomentar el consumismo e implementar tecnologías avanzadas para obtener una mayor producción de alimentos, por ejemplo, el empleo de invernaderos con calefacción (Jungbluth, Fluri y Doublet, 2013).

FAO, (s.f.), determina que el sector agrícola afronta adversidades complejas en la actualidad, para el año 2.050 se estima que para satisfacer las necesidades alimenticias de las poblaciones se requerirá mayores cantidades de agua. De acuerdo a estudios realizados se han determinado dos puntos importantes: la producción agrícola comprende el mayor aporte de HH a nivel mundial y el mayor flujo de agua virtual se debe a la comercialización internacional de cultivos y productos derivados (Hoekstra y Mekonnen, 2012).

A nivel continental, la presión constante de los recursos hídricos se debe a las actividades agrícolas e industriales, las cuales han conllevado a la contaminación de lagos y ríos de muchas cuencas fluviales importantes, tal es el caso del lago Chapala en México. En el ámbito regional ha ocurrido un incremento en la exportación de productos de significativo requerimiento hídrico lo que ha conllevado a la disminución progresiva de agua superficial y subterránea en diferentes países de América Latina (World Water Council, 2006).

En Ecuador la demanda de agua ha reflejado un relevante aumento en los últimos diez años, siendo visible en la relación directamente proporcional entre el crecimiento poblacional y el uso del recurso hídrico para la producción de alimentos, lo que constituye una mayor huella hídrica, así como en la expansión desmesurada de la frontera agrícola.

Daule se constituye como uno de los mayores productores de arroz del país en consecuencia representa una mayor presión sobre el recurso hídrico del cantón; el consumo y contaminación del agua es notable en las plantaciones anexas a la Junta de Riego América – Lomas, en este sector se cultiva dos tercios de la producción del Guayas de la gramínea que registró el censo agrícola en el 2.011 (El Comercio, 2015).

La HH en los sistemas de cultivos de la junta de riego y drenaje América – Lomas se genera principalmente por la HH gris a causa de la intensiva generación de desechos sólidos derivados de las actividades agrícolas, tales como: envases de fertilizantes, variedades de plaguicidas, fungicidas, herbicidas, insecticidas y demás productos químicos empleados en los sistemas de cultivos, mismos que no son gestionados de forma adecuada para su disposición final por parte de los agricultores a pesar de contar con un centro de acopio para los desechos peligrosos, haber recibido charlas inductivas de: triple lavado de envases de productos químicos y gestión de desechos sólidos por parte Asociación de la Industria de Protección de Cultivos y Salud Animal (APCSA) (El Universo, 2009).

Para el componente de la huella de agua azul se ve influenciada por el desperdicio del recurso hídrico a causa de las malas prácticas agrícolas, durante el proceso de riego y por las falencias de infraestructura y mantenimiento. Tal es el caso del colapso de canales y tuberías de distribución ocasionando una pérdida considerable de agua que no es aprovechada, teniendo como consecuencia un sobreconsumo del recurso hídrico para lograr la producción del cultivo, también se atribuye el sobreconsumo de agua para riego de las plantaciones de arroz a las irregularidades de los factores climáticos, es decir la ausencia de precipitaciones que son características en época lluviosa.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La disponibilidad de agua en todo el planeta oscila entre los 1,400 millones de Km³, de los cuáles el 97.5% es agua salada y solamente un 2.5%, corresponde a agua dulce, de los cuáles tres cuartas partes está contenida en los glaciares y mantos de hielo, siendo un 97% inaccesibles, pues se encuentran en la Antártida, el Ártico y Groenlandia, es decir la cantidad de recurso hídrico aprovechable por el ser humano, es mínimo y limitado (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015).

La escasez de agua, es un problema a escala mundial convirtiéndose en uno de los principales desafíos para la sociedad de nuestro siglo, esta problemática no se atribuye netamente a fenómenos naturales; sino en gran parte a las acciones humanas, puesto que el agua es distribuida en diversas formas: irregular, desperdiciada, contaminada. Es por esta situación que se han adoptado términos como huella hídrica y agua virtual en las últimas décadas (UN, y DESA, 2014).

Con el transcurso de los años, el planeta tierra ha ido sufriendo cambios climáticos conllevando a generar fenómenos de carácter meteorológico cada vez más intensos y con mayor frecuencia, como son: las sequías e inundaciones con consecuencias desastrosas en los diversos sistemas de producción alimentaria, por tal motivo es necesaria una adecuada gestión de los recursos hídricos para desarrollar la resiliencia social a estos riesgos (FAO, s.f.).

La sociedad consume agua de formas diferentes, entre las cuáles tenemos: el uso directo, es decir, el agua utilizada en los domicilios o el jardín y de uso indirecto, es decir el agua empleada en la producción y cadenas de suministro de los bienes o servicios demandados (Hoekstra, 2008).

El comercio internacional de productos ha contribuido a los países que poseen recursos hídricos finitos a depender de los recursos hídricos procedentes de otros países para satisfacer las necesidades de sus habitantes, constituyéndose los productos agrícolas y sus derivados en los principales aportes de HH a causa de las intensivas cantidades de agua que se requieren en la producción de cultivos y traslado indirecto de agua en los productos de un territorio a otro (Water Footprint Network, s.f.).

Calcular la huella hídrica permite conocer los posibles riesgos en ámbitos de escasez y/o contaminación de agua y valorar el agua virtual, permite analizar las dependencias económicas de un país, provincia, cantón o un determinado sector tiene con otro, así mismo conocer los flujos de aguas en los diferentes niveles territoriales y como se emplean los recursos hídricos.

La realización del trabajo de titulación en plantaciones de arroz en 3 sectores asociados a la junta de agua de América – Lomas contribuirá a: solucionar problemas de gestión, disponibilidad de agua, establecer relaciones entre los recursos hídricos y el consumo humano, comprender la dinámica de mercancías con demandas hídricas relevantes en su producción, crear información sobre los recursos hídricos del cantón Daule y sobre todo generar nuevas premisas de carácter científico, promoviendo temas de investigación para ser abordadas en un futuro por los estudiantes de la facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil.

1.3. HIPÓTESIS

Los valores de huella hídrica y agua virtual obtenidos en tres sectores del cantón Daule, difieren en función a la variabilidad estacional de la zona y al área de cultivo de arroz.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. General

Calcular la huella hídrica y agua virtual en los cultivos de arroz del cantón Daule, provincia del Guayas.

1.4.2. Específicos

- Cuantificar el requerimiento hídrico para la producción de arroz en tres sectores del cantón Daule.
- Determinar los productos químicos de mayor consumo en la producción de arroz mediante el cálculo de la huella gris.
- Aplicar un modelo matemático simple para la estimación del flujo de agua virtual de los tres sectores en la exportación de arroz mediante la huella hídrica.
- Comparar el rendimiento del cultivo y huella hídrica total entre los diferentes sectores de producción de arroz del cantón Daule.
- Proponer un plan de minimización de huella hídrica en los cultivos de arroz del cantón Daule.

CAPÍTULO II

2.1. ANTECEDENTES

Los recursos hídricos son importantes para la subsistencia de la sociedad en sus diferentes ámbitos sociales, económicos y ambientales. Por lo tanto, el ser humano vio la necesidad de crear métodos para determinar las cantidades de agua que se usan o contaminan en un espacio determinado. FAO, (2011) fue el precursor en el diseño de un índice de captación de agua a nivel mundial; mientras que Allan, (1998) introdujo un indicador teórico del flujo de agua y su relación con el comercio. Por lo tanto, para poder cuantificar esta dinámica virtual de agua se desarrolló un indicador multidimensional denominado huella hídrica (Hoekstra y Mekonnen, 2012).

A nivel mundial, la huella hídrica de producción entre 1.996 al 2.005 fue de 9.807 GM³/ton, siendo el 92% sector agrícola, 4,4% sector industrial y 3,6% suministro de agua doméstica; la HH de consumo en el planeta encabeza los productos basados en cereales con 27%, carnes con 22% y lácteos con un 7%. Entre los países con mayor aporte de huella hídrica son China, India y Estados Unidos con un 38%. En tanto, Bélgica representa mayor HH territorial a causa del sector secundario con un aporte del 41% (Hoekstra y Mekonnen, 2012).

Hoekstra y Mekonnen, (2012) en su estudio establecen que la dinámica del agua virtual está en función a las actividades de producción y exportación de productos agrícolas e industriales, el promedio anual global del flujo de agua virtual fue de 2.320 GM³/ton, de igual manera el flujo de agua virtual depende de los patrones de consumo de cada país. El incremento de volúmenes de agua virtual a nivel mundial es directamente de las relaciones comerciales, la ampliación del 3,7%/año en las relaciones comerciales significa un aumento del 3,8% por año de flujo de agua virtual (Dalín et al., 2012).

A escala internacional India prevalece como el mayor demandante de agua azul representando el 24%, esto se debe a la irrigación para la producción de trigo, arroz y caña de azúcar que consumen grandes cantidades de agua mientras que China representa el 26% de la huella hídrica gris del planeta. (Hoekstra y Mekonnen, 2012).

De acuerdo a los estudios realizados por Zhang et al., (2014), en el continente asiático China posee 43,8% de agua verde, 28,2% de agua azul cuyos

valores se concentran en la zonas costeras y 27,6% de agua gris con mayores cargas contaminantes en las provincias de Shanxi y Guangxi. Mientras que Europa redujo las exportaciones de agua virtual, por otra parte Estados Unidos se constituyó como el segundo país exportador de soja hacia Asia representando 33% de flujo de agua virtual en América por este producto agrícola (Dalín et al. 2012).

Mekonnen et al., (2014), América Latina y el Caribe posee una huella hídrica de producción de 1.162 billones de m³/año siendo 87% verde, 5% azul y 8% gris; el mayor aporte de huella hídrica se debe al sector agrícola con un 71%, seguido del pastoreo con 23% de los cuales el 21% se relaciona a la producción de alimentos de exportación; la HH promedio de consumo es de 1.769 m³/ año per cápita representando un 28% por encima del promedio global. Según estudios de Hoekstra y Mekonnen, (2012) en Latinoamérica Brasil ocupa el primer lugar con mayor huella hídrica con 482 gigámetro cúbico (GM³).

Análisis realizados por Mekonnen et al., (2014) disciernen la existencia de escasez de agua azul en México, en ciertas zonas de Centroamérica y costas occidentales y parte del norte de América del Sur, en el noreste de Brasil y parte de Argentina. Para el período comprendido entre 1.985 y 2.007 las exportaciones de América del Sur a Asia contribuyeron al aumento del flujo de agua virtual en un 30% constituyéndose un importante exportador de agua virtual y por el contrario Asia se constituyó como el mayor importador de agua virtual proveniente de América del Sur; la ampliación de las relaciones comerciales entre América del Sur y Asia han ocasionado un incremento de agua virtual del 8 al 39% (Dalín et al., 2012).

Delgado et al., (2017), en Venezuela determinó que el consumo de agua en cultivos de arroz por el método de barro batido fue de 63,38% y en siembra directa fue de 22,16%. Mientras que el artículo publicado por Rojas y Hernández, (2018) explica la evaluación de la huella hídrica en 4 ciudades de Colombia dónde se cultivan arroz, siendo Puerto López la zona con mayor huella de agua para arroz con 4.129,3 m³/ton en. Un estudio de seguimiento ejecutado en Perú reflejó como la condiciones de sequía en las zonas de estudio ocasionó un consumo intensivo de agua en la etapa final de los cultivos de arroz (Sierra y Romero, 2020).

En Ecuador la producción de arroz se posiciona como una actividad importante, en el periodo entre 2.000 y 2.004 su huella hídrica fue de 1.881 millones de metros cúbicos (Mm³/año) de los cuales 897 Mm³/año corresponden a la HH verde, 829 Mm³/año a la HH azul y 155 Mm³/año a la HH gris; la HH total del

consumo nacional fue de 1.812 Mm³/año de la cual 1.809 Mm³/año pertenece a productos generados en el país y 3 Mm³/año corresponde a productos importados. El flujo de agua virtual debido al comercio de productos de arroz en el país fue de 2,7 Mm³/año por importación y 72 Mm³/año por exportación indicando una importación neta de agua virtual negativa, es decir hubo una pérdida de agua de 69,3 Mm³/año para el territorio (Chapagain y Hoekstra, 2010).

La huella hídrica de un cultivo varía en función: los ciclos de los cultivos en sus etapas iniciales de siembra, al clima dónde se desarrollan, a los rendimientos y cantidad de riego para cada sistema de cultivo. Pérez, (2012), estimó que la huella de agua del arroz en Ecuador es de 900 a 11.500 m³/ton siendo mínima en comparación a las HH de los cultivos de cacao, café y naranja. A diferencia del estudio realizado por Silva, (2015) que obtuvo una media de HH para la producción de arroz de 1.974,34 m³/ton, siendo representativa con respecto a los cultivos de: banano, caña de azúcar, palma africana, maíz y papa. En tanto la HH nacional estimada por Ramírez et al., (2017) para el cultivo de arroz fue de 1.039 m³/ton, siendo el agua para riego el que predomina con 551 m³/ton en relación al total.

Rivera, (2016), infirió que el aumento progresivo de la HH en la producción agrícola con un total de 18.210 m³/ton en el transcurso de una década es a causa de la intensificación de monocultivos cuyos productos son destinados a la exportación.

La cuenca Daule y Vinces se caracterizan por el desarrollo de intensivos monocultivos de arroz representando: 9.538 Mm³/año de HH verde, 963 Mm³/año HH azul y 1.062 Mm³/año de HH gris (Mekonnen et al., 2014).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Origen de la huella hídrica

Falkenmark, (1995), fue el pionero en definir el agua verde como una fracción de agua de lluvia que se infiltra en la zona radicular y es usada para la producción de biomasa. Mientras que el estudio realizado por Rockström, (1997), acotó que el agua verde era aquella usada para el riego de los cultivos y se considera productiva si es transpirada por la vegetación, se denomina no productiva o agua blanca si se evapora del suelo. Posteriormente la definición de agua verde se modificó como agua de lluvia almacenada en el suelo y usada para el proceso de transpiración de las plantas excluyendo el agua de riego (Savenije, 1999).

Falkenmark, (2000), infirió que para una mejor perspectiva de la gestión del agua se debía utilizar en conjunto los componentes de agua verde y azul. Sin embargo, los estudios realizados por (Hoekstra y Hung, 2002) refutaron la conjunción de los componentes verde – azul porque el consumo de agua incluía los dos componentes, pero se presentaron como un total porque los modelos aplicados en esa época no permitían una distinción explícita.

Hoekstra mientras realizaba sus labores en el Instituto de Educación sobre el Agua de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO – IHE) desarrolló la huella hídrica para cuantificar el agua consumida y contaminada en la producción de un bien o servicio a lo largo de toda la cadena de suministro, el interés por la huella hídrica aumentó después de su introducción en la literatura académica (Water Footprint Network, s.f.).

Chapagain et al., (2006), publicaron el primer artículo para la evaluación de huella hídrica verde y azul por separado, además se realizó la introducción de la huella hídrica gris, pero con el término de volumen de agua de dilución necesario para asimilar una carga contaminante. El término de huella gris no fue comprendido por algunos científicos porque lo tomaron en un sentido normativo para resolver la contaminación por dilución, pero la idea era expresar la contaminación de agua en términos de la cantidad de agua requerida para asimilarla.

Hoekstra y Chapagain, (2007), expandieron los términos de agua verde y azul para el desarrollo de huella hídrica, además incluyeron el término gris para considerar los impactos producidos en la calidad del agua. En el 2008, Hoekstra a cargo de la gestión del agua en la Universidad de Twente en conjunto a los

principales líderes mundiales de las empresas, la sociedad civil, las organizaciones multilaterales y la academia, fundaron la organización Water Footprint Network (WFP) con la misión de reunir las mentes más brillantes para demostrar como la evaluación de la huella hídrica puede ayudar a superar los desafíos del uso insostenible del agua (Water Footprint Network, s.f.).

Hoekstra et al., (2011), mejoraron la definición de la huella hídrica gris al tomar en cuenta las concentraciones naturales de las sustancias químicas en los cuerpos hídricos porque cuando superan los límites máximos permisibles causan la disminución de la capacidad de absorber más cargas contaminantes provenientes de actividades antrópicas, tomando al nitrógeno (N) como la sustancia contaminante básica para el estudio del componente gris. Los científicos (Dourte y Fraisse, 2012), definieron a la huella hídrica de manera similar a la huella ecológica, mientras que una huella ecológica es el área bioproductiva necesaria para mantener a una población, una huella hídrica es el volumen de agua necesaria para mantener a una población.

2.2.2. Origen del agua virtual

Allan, (1997), fue el pionero en introducir el término de agua virtual como cantidad física de agua en el producto y la cantidad de agua necesaria para generar el producto; el agua virtual posee cuatro beneficios y son: efectividad para abordar déficits hídricos, es económicamente invisible, políticamente silencioso y posee movilización más condensada en tiempo y espacio.

Su definición surgió al analizar cómo no han ocurrido guerras por el agua cuando varios países del medio oriente no cuentan con la disponibilidad de agua suficiente para su progreso económico, por lo tanto sugiere que los conflictos por el agua se mitigan con el comercio de alimentos intensivos en agua, aliviando la presión sobre las escasas cantidades de agua de una nación o región, es decir se estaba enfrentando las condiciones de sequía de estos países mediante importaciones de agua virtual a través de productos agrícolas (Allan, 1998).

Hoekstra y Hung, (2002), buscaron la manera de cuantificar los flujos de agua relacionados a la comercialización internacional de alimentos. Mientras que los estudios realizados por (Allan et al. 2003; Chapagain, Hoekstra, y Savenije 2005), mencionan como el indicador permite comprender el flujo de agua entre países o naciones. El agua virtual nació de la necesidad de establecer vínculos

entre consumidores y productores para cuantificar el contenido de agua de los diversos procesos de producción (Orr y Chapagain, 2006).

Velázquez, Madrid y Beltrán, (2011), en sus estudios discutieron el término de agua virtual, definiéndolo como un indicador desde el punto de vista de producción mientras que la huella hídrica se definió como un indicador desde la perspectiva de consumo. Al ser el agua virtual un indicador teórico, surgió la necesidad de crear una metodología para estimar el agua virtual, creándose la huella hídrica.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Consumo de agua

Es la pérdida de agua de un cuerpo hídrico superficial o subterráneo, las pérdidas ocurren cuando el agua: se evapora, es incorporada a un producto o retorna a otra área de captación o al mar (Hoekstra et al., 2011).

2.3.2. Huella hídrica

Es una herramienta de análisis sobre el consumo y contaminación del agua dulce, en el siguiente mapa conceptual se detallan las definiciones y estructuras:

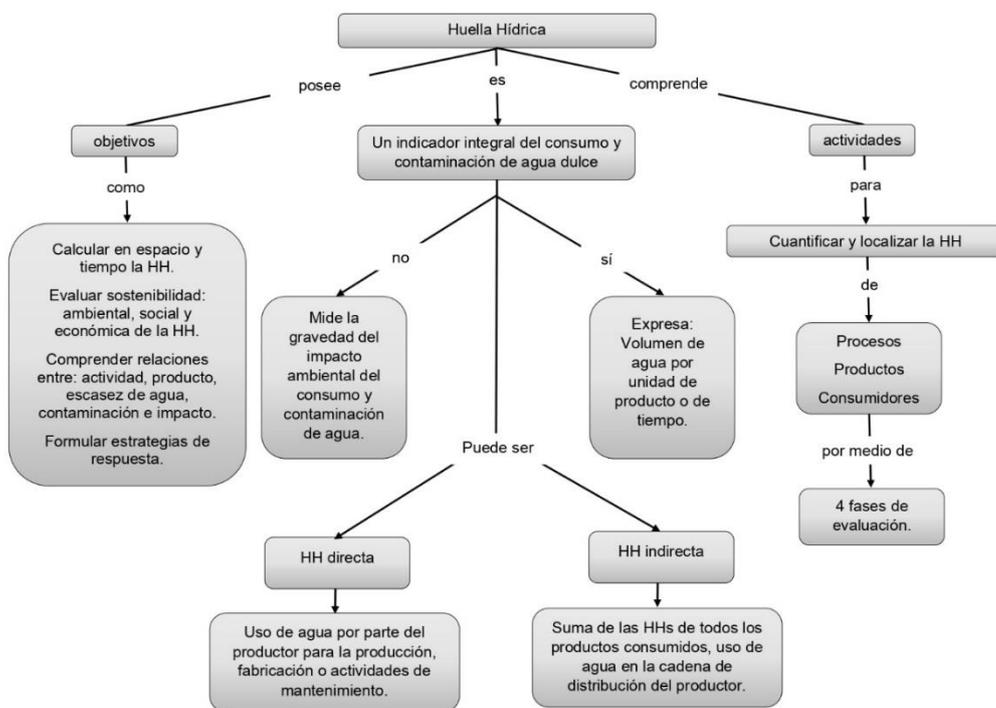


Figura 1. Huella hídrica: definición, objetivos, estructura y clasificación.

Elaborado por: Autor.

2.3.3. Contabilidad de la huella hídrica

En la siguiente tabla 1 se describen los diferentes tipos y niveles de cuantificación de la huella hídrica:

Tabla 1. Escala y/o tipo de contabilidad de la huella hídrica.

Escala/ Tipo	Nombre	Descripción
Global	HH total de la Humanidad	Suma de las HHs de todos los bienes o servicios consumidos al año en todo el mundo.
Nacional	HH dentro de una nación	Toda el agua dulce usada o contaminada para fabricar productos que se consumen en el país o se exportan.
Nacional	HH de consumo nacional	Cantidad total de agua que se consumen en productos generados en el país o importados.
Unidad hidrológica o administrativa	HH de un área delimitada	Suma de HHs de todos los procesos desarrollados en un área particular.
Local	HH de una comunidad	Suma de las HHs individuales de los miembros de una comunidad.
Empresa o Productor	HH corporativa u organizacional	Suma de HHs de los productos entregados por el productor o empresa.
Proceso	HH de un proceso	Es el componente básico para la cuantificación de la HH, es volumen de agua por unidad de tiempo.
Producto	HH de un producto	Es el contenido de agua por producto.
Consumidor	HH de un consumidor	Suma de las HHs de los distintos productos consumidos.

Elaborado por: Autor.

2.3.4. Componentes de la huella hídrica

2.3.4.1. Huella hídrica verde

Water Footprint Network, (2009), define la HH verde como el uso del flujo evaporativo de la superficie terrestre por parte del ser humano para cultivos o bosques de producción. Es aquella agua de lluvia que se almacena en la zona radicular del suelo y se evapora, transpira o incorpora las plantas. Es específicamente de gran relevancia en productos agrícolas, hortícolas y forestales consumidos (Hoekstra et al., 2011).

2.3.4.2. Huella hídrica azul

Water Footprint Network, (2009), lo define como aquella huella hídrica que se obtiene de los recursos hídricos superficiales o subterráneos, es evaporada, es incorporada a un producto o se extrae de una zona de captación y se devuelve a otro o se devuelve en un momento diferente. La HH azul es el uso consuntivo del caudal de escorrentía, es decir la extracción de escorrentía de la cuenca en la medida en que no regresa a la cuenca en forma de flujo de retorno. Es un indicador del consumo del agua dulce superficial o subterránea (Hoekstra et al., 2011).

2.3.4.3. Huella hídrica gris

Water Footprint Network, (2009), la define como la cantidad de agua dulce requerida para la asimilación de la carga contaminante y cumplir con los estándares específicos de calidad de agua, considera la contaminación de fuente puntual descargada a un cuerpo de agua dulce directamente a través de una tubería o indirectamente por: escorrentía o lixiviación del suelo, superficiales impermeables u otras fuentes difusas. Es el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes hasta tal punto que la calidad del agua ambiental se mantiene por encima de los estándares de calidad del agua acordados (Hoekstra et al., 2011).

En la figura 2 se visualiza los tres tipos de agua de conforman la huella hídrica y sus respectivas interacciones en un cultivo.

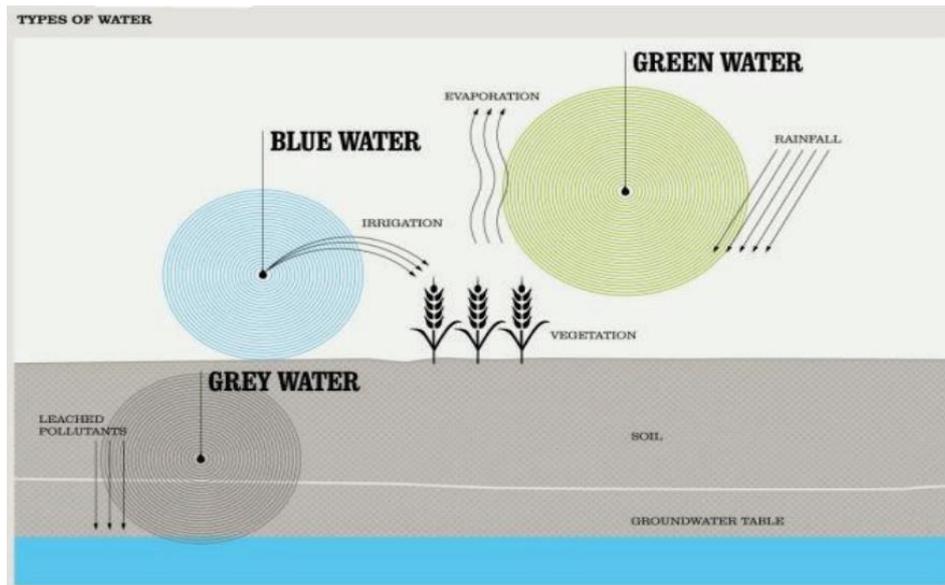


Figura 2. Tipos de agua de la huella hídrica.

Elaborado por: Cabezas y González, (2017).

2.3.5. Agua virtual

Es un indicador de la cantidad de agua incorporada a un alimento, su definición y características se detallan a continuación:

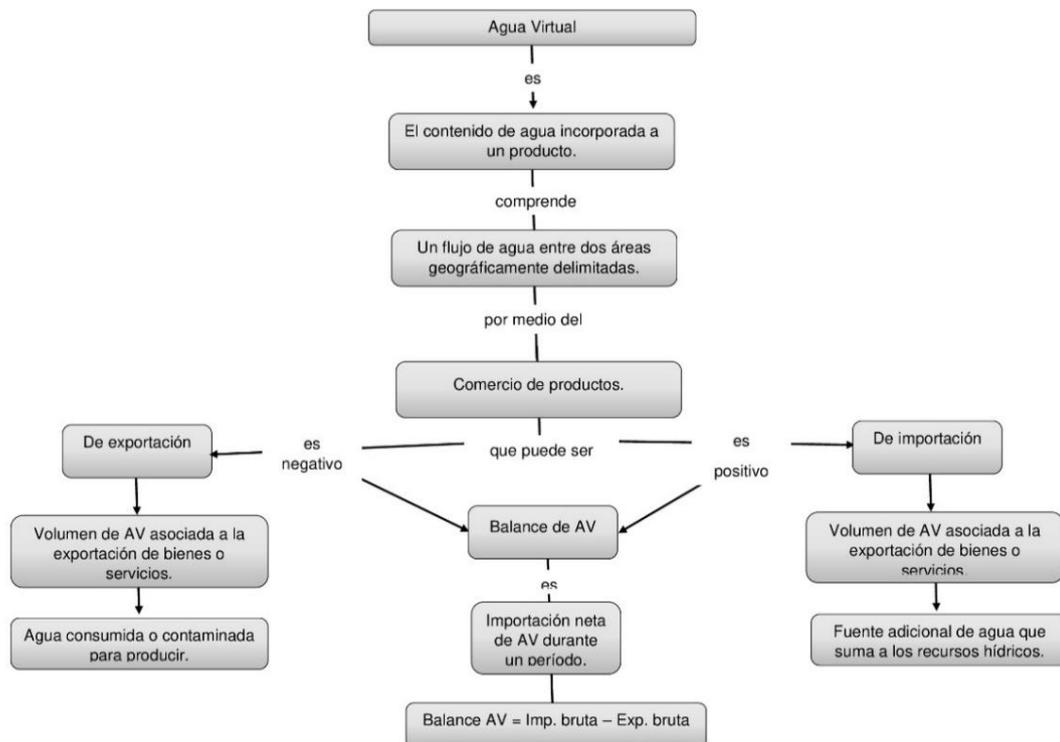


Figura 3. Agua Virtual: definición, clasificación y dinámica.

Elaborado por: Autor.

2.3.6. Huella hídrica y agua virtual

En el siguiente diagrama de Venn se muestran las diferencias y similitudes entre la huella hídrica y el agua virtual.



Figura 4. Diferencias y semejanzas de la huella hídrica y agua virtual.

Elaborado por: Autor.

2.3.7. Sistema agrícola

Es una compleja matriz de interrelaciones entre: el suelo, las plantas, los animales, insumos, energía, mano de obra, capital y otros insumos empleados por parte de los agricultores y están en función a factores: políticos, económicos, institucionales y sociales (Behera, y Sharma, 2007).

2.3.8. Sistema de cultivo

Patrón de productos cultivados que transforman la energía solar, nutrientes, agua y otros insumos en: biomasa útil, alimentos, combustibles y fibras; es el orden en que se cultiva en una parcela de tierra durante un periodo fijo. Está conformado por subsistemas de suelos, cultivos, malezas, patógenos e insectos. Interactúa con los recursos agrícolas, empresas y tecnología. (Rana, S. y Rana, M., 2011).

2.3.9. Arroz

2.3.9.1. Características generales

Comprende dos especies principales: *Oryza sativa*, siendo la más característica a nivel mundial y sus dos variedades ecogeográficas, la adaptada a los trópicos conocida como índica y la adaptada a las regiones templadas y a las tierras altas tropicales denominada japónica; y la *Oryza glaberrima* presente en la zona occidental del continente africano. En la década de los noventa en las zonas

altas y secas de África Subsahariana se realizaron cruces entre las especies *O. sativa* y *O. glaberrima* dando como resultado un nuevo tipo de arroz denominado NERICA (Jones et al., 1997).

El cultivo de arroz se realiza en dos ambientes característicos, el inundado en tierras bajas dónde el suelo se encuentra saturado con aguas estancadas durante la etapa de crecimiento; y el arroz cultivado en tierras altas dónde el suelo se caracteriza por poseer buen drenaje, sin estancamiento de aguas, es decir saturación hídrica. El crecimiento del arroz se da sólo en verano en las regiones templadas y los subtrópicos mientras que crece durante todo el año en los trópicos (FAO, 2012).

La producción de arroz conforma la fuente alimentaria de alrededor de 3.000 millones de seres humanos, la producción global de arroz con cáscara es de 650 – 700 millones de toneladas, siendo el continente asiático el mayor productor y consumidor en el mundo con un 90%. En el mundo existen aproximadamente 158 millones de ha para el cultivo de arroz inundado de las cuales 101 y 57 millones de hectáreas comprenden a cosechas de arroz de riego y arroz inundado de secano, de los cuales unos 11 millones de ha son proclives a inundaciones no controladas como: zonas de aguas profundas, zonas costeras sumergidas por la marea, zonas afectadas por crecidas repentinas debido al exceso de precipitaciones (FAO, 2012).

En las zonas tropicales se desarrolla el crecimiento de arroz por monocultivos y por riego obteniéndose anualmente dos cultivos, sin embargo en el delta de Mekong hay tres cultivos al año y en países como India y China el crecimiento del arroz se da sólo en verano, rotándolo con otros sistemas de cultivos como es el de trigo – arroz. El arroz inundado en época seca se cultiva en áreas de India Oriental y zonas norte de Tailandia (FAO, 2012).

2.3.9.2. Etapas del cultivo

Las etapas para el cultivo de arroz se mencionan de manera concreta en la siguiente tabla 2:

Tabla 2. Etapas del cultivo de arroz.

Etapa	Descripción
Preparación del terreno	Rastrilleo superficial del terreno, regulación de malezas, reducción permeabilidad del suelo, nivelación de humedad.
Siembra	Método de Trasplante: germinación de semillas en cama, trasplante manual, fertilización. Método siembra directa: humectación o inundación del suelo, siembra al voleo o surcos, fertilización.
Crecimiento	De la germinación al florecimiento entre 3 y 5 meses. De la floración a la maduración: 1 mes.
Desarrollo	Durante floración rango de temperatura óptima entre 8 – 35°C, por debajo o encima de esta daña el polen.

Elaborado por: Autor.

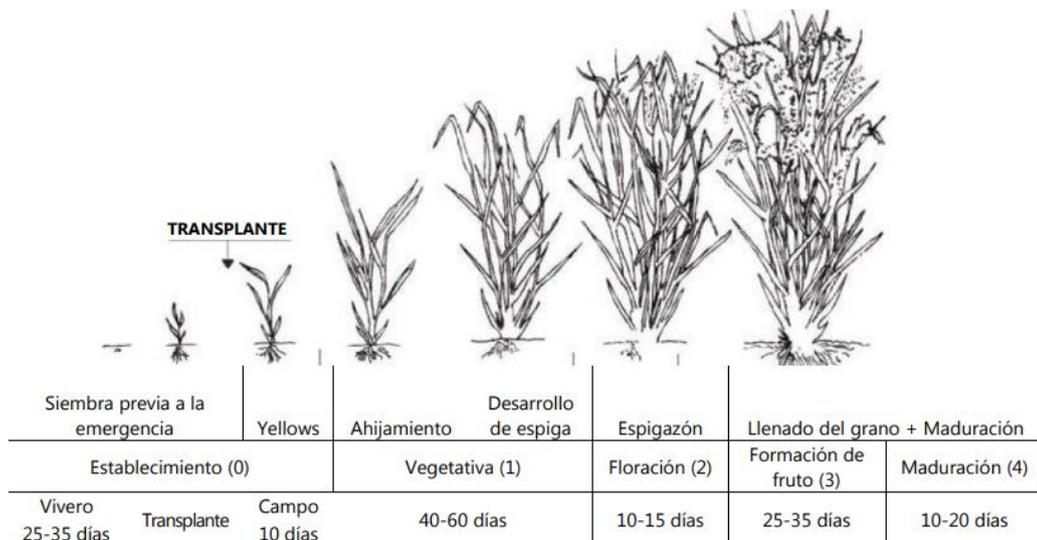


Figura 5. Etapas del desarrollo típico del arroz.

Fuente: (FAO, 2012).

2.3.9.3. Riego

Las prácticas de riego varían de acuerdo a diversos factores, a continuación se muestra algunos de ellos:

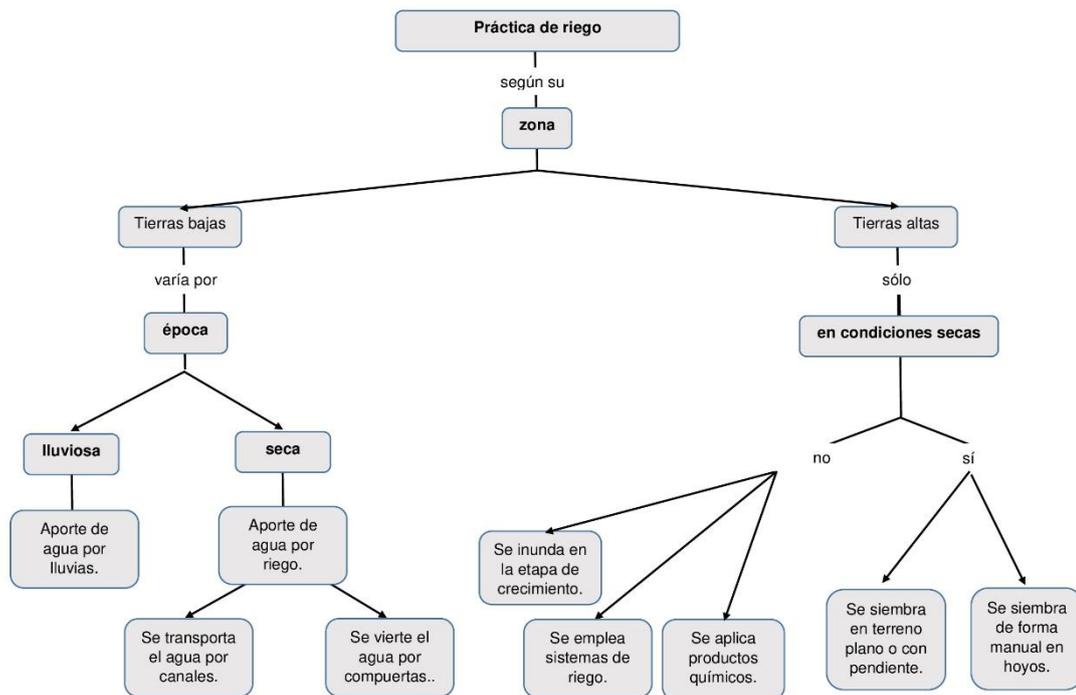


Figura 6. Prácticas de riego según su zona y época.

Elaborado por: Autor.

Bouman et al., (2007), afirma que el cultivo de arroz en tierras bajas se debe mantener un estancamiento de agua de alrededor de 50 a 100 mm por una o dos semanas antes de la cosecha; el aporte de agua verde o azul está en función a la tasa de percolación del suelo, es decir depende si el suelo es arcilloso o arenoso. (Bouman, Lampayan y Tuong, 2007), establecen medidas de ahorro de agua como es la alternancia de humectación – secado, es decir inundar de manera intermitente por un intervalo de 10 días cuándo la escasez de agua impide mantener los cultivos inundados.

Un sistema de producción moderno en tierras altas son los cultivos aérobios, crecen en terreno plano, drenados sin enfangar y sin saturación; este método se emplea en Brasil y China, consiste en sembrar en seco directamente ya sea al voleo o en surcos con riego de inundación sin inundar el suelo, es decir deja al suelo de la zona radicular en capacidad de campo (Bouman, Lampayan y Tuong, 2007).

2.3.9.4. Productividad y demanda de agua

De acuerdo a Bouman et al., (2007), el arroz inundado difiere en productividad y uso de agua con respecto a aquellos producidos en zonas altas y a otros tipos de cereales; a nivel global el arroz de riego depende de un 24 a 30% de

todas las fuentes de agua dulce. El agua es empleada para preparar el suelo y compensar las pérdidas de agua por: filtración, percolación, evaporación y transpiración; se utiliza alrededor de 100 a 150 mm de agua para la preparación de suelo húmedo, sin embargo en sistemas de riego a gran escala consume hasta 1.000 mm; las variaciones de percolación fluctúan entre: 1 – 5; 25 – 30; en suelos arcillosos y suelos arenosos o franco arenosos, respectivamente (Bouman, Lampayan y Tuong, 2007).

En la etapa de cobertura completa del dosel, la tasa de evapotranspiración (ET) del arroz es superior a la evapotranspiración de referencia (ET_0), la tasa media de ET diaria oscilan entre 4 – 5 mm/día en época húmeda y 6 – 7 mm/día en época seca en las zonas tropicales, teniendo picos máximos de 10 – 11 mm/día en regiones semiáridas o subtropicales. La ET mundial del arroz es de 860 Km³/año (FAO, 2012).

La productividad de agua con respecto a la transpiración para rendimiento de grano de arroz es de unos 2 Kg/m³, la productividad de agua en función a la evapotranspiración tiene un promedio de 11 Kg/m³ asemejándose a la del trigo, la productividad en función al aporte de agua, es decir de riego y la de precipitación es de 0,4 Kg/m³ (Bouman et al., 2007).

2.3.9.5. Estrés en el cultivo

Debido al sistema radicular superficial del arroz es sensible a la escasez de agua; en términos de sensibilidad de los órganos del arroz al bajo potencial de agua (Hsiao et al., 1984).

(Lilley y Fukai, 1994; Wopereis et al., 1996), determinaron que la expansión del dosel y foliar se inhiben cuando empieza a agotarse el agua disponible en el suelo. Así mismo existen pérdidas de rendimiento durante la floración: hay alteración en la polinización por parte de las espigas si el potencial hídrico es bajo y como resultado una cosecha poco productiva, también las elevadas temperaturas y vientos fuertes provocan la deshidratación de las espiguillas o al poseer poca resistencia epidérmica se desprenden ocasionando las cabezas blancas o quemado reduciendo las cosechas (O'Toole, Hsiao y Namuco, 1984).

A pesar de la adaptación del arroz al encharcamiento, si queda completamente sumergido puede ser fatal, ya que sólo resisten un período de 3 a 4 días aunque existen variedades de secano en tierras inundadas capaces de estar sumergidas hasta por un período, cómo es el caso de un gen (sub1) que confiere

tolerancia a estar sumergido por completo en la primera etapa de crecimiento (FAO, 2012).

Según Shannon, (1997), el arroz presenta sensibilidad ante la salinidad, esto se debe a la intrusión de agua proveniente del mar en las zonas costeras o la salinidad de agua o del suelo en territorios continentales. El umbral que provoca una disminución en el rendimiento es de 3 dS/m de conductividad eléctrica del suelo, si llega a 10 dS/m ocurriría una pérdida del rendimiento de un 90%; el arroz es tolerante a las sales en el periodo de: germinación, ahijamiento, madurez, sin embargo es sensible durante las etapas iniciales de las plántulas, la floración y llenado de los granos (FAO, 2012).

Los cultivos de arroz requieren de 15 – 20 Kg/ha de N , 2 – 3 Kg/ha de P y 15 – 20 Kg/ha de K, aunque también están en función del rendimiento que se desee obtener, la fertilidad del suelo, el manejo de residuos y la cantidad de nutrientes disponibles ya sea por riego o disposición atmosférica (FAO, 2012).

2.3.9.6. Rendimiento del cultivo

Se expresa como arroz con cáscara con 14% de contenido de humedad, este incluye una cascarilla con un peso de 20% y el grano entero; la forma menos procesada del arroz, es decir, el pardo es aquel que no posee su cascarilla exterior, sin embargo posee capas internas con un peso de 11%. A través de la molienda se obtiene el arroz blanco con un 69% del peso y consiste en el germen y el endosperma amiláceo (Peng et al., 1999).

La media global de rendimiento de arroz inundado es de 5 ton/ha, las variedades poseen 8 a 10 ton/ha en estación seca y 6 a 8 ton/ha en época lluviosa; las variedades con duración de 120 a 150 días en climas templados y subtropicales poseen un rendimiento de 12 ton/ha con picos máximos de 17 ton/h; en el caso de los arroces híbridos poseen un aumento entre 5 y 15%; la media en el rendimiento de arroz inundación incontrolada es de 1,5 ton/ha debido al déficit hídrico y a la ausencia de oxígeno cuando se inunda de más y en buenas condiciones el rendimiento de arroz inundado en seco tiene una media de 4 a 5 ton/ha, pero con estrés abiótico se reduce a 2 ton/ha; en tierra altas el rendimiento es de 1 ton/ha y el aerobio es de 4 a 6 ton/ha si se aplica 90 Kg de N/ha (Peng et al., 1999).

El índice de cosecha es diferente de acuerdo a su: ubicación, estacionalidad y condiciones de crecimiento, para las variedades modernas de regiones tropicales con corta duración es del 45 al 50% en época seca y de 35 a 40% en época lluviosa;

en el caso de las variedades de larga duración en tierras inundadas pero en condiciones de secano es de 35%; para el arroz híbrido es de 40 a 50%, sin embargo en situaciones extremas el índice de cosecha puede llegar a ser casi 0% (FAO, 2012).

2.4. MARCO LEGAL

El siguiente marco legal hace referencia a los artículos más relevantes relacionados al tema del trabajo de titulación, entre los cuales tenemos:

En la constitución de la república del Ecuador se estipulan las siguientes responsabilidades del Estado: art. 281 garantizar a sus habitantes la soberanía alimentaria, art. 314 indica la responsabilidad de proveer servicios de agua potable y riego, art. 410 brindar a las zonas rurales el apoyo para conservar y restaurar los suelos, el desarrollo de prácticas agrícolas que promuevan la soberanía alimentaria, los art. 411 y 412 indican la garantía de la conservación, recuperación, el manejo integral de los recursos hidrológicos, la sostenibilidad y la gestión responsable del agua.

La ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua mencionan en el art. 12 la corresponsabilidad de las juntas de riego, usuarios y Estado la conservación de las fuentes de agua, art. 39 el servicio público de riego y drenaje se ejecutará bajo responsabilidad de los GAD provinciales y el riego parcelario bajo responsabilidad de los productos de cada predio, art. 80 la prohibición el vertido directo o indirecto de aguas residuales, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

Con respecto al Código Orgánico del Ambiente menciona en el art. 222 la prohibición de importar o introducir contaminantes orgánicos persistentes de uso agrícola cuyo uso haya sido prohibido por el Estado y art. 238 la responsabilidad del generador de residuos y desechos peligrosos y especiales la eliminación o disposición final de estos.

El Reglamento al Código Orgánico del Ambiente establece en el art. La importancia de la conservación y manejo de la biodiversidad dulceacuícola, prohibiendo verter residuos sólidos y líquidos así como el uso de biocidas, el art. 282 indica la asistencia técnica ea la zonas rurales dedicadas a las actividades

agrícolas y el art. 542 establece los requisitos para el registro y control para el uso de plaguicidas agrícolas.

Referente al Acuerdo Ministerial 097 A se hizo énfasis en el punto 5.1.2 Criterios de calidad de aguas para preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marina y estuarios, tabla 2 para el conocimiento de la cantidad máxima permisible de nitratos disponibles en el agua dulce.

A continuación se muestra una tabla resumiendo las normativas con su respectiva referencia legal sobre los temas que comprenden la huella hídrica y agua virtual.

Tabla 3. Normativa legal aplicable.

Normativa	Referencia legal
	Título II – Capítulo Segundo: Sección Primera: Agua y Alimentación, art. 12. Sección Segunda: Ambiente Sano, art. 14.
Constitución de la República del Ecuador	Título II – Capítulo Séptimo: Derechos de la Naturaleza, art. 71, 72 y 74
Registro Oficial No. 449	Título VI – Capítulo Primero: Principios Generales, art. 276.
20 de octubre del 2008.	Título VI – Capítulo Tercero: Soberanía Alimentaria, art. 281.
	Título VI – Capítulo Quinto: Sectores Estratégicos, Servicios y Empresas Públicas, art. 314.
	Título VII – Capítulo Segundo: Sección Primera: Naturaleza y Ambiente, art. 396, 397. Sección Quinta: Suelo, art. 410. Sección Sexta: Agua, art. 411, 412.
ISO 14046:2014 Gestión Ambiental.	Huella del Agua: principios, requisitos y directrices de aplicación.
Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	Título II – Capítulo I: Definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos, art. 12. Título II – Capítulo II: Sección Tercera: Gestión y Administración de los Recursos Hídricos, art. 32, 33 y 35.

<p>Registro Oficial No. 305 06 de agosto del 2014.</p>	<p>Sección Cuarta: Servicios Públicos, art. 39 – 41. Sección Sexta: Gestión Comunitaria del Agua, art. 47, 48 y 54.</p>
	<p>Título III – Capítulo I: Derecho Humano al Agua, art. 60.</p>
	<p>Título III – Capítulo III: Derechos de la Naturaleza, art. 64.</p>
	<p>Título III – Capítulo IV: Derechos de los Usuarios, Consumidores y de Participación Ciudadana, art. 70.</p>
	<p>Título III – Capítulo V: Derechos Colectivos de Comunas, Comunidades, Pueblos y Nacionalidades, art. 71.</p>
	<p>Título III – Capítulo VI: Garantías Preventivas Sección Segunda: Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua, art. 80.</p>
	<p>Libro Primero, Título II – Capítulo II: De las Facultades Ambientales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, art. 28.</p>
<p>Código Orgánico del Ambiente</p>	<p>Libro Segundo, Título IV – Capítulo III: Del Biocomercio, art. 81.</p>
<p>Registro Oficial Suplemento No. 983 12 de abril del 2017</p>	<p>Libro Tercero, Título II</p>
	<p>Capítulo I: Del Régimen Institucional, art. 161.</p>
	<p>Capítulo V: Calidad de los Componentes Abióticos y Estado de los Componentes Bióticos, art. 190 y 197.</p>
	<p>Libro Tercero, Título IV: Gestión Integral Nacional de Sustancias Químicas, art. 222.</p>
	<p>Libro Tercero, Título V – Capítulo III: Gestión Integral de Residuos y Desechos Peligrosos y Especiales, art. 238.</p>
<p>Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización</p>	<p>Título III – Capítulo IV</p>
	<p>Sección Primera: Naturaleza Jurídica, Sede y Funciones, art. 64.</p>
	<p>Título V – Capítulo IV: Del Ejercicio de las Competencias Constitucionales, art. 133, 135 y 136.</p>
<p>Registro Oficial Suplemento No. 303</p>	<p>Título VIII – Capítulo VIII</p>
	<p>Sección Cuarta: Reglas Especiales Relativas a los Bienes de Uso Público y Afectados al Servicio Público, art. 431.</p>

19 de octubre del 2010.	Título IX – Capítulo II Sección Primera: Fraccionamientos Urbanos y Agrícolas, art. 471.
Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (COA) Registro Oficial Suplemento No. 507 12 de junio del 2019.	Libro preliminar - Título II, Art. 5, literal a – b. Libro Segundo - Título VII, Capítulo I, art. 260 literal c. Título VIII, Capítulo I, art. 282 Asistencia técnica; Capítulo VII, art. 357 Control en plantaciones Libro Tercero - Título VI, Capítulo III Gestión, art. 542 Uso de plaguicidas, art. 543 Obligaciones de los proveedores.
Acuerdo Ministerial (AM) No. 061 Reforma del Libro VI TULAS No. 316 4 de mayo de 2015.	Título III – Capítulo VI Gestión Integral de Residuos Sólidos No Peligrosos, y Desechos Peligrosos y/o Especiales, art. 54, 88, 91, 92, 94. Título III – Capítulo VIII Calidad de los Componentes Bióticos y Abióticos, art. 209 y 210.
Acuerdo 097 – A Reforma TULAS No. 387 4 de noviembre de 2015.	Anexo I – Libro VI: 5.1.2 Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en aguas marinas y de estuarios, Tabla 2. 5.1.3 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego, Tabla 3 y 4. Anexo I – Libro VI: 5.2.4 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce, Tabla 9: 5.2.4.9 y 5.2.4.10.

Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO III

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1. Área de estudio

Daule se encuentra ubicado en la zona céntrica de la provincia del Guayas y comprende una extensión territorial de 534,86 Km², tiene un rango altitudinal que oscila entre los 8 a 25 m.s.n.m.; limitando al norte con el cantón Santa Lucía, al sur con el cantón Guayaquil, al este con los cantones Salitre y Samborondón, y al oeste con los cantones de Nobol y Lomas de Sargentillo. Su división política se conforma por: 4 parroquias rurales: Los Lojas, Los Tintos, Laurel y Limonal; 7 parroquias urbanas: Magro, Banife, Juan Bautista Aguirre, Santa Clara, Emiliano Caicedo, Vicente Piedrahita y La Aurora; posee 166 recintos (GAD Municipal de Daule, 2014).

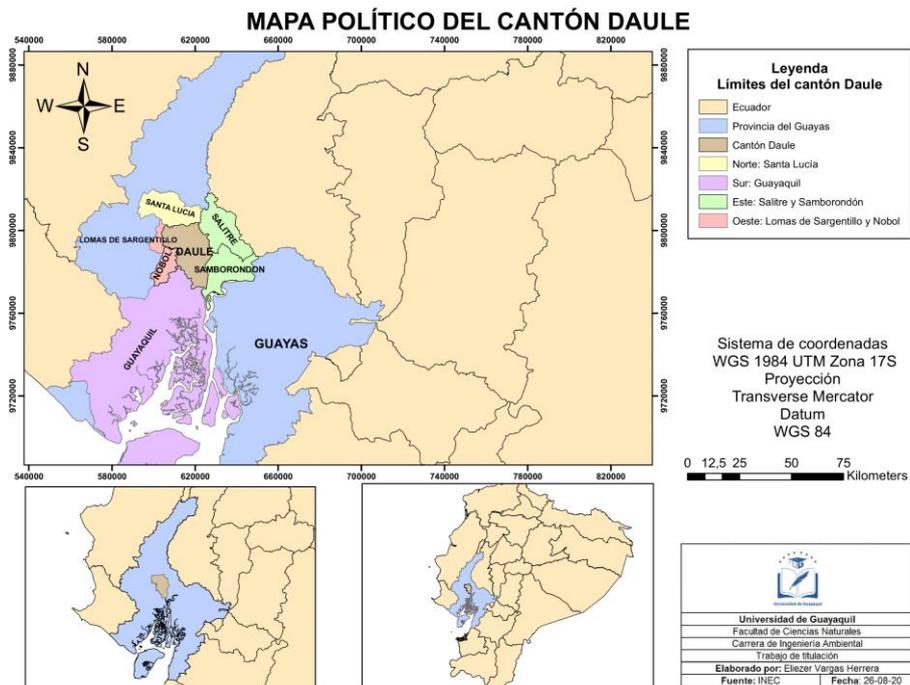


Figura 7. Mapa político del cantón Daule y sus límites.

Elaborado por: Autor.

De acuerdo al censo poblacional realizado por INEC, (2010), para esa fecha el territorio de Daule contaba con una población ascendente de 120.326 habitantes. Para el año 2.014 basándose en las proyecciones del INEC y los datos proporcionados por la inmobiliaria privada con respecto al sector urbano de la Aurora, el cantón posee 159.175 habitantes; en las zonas rurales la desaceleración

de las tasas de crecimiento es producto de la migración (GAD Municipal de Daule, 2014).

Su relieve es en su mayoría plano con 0 a 3% de pendiente los cuales se asocian a valles inundados para el desarrollo de cultivos de arroz representando un 80% de la extensión del territorio, con respecto a su geomorfología predominan los depósitos aluviales, los valles fluviales y terrazas. Sus suelos son francos, es decir de textura media y con fertilidad media – alta, representan el 86,2% de la superficie del cantón. En cuanto a uso y cobertura del suelo 70% para cultivos de arroz, 8,58% para el pasto, 12,97% para la vegetación natural compuesta por: bosque seco, matorral seco y pasto natural (GAD Municipal de Daule, 2014).

El clima de Daule según la clasificación de Pourrut, (1995) es mayormente tropical megatérmico húmedo excepto en la parroquia los Lojas que presente un clima tropical megatérmico semi – húmedo. La información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) indica una temperatura media de 26°C, precipitaciones medias anuales de 1.210 mm y medias mensuales de 100 mm, posee humedades relativas anuales de 88%, vientos de este a oeste a una velocidad de 6,24 m/s y con alta nubosidad. El cantón está circunscripto a la subcuenca del mismo nombre y comprende el 36% de la cuenca del Guayas siendo los ríos: Daule, Pula, Jigual, Jaboncillo y una red de canales de riego situadas en las áreas agrícolas conforman el sistema hídrico del cantón (GAD Municipal de Daule, 2014).

La evaluación de huella hídrica y agua virtual se realizó en el cantón Daule en las zonas circunscriptas a la junta de riego y drenaje América – Lomas, la cual cuenta con 6 sectores dónde se desarrollan únicamente cultivos de arroz. Para el desarrollo de este proyecto se consideró las dos épocas del año presentes en Ecuador y se tomó como puntos de evaluación a 3 de los 6 sectores, sus coordenadas geográficas proyectadas son las siguientes:

Tabla 4. Coordenadas UTM de los sectores de estudio.

Número de sector	Coordenada en X	Coordenada en Y
1	607451	9799761
3	606560	9796217
4	608809	9795225

Elaborado por: Autor.

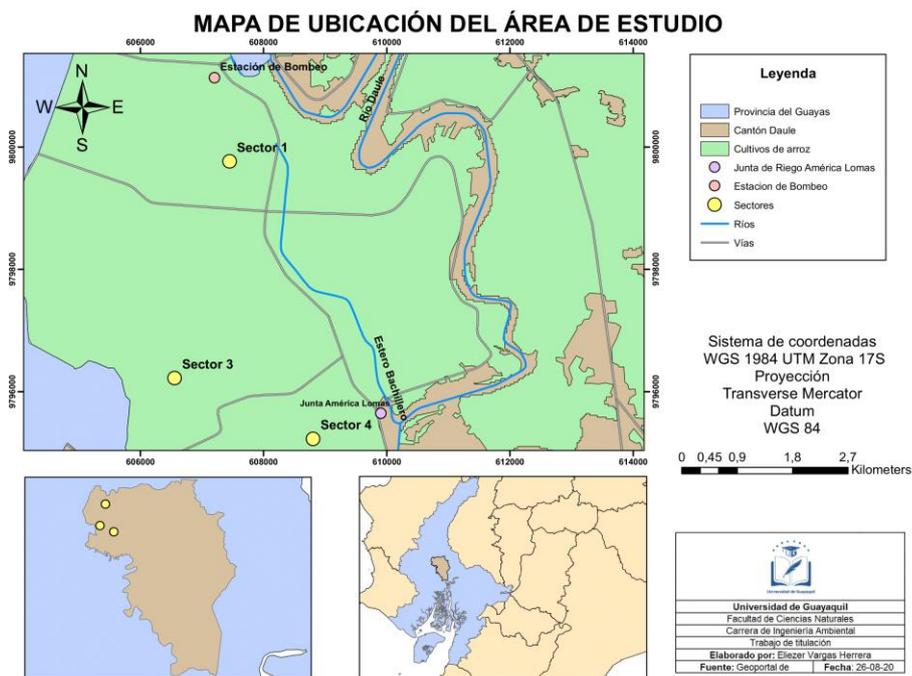


Figura 8. Mapa de ubicación de los tres sectores de estudio.

Elaborado por: Autor.

3.1.2. Diseño experimental

El sector 1 cuenta con una extensión de 1 ha y su técnica de cultivo es la siembra directa, el sector 3 posee una extensión de 2 ha y se aplican dos técnicas de cultivo: la siembra directa para la estación lluviosa y trasplante en época seca, el sector 4 posee una extensión de 11 ha y la técnica de cultivo empleada es la de trasplante. Para mejor comprensión se le asignó el número 1 y 2 a las épocas lluviosas y secas, respectivamente, de igual manera los meses del año se enumeraron en secuencia cronológica. La cuantificación de los indicadores de consumo y contaminación del agua se realizó mediante los siguientes insumos:

Programas: Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Polaris Navegación para el registro de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM), Climwat 2.0 como base de datos de los parámetros meteorológicos de Daule, Cropwat 8.0 para el cálculo de ET_o verde y azul, Arcgis para la elaboración de mapas, Excel, Minitab y Statgraphics para la parte estadística.

Ecuaciones propuestas por: Penman Monteith para el cálculo de la ET_o , por el Servicio de Recursos, Fomento y Aprovechamiento de Agua (FAO/AGLW) para la obtención de la precipitación efectiva, Hoekstra para la cuantificación de la huella hídrica y Salmoral para estimación del agua virtual.

Métodos de recolección de información: entrevistas, registros fotográficos y revisión literaria.

3.1.3. Métodos

3.1.3.1. Recopilación de información

Para el desarrollo del proyecto se procedió a la recopilación de información mediante: revisión bibliográfica en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Daule, utilización de un software proporcionado por la FAO y una visita de campo en la zona de estudio.

Se procedió a la obtención de las variables climáticas de la zona mediante un software llamado Climwat 2.0, es un programa que posee una base de datos agroclimáticos de diversas estaciones distribuidas alrededor del mundo, proporciona valores medios mensuales a largo plazo de 7 parámetros climáticos: temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad media del viento, promedio de horas del sol, radiación solar, precipitación mensual y precipitación efectiva mensual, evapotranspiración; esta base de datos en conjunto con el Cropwat 8.0 permitieron el cálculo de los componentes azul y verde (FAO, s.f.).

Se realizó una revisión literaria del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Daule para conocer aspectos básicos de la composición del suelo. Para el levantamiento de información en campo se hicieron visitas a la junta de riego América – Lomas dónde se realizaron entrevistas a los dueños de los tres sectores de estudio sobre: la extensión y localización de los cultivos, productos químicos usados, el sistema de riego, el sistema de cultivo y producción por estacionalidad; esto permitió la determinación de la huella hídrica gris y el agua virtual. De igual manera se realizaron visitas a cada uno de los sectores para el registro de las coordenadas geográficas y registro fotográfico de los cultivos.

3.1.3.2. Método Penman – Monteith

FAO, (1998), propuso un método estándar para calcular la ET_o , consiste en la combinación de la ecuación original de Penman – Monteith de: balance de energía con el método de transferencia de masa, la ecuación de la aerodinámica y la ecuación de resistencia superficial. El método para calcular la ET_o se expresa en la ecuación:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)}$$

Dónde:

ET_o: evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹).

R_n: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹).

G: flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹).

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

u₂: velocidad del viento a 2m de altura (m s⁻¹).

e_s: presión de vapor de saturación (kPa).

e_a: presión real de vapor (kPa).

e_s - e_a: déficit de presión de vapor (kPa).

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹).

γ: constante psicométrica (kPa °C⁻¹).

A continuación se describen términos utilizados en el método ya mencionado:

Tabla 5. Términos de evapotranspiración usadas en el cálculo.

Nombre	Descripción
Evaporación	Proceso mediante el cual el agua se transforma de líquido a vapor de agua, pérdida de agua en superficie del suelo.
Transpiración	Vaporización del agua contenida en los tejidos vegetales y la eliminan en forma de vapor a la atmósfera.
Evapotranspiración (ET)	Combinación de procesos mediante los cuales se pierde agua, la evaporación y la transpiración de los cultivos.
ET de referencia (ET _o)	Tasa de ET de una superficie de referencia sin restricción de agua independiente del tipo y desarrollo del cultivo.
ET bajo condiciones estándar (ET _c)	Es la ET de cultivos sin enfermedades y bien fertilizados, en condiciones ideales de clima y humedad del suelo.

ET bajo condiciones no estándar (ET _{c adj})	Se refiere a la ET que difieren de las condiciones estándar.
--	--

Elaborado por: Autor.

3.1.3.3. Cropwat 8.0

Para calcular la huella hídrica verde y azul se procedió a la exportación de los datos climáticos de la estación meteorológica CW 44 Daule desde el Climwat 2.0 a Cropwat 8.0.

Cropwat 8.0 es un software proporcionado por la FAO que permite el cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos y de riego considerando los datos climáticos, tipo de suelo y de cultivo de la zona de estudio, permite la elaboración de cronogramas de riego para diferentes condiciones y tipos de cultivos, contribuye a la evaluación de las prácticas de riego de los agricultores y estimar el rendimiento de los cultivos en secano y regadío (FAO, s.f.).

En la tabla 6 se detallan los parámetros climáticos que se calculan en el programa, son datos correspondientes a una estación meteorológica en específico y consisten en medias anuales para un período de 30 años.

Tabla 6. Parámetros climáticos calculados en Cropwat.

Datos	Descripción
Temperatura del aire	Se refiere a las temperaturas: máxima y mínima diarias observadas por 24 horas a partir de la media noche.
Humedad del aire	Es la relación entre la cantidad de agua real que contiene el ambiente y máxima que podría contener a la misma temperatura.
Velocidad del viento	Caracterizada por su velocidad y dirección, permite el remplazo continuo de aire y elimina el vapor de agua.
Radiación solar	Cantidad de energía proveniente del sol y llega a la tierra pudiendo ser absorbida o reflejada.
Insolación directa	Cantidad de radiación solar que es recibida durante un periodo de tiempo sin interferencia de las nubes.

Elaborado por: Autor.

Una vez calculada la ET_o de manera automática en Cropwat a partir de los datos climáticos de la zona de estudio, se procedió a calcular la precipitación efectiva local. Cropwat estimó de manera automática la precipitación efectiva aplicando la fórmula de precipitación confiable (FAO/AGLW) que posee un factor de corrección de 3 mm. Las ecuaciones son las siguientes:

$$P_{ef} = 0.6 * P - 10, \text{ sí } P \leq 70$$

$$P_{ef} = 0.8 * P - 24, \text{ sí } P > 70$$

Dónde:

P_{ef} : precipitación efectiva (mm).

P : precipitación (mm).

Posteriormente se ingresaron los datos del cultivo en Cropwat para la evaluación del cultivo de arroz desde su etapa inicial hasta su etapa final, esta información se encuentra disponible en la guía para la determinación de requerimiento hídrico de los cultivos establecido por (FAO, 1998). En la tabla 7 se detallan los datos del cultivo que se toman en cuenta:

Tabla 7. Datos generales de cualquier tipo de cultivo.

Dato	Descripción
Coeficiente de cultivo (K_c)	Coeficiente encargado de relacionar la ET de un cultivo con la ET_o o ET_c , este valor varía en cada etapa del cultivo.
Agotamiento crítico (p)	Nivel preciso de humedad en el suelo, si no se encuentra en los rangos adecuados se convierte en un estrés para el cultivo.
Factor de rendimiento (K_y)	Detalla el decremento de la productividad a causa de la reducción de la ET_c por ausencia de agua.
Otros	Altura del cultivo, profundidad radicular y etapas del cultivo.

Elaborado por: Autor.

Las etapas del cultivo de arroz y su respectiva codificación empleadas en Cropwat 8.0 son las siguientes:

Tabla 8. Etapas del cultivo de arroz.

Técnica de cultivo	Etapas	Código	Descripción
Trasplante	Almácigo	0	Siembra de semillas en el almácigo.

Siembra directa/Trasplante	Preparación del suelo	1	Labranza, acondicionamiento del suelo para sembrar.
Siembra directa/Trasplante	Inicial	2	Desde la plantación hasta que el cultivo cubre el 10% de la cobertura del suelo.
Siembra directa/Trasplante	Desarrollo del cultivo	3	Desde que el cultivo cubre el 10% del suelo hasta su cubrimiento total. Floración.
Siembra directa/Trasplante	Mediados de temporada	4	Desde la cobertura plena hasta inicio de la madurez.
Siembra directa/Trasplante	Final	5	Desde el inicio de la madurez hasta la cosecha o total senescencia.

Fuente: FAO, (1998).

Por último en Cropwat se estimó los datos del suelo del territorio de Daule a partir de la información obtenida del PDOT cantonal, los datos a tomar en cuenta son los siguientes:

Tabla 9. Datos del suelo a emplear.

Dato	Descripción
Humedad de suelo disponible total (CC – PMP)	Cantidad de agua total disponible para ser aprovechada por un cultivo, depende de la textura, estructura y contenido de MO.
Capacidad de campo (CC)	Volumen de agua capaz de ser retenido en suelos drenados a pesar de la presencia de fuerzas gravitacionales.
Punto de marchitez permanente (PMP)	Punto mínimo de humedad en que los cultivos no pueden extraer agua del suelo y se marchitan.
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	Lámina de agua capaz de infiltrarse en el suelo en un día, depende del tipo de suelo, pendiente, intensidad de lluvia o riego.
Profundidad radicular máxima	Capacidad del cultivo para aprovechar agua del suelo a través de sus raíces.
Agotamiento inicial de la humedad del suelo (% ADT)	Se refiere a las condiciones de sequedad del suelo en la etapa inicial del cultivo.

Elaborado por: Autor.

El suelo del cantón se caracteriza por ser franco, por lo tanto se lo clasifica como suelo de textura media, adicionalmente se obtuvieron datos de suelo medio para el cultivo de arroz. Una vez realizado los procesos mencionados se obtuvieron las precipitaciones efectivas o ET verde y los requerimientos hídricos del cultivo de arroz o ET azul expresados en términos de mm/período para cada uno de los sectores y por estacionalidad.

3.1.3.4. Modelo de la huella hídrica

La huella hídrica total del proceso de un cultivo en específico se expresa en términos de volumen/masa y resulta de la suma de sus componentes: verde, azul y gris, su cuantificación se la realizó mediante la aplicación de la ecuación propuesta por Hoekstra et al., (2011).

$$HH_{total} = (HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris}) \frac{m^3}{ton}$$

3.1.3.5. Ecuación de la huella hídrica verde y azul

Una vez obtenida las ET_o verde y azul mediante Cropwat se procedió a la obtención del Uso de Agua del Cultivo (UAC) verde y azul.

Para el cálculo del UAC verde, es decir la cantidad de agua de lluvia total necesaria para la ET del cultivo de arroz en condiciones óptimas de crecimiento se usa la ecuación:

$$UAC_{verde} = 10 * \sum_{d=1}^{l_{gp}} ET_{verde}$$

Dónde:

ET_{verde}: evapotranspiración del agua verde.

10: Factor de conversión de la profundidad de agua en mm/período a volumen de agua por superficie terrestre en m³/ha.

Σ: suma del ciclo de crecimiento del cultivo comprendida desde la siembra hasta la cosecha.

l_{gp}: longitud del período de crecimiento de cada etapa en días.

Para el cálculo del UAC azul, es decir la cantidad de agua de riego requerida para la ET del cultivo de arroz en condiciones óptimas de crecimiento se usa la ecuación:

$$UAC \text{ azul} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ET \text{ azul}$$

Dónde:

ET_{azul} : evapotranspiración del agua azul.

10: Factor de conversión de la profundidad de agua en mm/periodo a volumen de agua por superficie terrestre en m^3/ha .

Σ : suma del ciclo de crecimiento del cultivo comprendida desde la siembra hasta la cosecha.

lgp: longitud del período de crecimiento de cada etapa en días.

A partir del UAC verde y azul calculadas se procedió a la obtención de la producción por cosecha. Los datos fueron registrados por cuadra, por lo tanto se realizó la conversión de una cuadra ecuatoriana a hectárea y se estableció una relación entre sacos por hectáreas. Para mejor comprensión se muestra un ejemplo de los datos obtenidos en el sector 1 en época lluviosa:

$$1 \text{ cuadra} = 0,7056 \text{ ha} \rightarrow \frac{50 \text{ sacos}}{0,7056 \text{ ha}} * 1 \text{ ha} = 71 \text{ sacos}$$

Para la obtención del rendimiento del cultivo de arroz mediante la producción por cosecha en los 3 sectores seleccionados como objeto de estudio se utilizaron los números de sacos de arroz producidos por cosecha en cada estación y número de hectáreas, el rendimiento de cultivo se expresa en ton/ha y se calcula mediante la ecuación:

$$Y = \frac{\# \text{ sacos producidos}}{\text{cosecha} * \# \text{ de hectáreas}} * \frac{100 \text{ lbs}}{1 \text{ saco}} * \frac{0,000453592 \text{ ton}}{1 \text{ lb}} = \text{ton/ha}$$

Finalmente se cuantificó las HHs verde y azul a partir de los datos anteriormente obtenidos. Según Hoekstra et al., (2011) la huella hídrica verde se cuantifica mediante la ecuación:

$$HH \text{ verde} = \frac{UAC \text{ verde}}{Y} \frac{m^3}{\text{ton}}$$

Dónde:

UAC_{verde} : Uso de agua verde del cultivo, expresado en m^3/ha

Y: rendimiento del cultivo, expresado en ton/ha .

Ejemplo de HH verde calculada en el sector 1 durante época lluviosa:

$$HH \text{ verde} = \frac{5.027 \text{ m}^3/\text{ha}}{1,6 \text{ ton/ha}} = 3.141,9 \frac{\text{m}^3}{\text{ton}}$$

De acuerdo a Hoekstra et al., (2011) la huella hídrica azul se cuantifica de manera similar a la HH verde mediante la ecuación:

$$HH \text{ azul} = \frac{UAC \text{ azul}}{Y} \frac{m^3}{ton}$$

Dónde:

UAC azul: Uso de agua azul del cultivo, expresado en m³/ha

Y: rendimiento del cultivo, expresado en ton/ha.

Ejemplo de HH azul obtenida en el sector 1 en época lluviosa:

$$HH \text{ azul} = \frac{3.261 \text{ m}^3/\text{ha}}{1,6 \text{ ton/ha}} = 2.038,1 \frac{m^3}{ton}$$

3.1.3.6. Ecuación de la huella hídrica gris

Una vez cuantificadas las HHs verde y azul se procede a calcular la HH gris, se hizo uso de la información levantada en campo referente a los productos químicos empleados en los cultivos de arroz de cada sector seleccionado para el estudio. Para el cálculo de HH gris Hoekstra et al., (2011) establece la ecuación:

$$HH_{gris} = \frac{\alpha * AR / (C_{m\acute{a}x} - C_{nat})}{Y} \frac{m^3}{ton}$$

Dónde:

α : Fracción del contaminante que escurre o lixivia a partir de la aplicación de fertilizantes, es un valor adimensional.

AR: Cantidad aplicada de productos químicos para el campo por hectárea, expresado en Kg/ha.

C_{máx}: Concentración máxima permisible en mg/L.

C_{nat}: Concentración natural en el cuerpo de agua asumida como 0 mg/L.

Y= rendimiento del cultivo en ton/ha.

Para la cuantificación de la HH gris primero se procedió a la caracterización de los productos químicos utilizados en los 3 sectores de los cultivos de arroz circunscriptos a la junta de riego y drenaje de América – Lomas. Hoekstra et al., (2011) afirman que los contaminantes por lo general comprenden los fertilizantes, tales como: nitrógeno, fosforo o pesticidas e insecticidas. Se debe considerar el contaminante más usado en los cultivos de arroz.

Después se evaluó el contaminante de mayor relevancia, siendo en este caso el aporte de nitrógeno, por lo tanto la fracción de lixiviación para el nitrógeno

(α) = 10%, la concentración máxima aceptable de nitrógeno en forma de nitratos establecido en el AM 097 – A, Anexo I tabla 2 es de 13 mg/L (Ministerio del Ambiente, 2015). La cantidad aplicada de nitrógeno se determinó mediante regla de 3 de la proporción de cada fertilizante con respecto al porcentaje de nitrógeno, se muestra un ejemplo de proporción de fertilizantes usados en el sector 1 durante época lluviosa:

$$150 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} 103010 * 0,10 \text{ N} = 15 \text{ Kg N}$$

$$50 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \text{ D. A. P.} * 0,18 \text{ N} = 9 \text{ Kg N}$$

$$25 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \text{ Sulfato de Amonio} * 0,21 \text{ N} = 5,25 \text{ Kg N}$$

$$75 \frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \text{ Úrea} * 0,46 \text{ N} = 34,5 \text{ Kg N}$$

$$\Sigma \text{ total de N} = 63,75 \frac{\text{Kg N}}{\text{ha}}$$

Para la estación seca los agricultores usan el doble de fertilizante en comparación a la época lluviosa. Por lo tanto se debe multiplicar la cantidad obtenida por 2, ejemplo de cantidad de Nitrógeno aplicado en época seca en el sector 1:

$$63,75 \frac{\text{Kg N}}{\text{ha}} * 2 = 127,25 \frac{\text{Kg N}}{\text{ha}}$$

Obtenido todos los datos necesarios se aplicó la ecuación de la huella hídrica gris y se realizaron las conversiones de unidades necesarias, ejemplo de cuantificación de HH gris correspondiente al sector 1 en época lluviosa:

$$\text{HHgris} = \frac{\left(0,10 * 63,75 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right) / \left(13 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{3,22 \text{ ton/ha}}$$

$$\text{HHgris} = \frac{\left(0,10 * 63,75 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} * \frac{1000000 \text{ mg}}{1 \text{ Kg}}\right) / \left(13 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3}\right)}{3,22 \text{ ton/ha}}$$

$$HH_{gris} = \frac{\left(\frac{6375000 \frac{mg}{ha}}{13000 \frac{mg}{m^3}}\right)}{3,22 \frac{ton}{ha}} = \frac{\left(490.39 \frac{m^3}{ha}\right)}{3,22 \frac{ton}{ha}}$$

$$HH_{gris} = 152,3 \frac{m^3}{ton}$$

Obtenida las huellas hídricas de cada componente: verde, azul y gris por cada sector y por su estacionalidad se aplicó la ecuación de huella hídrica total. A continuación se muestra un ejemplo de la HH total durante época lluviosa en el sector 1:

$$HH_{total} = 1.510,3 + 1.010,9 + 152,3 = 2.673,5 \frac{m^3}{ton}$$

3.1.3.7. Modelo simple del agua virtual

Allan, (1998), afirmó que el flujo de agua se relaciona al comercio ya sea exportando o importando productos, por lo tanto para el cálculo de agua virtual de los cultivos de arroz de los 3 sectores circunscriptos a la junta riego América – Lomas se aplicó una ecuación simple definida por Salmoral et al., (2011).

$$AV_{exp} = HH * E$$

Dónde:

AV exp: Agua virtual exportada en m³/año.

HH: Huella hídrica total, expresado en m³/año.

E: Total de productos exportados en ton/año.

Se calculó la cantidad de sacos de arroz exportados en un año y se realizaron las conversiones necesarias, después se aplicó la fórmula de agua virtual, ejemplo de cálculo de agua virtual en el sector 1 entre las dos épocas, es decir el flujo de agua anual:

$$E = \frac{121 \text{ sacos}}{\text{año}} * \frac{100 \text{ lbs}}{1 \text{ saco}} * \frac{0,000453592 \text{ ton}}{1 \text{ lb}} = 5,49 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

$$AV_{exp} = 6.589,74 \left(\frac{m^3}{ton}\right) * 5,49 \left(\frac{ton}{año}\right) = 36.177,67 \frac{m^3}{año}$$

3.1.4. Pruebas estadísticas

Los resultados se muestran como medias y desviaciones estándar calculados mediante el programa Minitab versión 19. Se utilizó el programa de Statgraphics Centurion XVI para la determinación de diferencias estadísticas significativas de los diversos datos obtenidos en los 3 sectores de estudio, se realizó un análisis de varianza del test de Kruskal – Wallis para probar la hipótesis nula entre las medianas de las ET verde y azul con respecto a las etapas de cultivo de arroz con un valor $p= 0,05$ y nivel de confianza de 95%.

De igual manera se realizó una comparación entre medianas de dos muestras simples mediante el test de Mann – Whitney con un valor $p= 0,05$ y un nivel de confianza del 95% para las épocas: lluviosa y seca con respecto a la cantidad de agua verde y azul requerida para la evapotranspiración, se aplicó la misma prueba estadística para la comparación de las variables independientes de ET verde y ET azul de cada sector.

CAPÍTULO IV

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Calculo de requerimiento hídrico para la producción de arroz en tres sectores del cantón Daule

Los valores promedios de los parámetros climáticos calculados para el cantón Daule son: 19 ($\pm 1,1$) y 31°C ($\pm 0,85$) para la temperatura mínima y máxima respectivamente, 78% ($\pm 4,27$) de humedad, 2,12 ($\pm 0,32$) m/s para la velocidad del viento, 3,26 ($\pm 0,47$) horas de insolación y 13,9 ($\pm 1,11$) MJ/m²día de radiación. La ET_o media cuantificada mediante la ecuación de Penman – Monteith en el software Cropwat 8.0 para el cantón Daule fue de 3,55 ($\pm 0,34$) mm/día.

Tabla 10. ET_o Penman – Monteith Mensual para el cantón Daule.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación Horas	Rad MJ/m ² /día	ET _o mm/día
1	17.4	31.4	80	2.0	3.2	14.1	3.51
2	20.3	31.0	83	1.8	3.4	14.8	3.40
3	20.7	31.4	84	1.9	3.7	15.3	3.53
4	20.4	31.7	82	1.8	4.3	15.7	3.66
5	20.2	30.7	80	1.8	3.5	13.5	3.29
6	19.1	29.4	79	2.0	2.7	11.9	3.01
7	18.2	29.7	79	2.0	2.9	12.3	3.10
8	18.4	29.7	78	2.1	3.3	13.6	3.36
9	18.2	30.8	76	2.3	3.4	14.5	3.76
10	19.2	30.8	73	2.6	2.5	13.3	3.86
11	19.1	31.0	72	2.8	3.1	13.9	4.07
12	20.0	32.2	71	2.3	3.1	13.7	4.00

Elaborado por: Autor.

Los promedios de las precipitaciones mensuales y efectivas para el cantón Daule fueron: 71,1 (± 87) y 44,1 ($\pm 60,7$) mm, respectivamente. Siendo las máximas precipitaciones para el mes de marzo con 230 y 160 mm que corresponde a la época lluviosa y las mínimas precipitaciones son para los meses comprendidos entre junio a noviembre, es decir en época seca.

Tabla 11. Precipitación mensual para el cantón Daule.

Mes	Precipitación mm	Precipitación efectiva mm
Enero	145	92
Febrero	204	139,2
Marzo	230	160
Abril	152	97,6
Mayo	57	24,2
Junio	2	0
Julio	1	0
Agosto	1	0
Septiembre	10	0
Octubre	3	0
Noviembre	4	0
Diciembre	44	16,4

Elaborado por: Autor.

La tabla 12 se muestra los datos generales del suelo obtenidos para el cantón Daule y la tabla 13 se visualizan los datos adicionales de suelo. Para cultivos de arroz producidos en campos inundados la altura de su lámina de agua debe oscilar en un rango de 0,10 a 0,20 m en el cantón Daule se obtuvo que la altura máxima de lámina de agua para el desarrollo del arroz es de 0,15 m.

Tabla 12. Datos generales de suelo del cantón Daule.

Humedad del suelo disponible total (CC_PMP)	290 mm/m
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40 mm/día
Profundidad radicular máxima	900 cm
Agotamiento inicial de humedad de suelo (% de ADT)	0%
Humedad de suelo inicialmente disponible	290 mm/m

Elaborado por: Autor.

Tabla 13. Datos iniciales de suelo para el cultivo de arroz.

Dato	Descripción
Porosidad drenable (SAT – CC)	12 %
Agotamiento crítico para grietas del fangueo	0,40 fracción
Tasa máxima de percolación después del fangueo	3,4 mm/día

Disponibilidad de agua a la siembra

100 % desaturación

Altura máxima de lámina de agua

150 mm

Elaborado por: Autor.

Los requerimientos hídricos para los cultivos de arroz en los 3 sectores fueron:

Para el sector 1 los valores registrados sobre la cantidad de agua de lluvia requerida para la evapotranspiración de los cultivos de arroz con técnica de siembra directa resultó ser mayor en la etapa 3 con 32,06 mm/período y fue mínima en la etapa 5 con 3,49 mm/período. No se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las etapas del cultivo de arroz en el sector 1 con respecto a la ET verde (KW: 2,5854; p: 0,63).

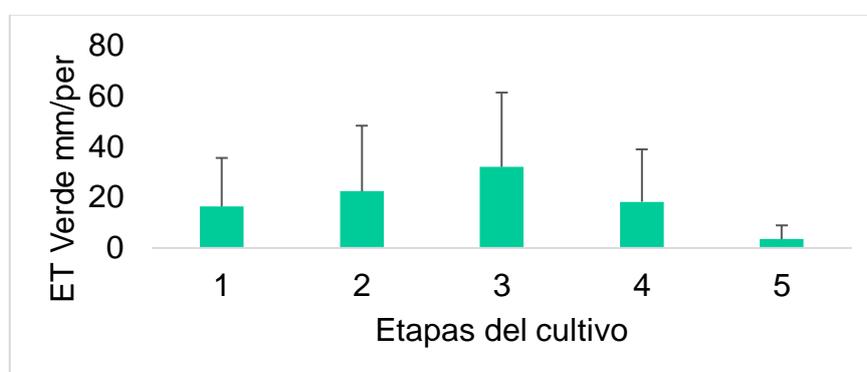


Figura 9. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 en sus diferentes etapas de desarrollo.

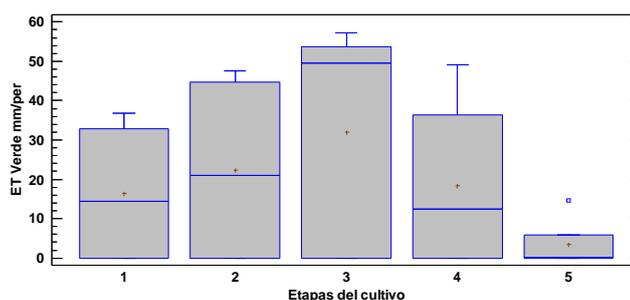


Figura 10. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 1 por etapas.

Los valores cuantificados para el agua de lluvia requerida para la ET de los cultivos de arroz con técnica de siembra directa en el sector 1 por estación fue significativa en la época lluviosa con 34,74 mm/per a diferencia de la época seca con 0,01 mm/período. Se evidenció que sí existe una diferencia estadísticamente significativa entre la época lluviosa y seca para el cultivo de arroz en el sector 1 con respecto a la ET verde (W: 0; p: 0,000002).

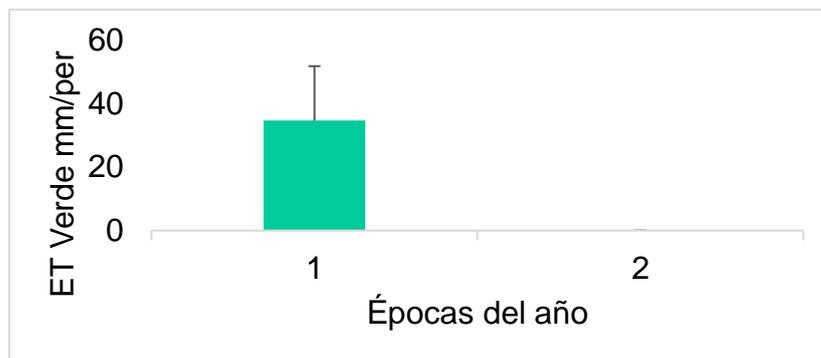


Figura 11. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 por estacionalidad.

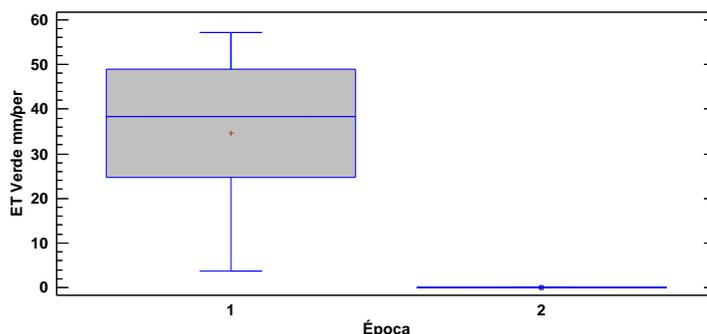


Figura 12. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 1 por estacionalidad.

La cantidad de agua de riego requerida para la ET de los cultivos de arroz con técnica de siembra directa en el sector 1 fue mayor en la etapa 1 con 119,83 mm/período y fue mínima en la etapa 3 con 17,02 mm/período. Se comprobó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las etapas del cultivo de arroz en el sector 1 con respecto a la ET azul (KW: 12,9423; p: 0,01).

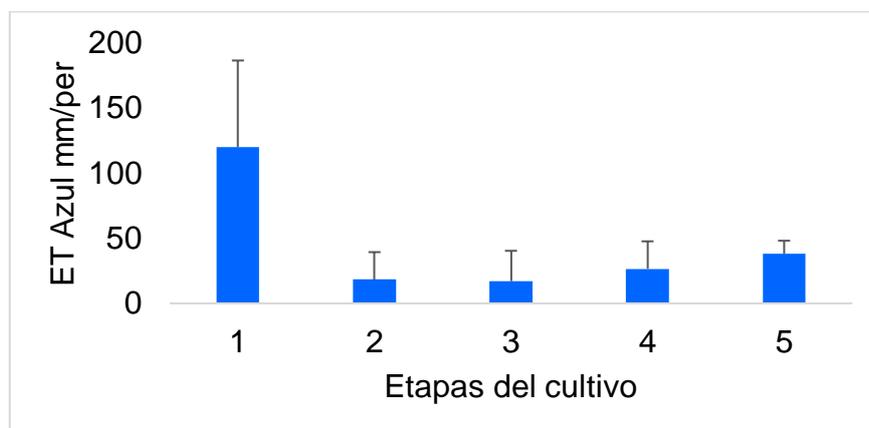


Figura 13. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 en sus diferentes etapas de desarrollo.

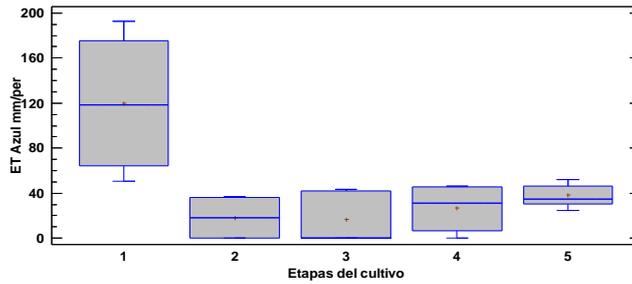


Figura 14. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 1 por etapas.

Los valores cuantificados para el agua de riego requerida para la ET de los cultivos de arroz con técnica de siembra directa en el sector 1 por estacionalidad fueron: para la época lluviosa 23,25 mm/período y para la época seca 56,48 mm/período. Entre la época lluviosa y seca para el cultivo de arroz en el sector 1 referente a la ET azul se registró una diferencia estadísticamente significativa (W: 172; p: 0,0007).



Figura 15. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 1 por estacionalidad.

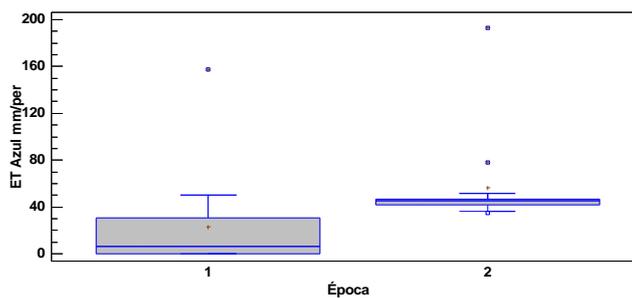


Figura 16. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 1 por estacionalidad.

Los valores promedios registrados de ET verde fue de 17,37 ($\pm 21,35$) mm/período y ET azul fue de 39,86 ($\pm 43,88$) mm/período correspondientes al sector 1. Se evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre la ET verde y ET azul de los cultivos de arroz pertenecientes al sector 1 (W: 521,5; p: 0,03).

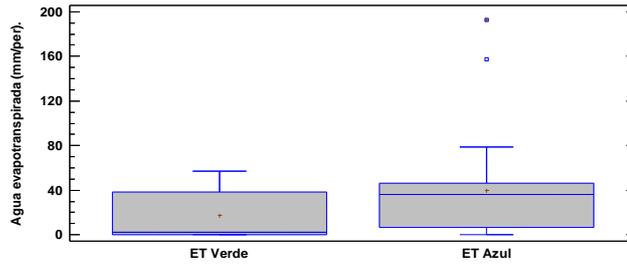


Figura 17. Diagrama de cajas de la cantidad de agua requerida para la ET Verde y ET Azul en el sector 1.

Para el sector 3 la cantidad de agua de lluvia necesaria para la evapotranspiración de los cultivos de arroz con técnicas de cultivo de siembra directa y trasplante fue mayor en la etapa 4 con 28,54 mm/periodo y fue mínima en la etapa 0 con 0,1 mm/periodo. No se registraron diferencias estadísticamente significativas (KW: 2,62635; p: 0,76).

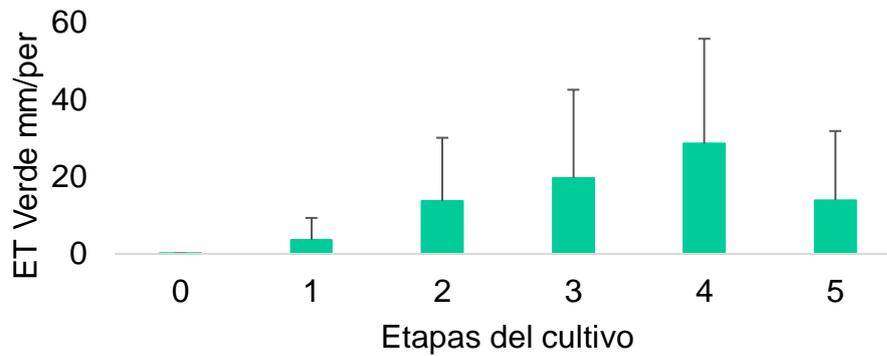


Figura 18. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 en sus diferentes etapas de desarrollo.

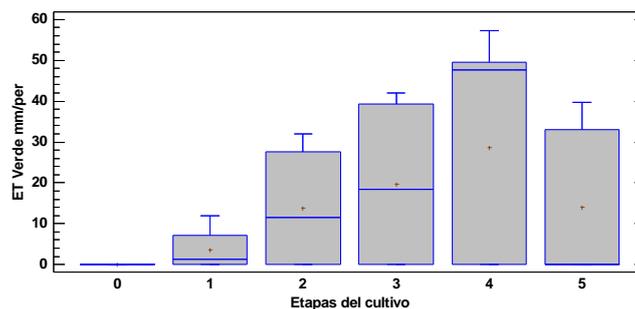


Figura 19. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 3 por etapas.

Referente a la demanda de agua provenientes de precipitaciones para la ET de los cultivos de arroz del sector 3 de acuerdo a su estacionalidad se obtuvo que la utilización de agua en época lluviosa fue de 35,91 mm/periodo y en época seca fue de 0,01 mm/periodo. Se comprobó una diferencia estadísticamente significativa

entre la época lluviosa y seca sobre el uso de agua verde para la ET de los cultivos de arroz en el sector 3 (W: 0; p: 0,0000013).



Figura 20. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 por estacionalidad.

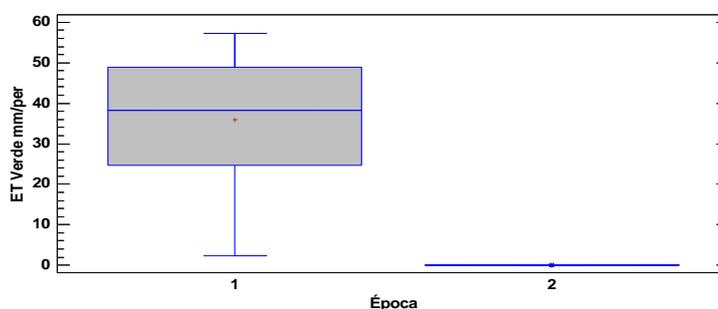


Figura 21. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 3 por estacionalidad.

Con respecto a la cantidad de agua de riego necesaria para la evapotranspiración de los cultivos de arroz con técnicas de cultivo de siembra directa y trasplante en el sector 3 fue mayor en la etapa 1 con 136,58 mm/período y fue mínima en la etapa 0 con 3,6 mm/período. Se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes etapas de desarrollo del cultivo de arroz en el sector 3 en relación a la ET azul (KW: 11,4411; p: 0,04).

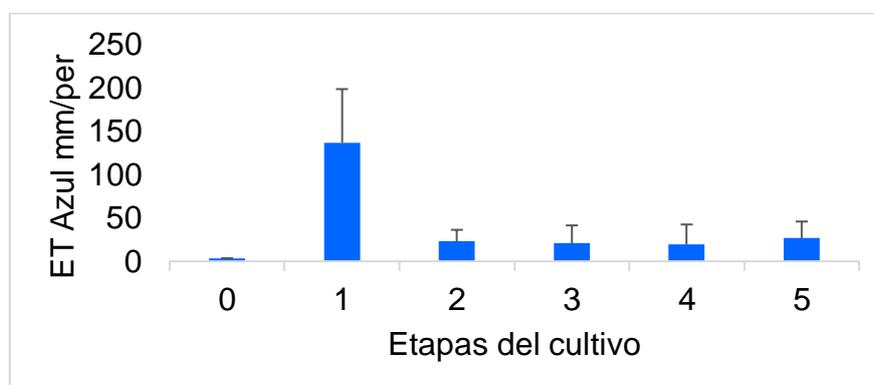


Figura 22. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 en sus diferentes etapas de desarrollo.

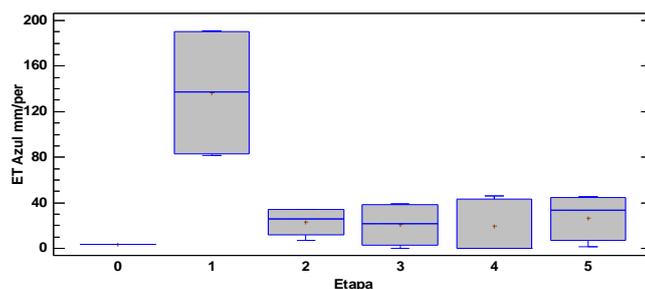


Figura 23. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 en sus diferentes etapas de desarrollo.

En cuanto a la demanda de agua proveniente de la irrigación para la ET de los cultivos de arroz del sector 3 de acuerdo a su estacionalidad se obtuvo que la utilización de agua en época lluviosa fue de 23,29 mm/período y en época seca fue de 50,69 mm/período. Se evidenció diferencias estadísticamente significativas en relación a la ET azul entre las dos épocas del año en el sector 3 (W: 176; p: 0,002).

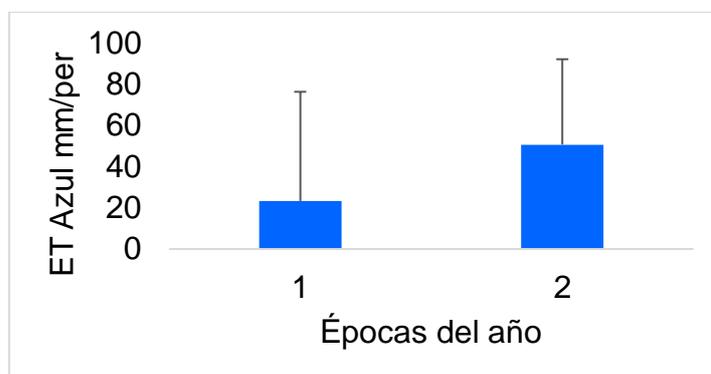


Figura 24. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 3 por estacionalidad.

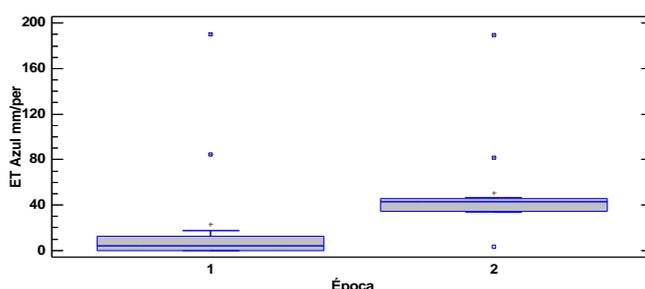


Figura 25. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 3 por estacionalidad.

Los valores promedios registrados de ET verde fue de 17,34 ($\pm 21,26$) mm/período y ET azul fue de 37,46 ($\pm 48,52$) mm/período correspondientes al sector 3. Se evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre la ET verde y ET azul de los cultivos de arroz producidos en el sector 3 (W: 545; p: 0,04).

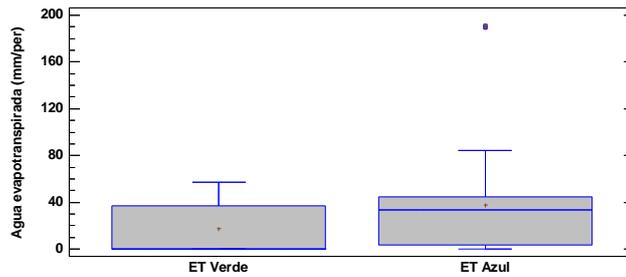


Figura 26. Diagrama de cajas de la cantidad de agua requerida para la ET Verde y ET Azul en el sector 3.

Para el sector 4 la cantidad de agua de lluvia requerida para la ET de los cultivos de arroz con técnica de trasplante fue máxima en la etapa 3 con 32,06 mm/período y fue mínima en la etapa 5 con 3,49 mm/período. No se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes etapas del cultivo de arroz en el sector 4 (KW: 2,78074; p: 0,73).

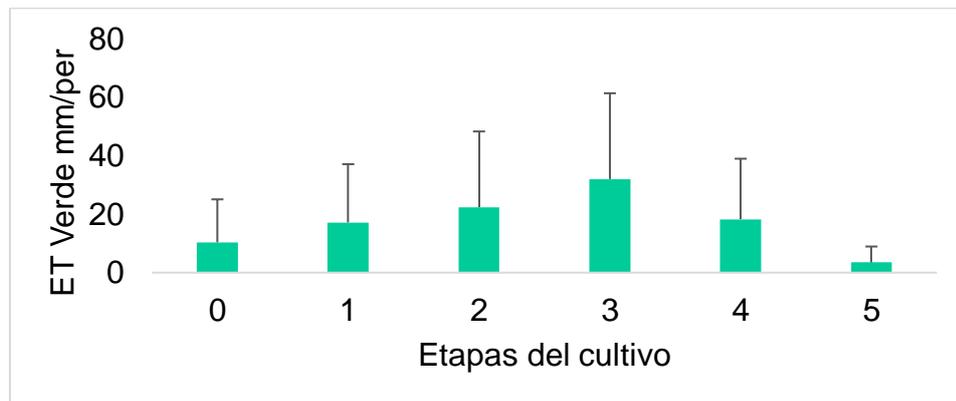


Figura 27. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 en sus diferentes etapas de desarrollo.

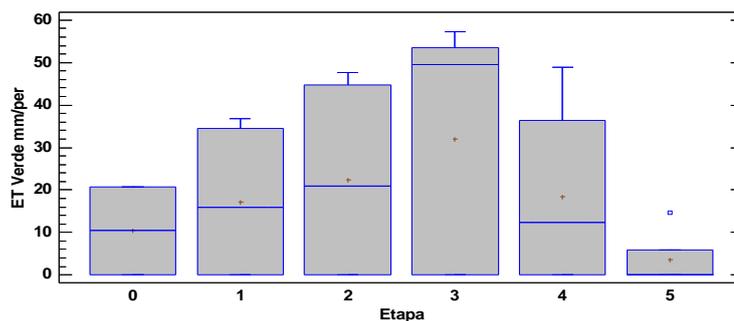


Figura 28. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 4 por etapas.

Referente a la demanda de agua provenientes de precipitaciones para la ET de los cultivos de arroz del sector 4 de acuerdo a su estacionalidad se obtuvo que la utilización de agua en época lluviosa fue de 34,02 mm/período y en época seca

fue de 0,1 mm/periodo. La ET verde de los cultivos de arroz en el sector 4 en función a su estacionalidad se evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($W: 0; p: 0,0000009$).

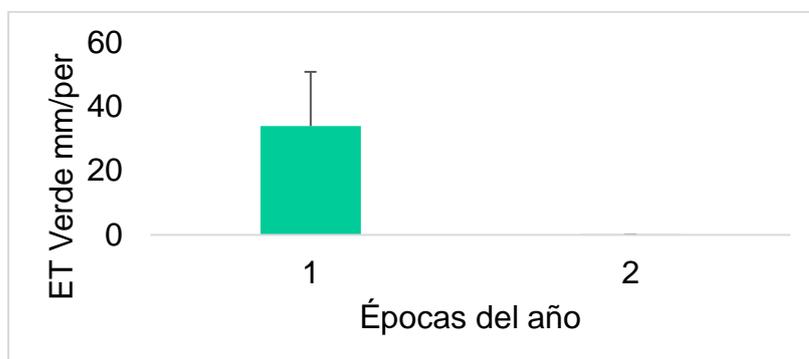


Figura 29. Cantidad de agua de lluvia evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 por estacionalidad.

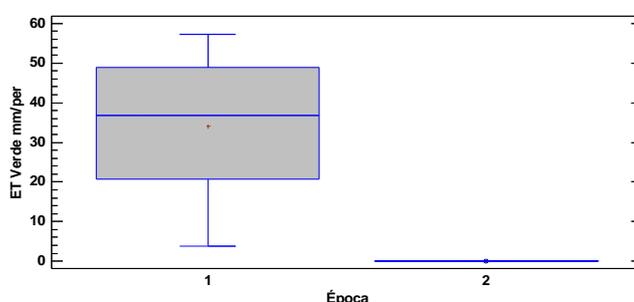


Figura 30. Diagrama de cajas de ET verde del cultivo de arroz en el sector 3 por estacionalidad.

La cantidad de agua de riego requerida para la ET de los cultivos de arroz con técnica de trasplante en el sector 4 fue máxima en la etapa 1 con 120,98 mm/periodo y fue mínima en la etapa 0 con 1,65 mm/periodo. Se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes etapas del cultivo de arroz con respecto a la ET azul en el sector 4 ($W: 14,8213; p: 0,01$).

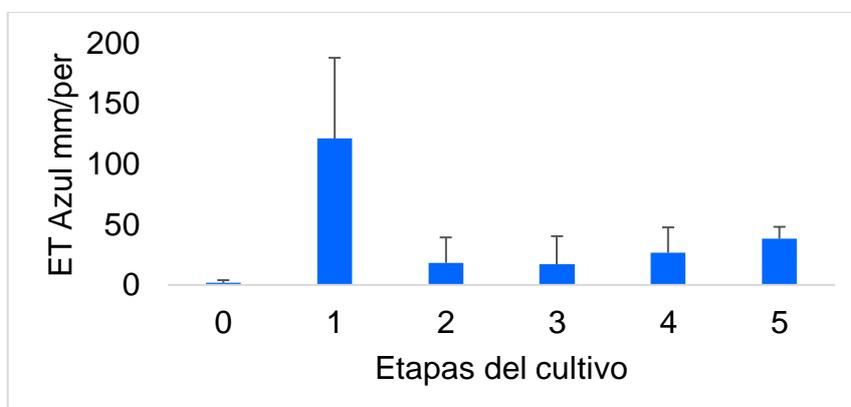


Figura 31. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 en sus diferentes etapas de desarrollo.

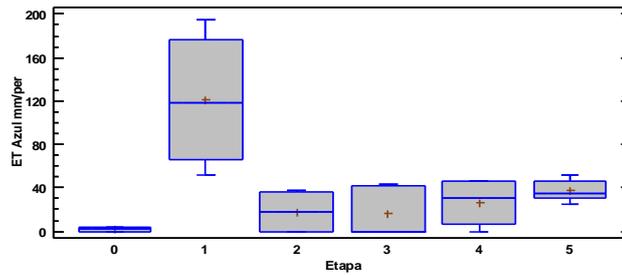


Figura 32. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 en sus diferentes etapas de desarrollo.

En tanto la ET azul de los cultivos de arroz del sector 4 de acuerdo a su estacionalidad se obtuvo que la utilización de agua en época lluviosa fue de 21,83 mm/período y en época seca fue de 53,11 mm/período. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la estación lluviosa y seca en relación a la ET azul de los cultivos de arroz en el sector 4 (W: 194; p: 0,0007).

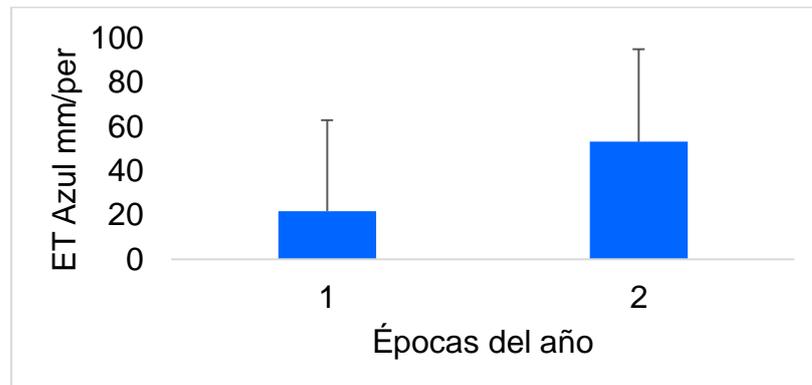


Figura 33. Cantidad de agua de riego evapotranspirada por los cultivos de arroz del sector 4 por estacionalidad.

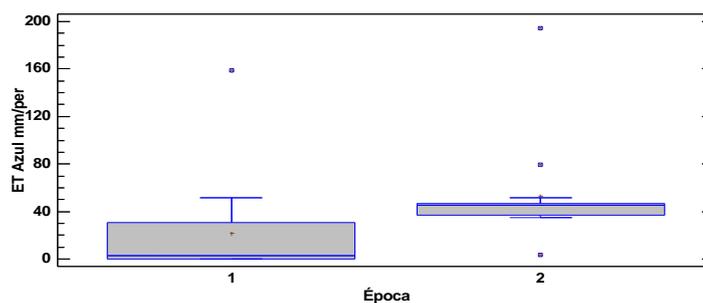


Figura 34. Diagrama de cajas de ET azul del cultivo de arroz en el sector 4 por estacionalidad.

Los valores promedios registrados de ET verde fue de 17,01 ($\pm 20,93$) mm/período y ET azul fue de 37,47 ($\pm 43,79$) mm/período correspondientes al sector 4. Se registró una diferencia estadística significativa entre la ET verde y ET azul de los cultivos de arroz producidos en el sector 4 (W: 586,5; p: 0,03).

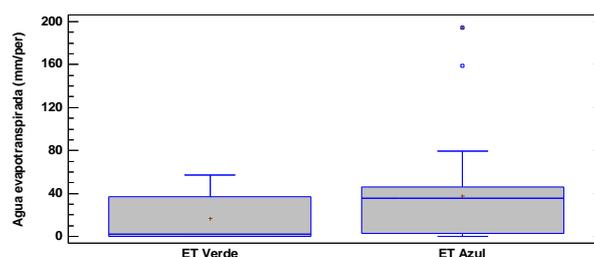


Figura 35. Diagrama de cajas de la cantidad de agua requerida para la ET Verde y ET Azul en el sector 4.

4.1.2. Determinación de los productos químicos de mayor consumo en la producción de arroz

Los resultados obtenidos de la caracterización de los productos químicos aplicados en los cultivos de arroz durante las dos épocas en el sector 1 se muestran en las tablas 14 y 15. Se determinó que los productos químicos de mayor consumo fueron aquellos compuestos por nitrógeno. La cantidad de nitrógeno utilizado en época lluviosa fue de 63,75(Kg N)/ha y en época seca fue de 127,5 (Kg N)/ha.

Tabla 14. Fertilizantes utilizados en el sector 1 en cada época.

Nombre	Composición	Aplicación		Unidades
		Época lluviosa	Época seca	
10 30 10	10% N – 30% P – 10% K	150	300	Kg/ha
D.A.P.	18% N – 46% P – 0%K	50	100	Kg/ha
Fertilizante orgánico	-	10	20	L/ha
Muriato de potasio	0% N – 0% P – 60% K	75	150	Kg/ha
Sulfato de amonio	21% N – 24% S	25	50	Kg/ha
Úrea	46% N – 0% P – 0% K	75	150	Kg/ha

Elaborado por: Autor.

Tabla 15. Plaguicidas utilizados en el sector 1 en cada época.

Nombre	Aplicación		Unidades
	Época lluviosa	Época seca	
Fungicida Jewel 25 SC	1,5	0,75	L/ha
Fungicida Mancozeb	2,5	1,25	Kg/ha
Insecticida Pyrinex 48 EC	2	1	L/ha

Elaborado por: Autor.

En cuanto a los resultados obtenidos de la caracterización de los productos químicos aplicados en los cultivos de arroz durante las dos épocas en el sector 3 se muestran en las tablas 16 y 17. Se determinó que los productos químicos de mayor consumo para el sector 3 fueron los fertilizantes compuestos por nitrógeno. La cantidad de nitrógeno utilizado en época lluviosa fue de 76,44 (Kg N)/ha y en época seca fue de 152,88 (Kg N)/ha.

Tabla 16. Fertilizantes utilizados en el sector 3 en cada época.

Nombre	Composición	Aplicación		Unidades
		Época lluviosa	Época seca	
N 36	35% N – 9% S	75	150	Kg/ha
Nitrato de Amonio	34% N	25	50	Kg/ha
Nitrato de Calcio	15,5% N – 26,5% CaO	12,5	25	Kg/ha
Sulfato de Amonio	21% N – 24% S	25	50	Kg/ha
Sulfato de Potasio	50% K ₂ O – 18% S	25	50	Kg/ha
Úrea	46% N – 0% P – 0% K	75	150	Kg/ha

Elaborado por: Autor.

Tabla 17. Plaguicidas utilizados en el sector 3 en cada época.

Nombre	Aplicación		Unidades
	Época lluviosa	Época seca	
Fungicida Clorotalonil	11,8	-	L/ha
Fungicida Jewel 25 SC	2	1	L/ha
Fungicida Mancozeb	2,5	-	Kg/ha
Herbicida Glifosato	50	25	cm ³ /ha
Herbicida Paraquat	75	-	L/ha
Insecticida Endosulfan	1	0,5	Kg/ha
Insecticida Pyrinex 48 EC	1,5	-	L/ha

Elaborado por: Autor.

Con respecto a los resultados obtenidos de la caracterización de los productos químicos aplicados en los cultivos de arroz durante las dos épocas en el sector 4 se muestran en las tablas 18 y 19. Se determinó que los productos químicos de mayor consumo para el sector 4 fueron los fertilizantes ricos en

nitrógeno. La proporciones de nitrógeno utilizados en las épocas lluviosa y seca fueron 55,75 (Kg N)/ha y 111,5 (Kg N)/ha, respectivamente.

Tabla 18. Fertilizantes utilizados en el sector 4 en cada época.

Nombre	Composición	Aplicación		Unidades
		Época lluviosa	Época seca	
D.A.P.	18% N – 46% P – 0%K	25	50	Kg/ha
Muriato de potasio	0% N – 0% P – 60% K	50	100	Kg/ha
Sulfato de amonio	21% N – 24% S	25	50	Kg/ha
Sulfato de Potasio	50% K ₂ O – 18% S	25	50	Kg/ha
Úrea	46% N – 0% P – 0% K	100	200	Kg/ha

Elaborado por: Autor.

Tabla 19. Plaguicidas utilizados en el sector 4 en cada época.

Nombre	Aplicación		Unidades
	Época lluviosa	Época seca	
Fungicida Amistar Top	400	200	cm ³ /ha
Fungicida Ausoil	400	200	cm ³ /ha
Herbicida Butarroz	2	1	L/ha
Herbicida Gramilaq	2	1	L/ha
Herbicida Pyraceas	0,25	0,13	Kg/ha
Insecticida Amunil	240	120	cm ³ /ha
Insecticida Profenopac	0,5	0,25	L/ha

Elaborado por: Autor.

4.1.3. Aplicación de un modelo matemático simple para la estimación del flujo de agua virtual de los tres sectores en la exportación de arroz

El flujo de agua virtual por exportación de sacos de arroz fueron: 36.177,67; 74.956,03 y 39.6076,1 m³/año para los sectores 1,2 y 3, respectivamente. La cantidad total de flujo de agua virtual entre los 3 sectores fue 507.209,76 m³/año y su media fue de 169.070 (± 197.547) m³/año. El sector con mayor flujo de agua virtual fue el sector 4 con 78,1% m³/año seguido del sector 3 y 1 con 14,8% y 7,1% m³/año, respectivamente.

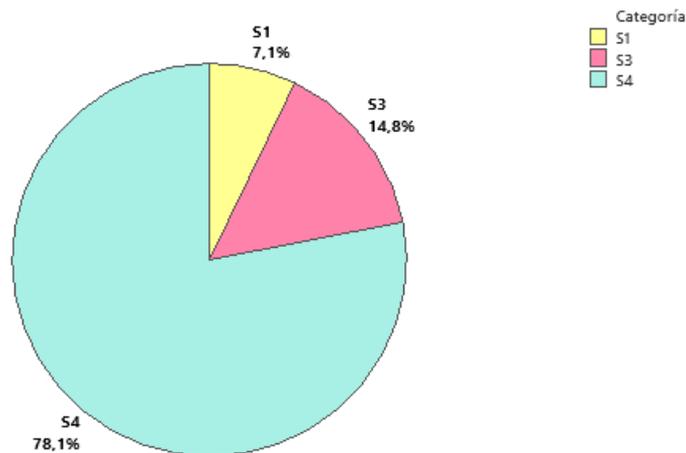


Figura 36. Agua virtual anual de los tres sectores exportadores de arroz.

4.1.4. Comparación de rendimiento del cultivo y huella hídrica total entre los diferentes sectores de producción de arroz del cantón Daule

El rendimiento promedio del cultivo de arroz en los 3 sectores del cantón Daule fue de 2,36. Durante la época seca el rendimiento del cultivo fue >2 ton/ha en todos los sectores. El mayor rendimiento fue del sector 1 con 2,75 ($\pm 0,67$) ton/ha seguido de los sectores 4 y 3 con 2,25 ($\pm 0,45$) y 2,08 ($\pm 0,68$) ton/ha, respectivamente. No se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los 3 sectores con respecto al rendimiento del cultivo (KW: 1,14286; p: 0,57).

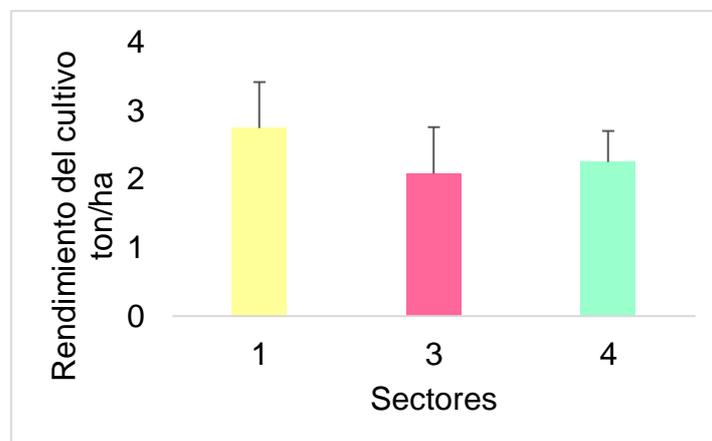


Figura 37. Rendimiento anual del cultivo de arroz en los 3 sectores.

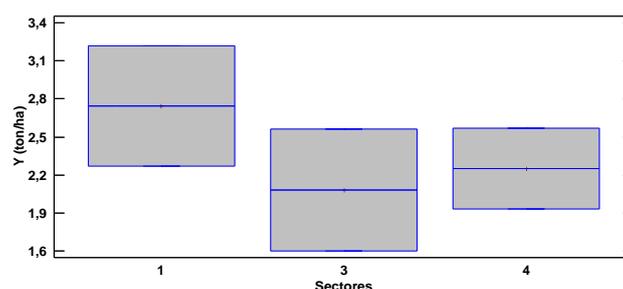


Figura 38. Diagrama de cajas de rendimiento de cultivo de arroz en los 3 sectores.

En cuanto al cálculo de HH por componente y HH total de cada sector en función a su estacionalidad determinaron los siguientes resultados:

Tabla 20. HH por componente y HH total del sector 1 entre épocas.

Época	HH Verde (m ³ /ton)	HH Azul (m ³ /ton)	HH Gris (m ³ /ton)	HH Total (m ³ /ton)
Lluviosa	1.510,3	1.010,9	152,3	2.673,5
Seca	0,44	3.483,7	432,1	3.916,24

Elaborado por: Autor.

Tabla 21. HH por componente y HH total del sector 3 entre épocas.

Época	HH Verde (m ³ /ton)	HH Azul (m ³ /ton)	HH Gris (m ³ /ton)	HH Total (m ³ /ton)
Lluviosa	3.141,9	2.038,1	367,5	5.547,5
Seca	0,39	2.969,5	459,38	3.429,27

Elaborado por: Autor

Tabla 22. HH por componente y HH total del sector 4 entre épocas.

Época	HH Verde (m ³ /ton)	HH Azul (m ³ /ton)	HH Gris (m ³ /ton)	HH Total (m ³ /ton)
Lluviosa	2.644	1.696,4	222,2	4.562,6
Seca	0,39	3.100	333,7	3.434,09

Elaborado por: **Autor**

La cuantificación de los componentes de la huella hídrica en los 3 sectores determinó que los mayores aportes de HH verde, azul y gris correspondieron al sector 3 con 43,1; 35 y 42%, respectivamente.

Tabla 23. Componentes de la huella hídrica anual en los 3 sectores.

SECTORES	Huella Hídrica Verde (m ³ /ton)	Huella Hídrica Azul (m ³ /ton)	Huella Hídrica Gris (m ³ /ton)
S1	1.510,74	4.494,6	584,4
S3	3.142,29	5.007,6	826,88
S4	2.644,39	4.796,4	555,9

Elaborado por: Autor.

Con respecto a la HH total de los 3 sectores se obtuvo una media de 7.854 (± 1.200) m³/ton, se determinó que el mayor aporte correspondió al sector 3 con un promedio de 2992,26 m³/ton. No se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los 3 sectores con respecto a la HH total (KW: 0,622222; p: 0,7).

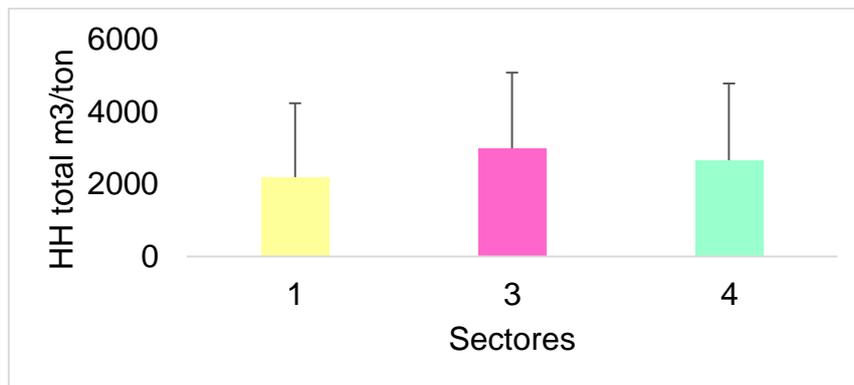


Figura 39. HH total de los 3 sectores de producción de arroz.

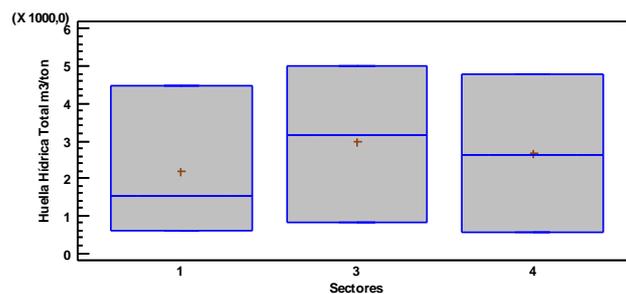


Figura 40. Gráfico de caja de la HH total de los 3 sectores de estudio.

4.1.5. Propuesta de un plan de minimización de huella hídrica en los cultivos de arroz del cantón Daule

Después de analizar los resultados obtenidos en la cuantificación de huella hídrica y agua virtual, se ratifica la necesidad de formular una propuesta enfocada a la optimización del uso consuntivo del agua en el desarrollo del cultivo de arroz en los tres sectores de estudio circunscriptos a la junta de riego y drenaje América

– Lomas con el objetivo de reducir la huella hídrica en los cultivos de arroz de la zona mediante la rotación de técnicas de cultivo de arroz dependiendo la estacionalidad, manejo adecuado de desechos peligrosos y prácticas de fertilización orgánica.

Para el logro del objetivo mencionado se propone realizar 6 programas que tienen como finalidad la reducción de la huella de agua azul y gris, así como concientizar a los usuarios de la junta de riego y drenaje América – Lomas sobre el consumo y contaminación del agua. Los programas son los siguientes:

- Programa de rotación de técnicas de cultivo de arroz en cada estación del año.
- Programa de riego de cultivos de arroz proporcionados por Cropwat.
- Programa de prácticas de abono control de plagas.
- Programa de mantenimiento de infraestructura para riego.
- Programa de manejo de desechos peligrosos.

Se pretende que esta propuesta sea socializada, aceptada y se pueda cumplir de manera favorable en el área de estudio de manera que pueda ser replicado en los demás sectores ocasionando un uso sostenible de los recursos hídricos en la producción de arroz.

Tabla 24. Programa de rotación de técnicas de cultivo de arroz en cada estación del año.

Objetivo General	Minimizar la huella hídrica azul y gris en los cultivos de arroz de los tres sectores pertenecientes a la junta de riego y drenaje América – Lomas del cantón Daule.				
Objetivos específicos	<p>Reducir el consumo de agua para riego en los cultivos de arroz.</p> <p>Aumentar la productividad en los cultivos de arroz.</p> <p>Disminuir la aplicación de fungicidas y herbicidas en los cultivos de arroz.</p>				
Alcance	El presente programa se encuentra dirigido a todos los propietarios, usuarios y personal administrativo de la junta de riego y drenaje América – Lomas, instituciones gubernamentales y educativas.				
Responsables	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) municipal de Daule, Junta de riego América – Lomas, propietarios de plantaciones.				
Actividades	Beneficios	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia	Presupuesto
Estandarización de la técnica de trasplante en los sectores.	Mayor producción, control de uso del agua, control de malezas y evita el uso de productos químicos.	Número de hectáreas cultivadas por trasplante.	Facturas de agua y de herbicidas comprados. Cantidad de arroz cosechado.	1 vez en época lluviosa.	400
Aprovechamiento de las socas.	Evita la preparación del suelo, reduce el ciclo del cultivo, evita gastos por concepto de semilla, uso de agua de riego y el uso de insecticidas.	Número de hectáreas cultivadas por soca.	Facturas de agua y de productos químicos comprados.	1 vez en época seca.	150

Elaborado por: Autor.

Tabla 25. Programa de riego de cultivos de arroz proporcionados por Cropwat.

Objetivo General	Minimizar la huella hídrica azul en los cultivos de arroz de los tres sectores pertenecientes a la junta de riego y drenaje América – Lomas del cantón Daule.				
Objetivos específicos	Optimizar el uso de agua para el riego de los cultivos de arroz. Reducir costos por consumo de agua para riego de cultivos de arroz.				
Alcance	El presente programa se encuentra dirigido a todos los propietarios de las plantaciones de arroz y al personal administrativo de la junta de riego y drenaje América – Lomas.				
Responsables	Ministerio del Ambiente y Agua (MAyA), GAD municipal de Daule, Junta de riego América – Lomas.				
Actividades	Beneficios	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia	Presupuesto
Capacitación al personal administrativo de la junta de América – Lomas sobre el uso de Climwat y Cropwat.	Personal capacitado para programar los riegos de cada sector. Utilizar el agua necesaria para el riego de cultivos.	Nº de capacitaciones planificadas/ Nº de capacitaciones realizadas.	Registro fotográfico. Registro de asistencia a talleres. Cronogramas de riego.	1 vez al año.	0
Recopilación de datos de los 6 sectores.	Contar con base de datos sobre consumo de agua para riego.	Nº de hectáreas encuestadas.	Registro fotográfico y de reuniones. Formatos de encuestas.	1 vez al año.	200

Elaborado por: Autor.

Tabla 26. Programa de prácticas de abono y control de plagas.

Objetivo General	Minimizar la huella hídrica gris en los cultivos de arroz de los tres sectores pertenecientes a la junta de riego y drenaje América – Lomas del cantón Daule.				
Objetivos específicos	Disminuir el uso de productos químicos en los cultivos de arroz. Reducir la presencia de desechos peligrosos en los cuerpos hídricos.				
Alcance	El presente programa se encuentra dirigido a todos los propietarios de las plantaciones de arroz, usuarios y personal administrativo de la junta de riego y drenaje América – Lomas, instituciones gubernamentales.				
Responsables	MAGAP, GAD municipal de Daule, Junta de riego América – Lomas.				
Actividades	Beneficios	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia	Presupuesto
Talleres de elaboración de abonos orgánicos.	Reduce la carga contaminante, reduce costos por compra de fertilizantes. Aumento de productividad del arroz.	Nº de talleres realizados/ Nº de talleres planificados.	Registro fotográfico y de asistencia a talleres. Facturas por compra de productos químicos.	1 vez al año.	100
Talleres de elaboración de plaguicidas orgánicos.	Evitar el uso de plaguicidas prohibido y la lixiviación de contaminantes a cuerpos hídricos. Evita la generación de desechos peligrosos y de carga contaminante.	Nº de talleres realizados/ Nº de talleres planificados.	Registro fotográfico y de asistencia a talleres. Facturas por compra de productos químicos.	1 vez al año.	100

Elaborado por: Autor.

Tabla 27. Programa de mantenimiento de la infraestructura de riego.

Objetivo General	Minimizar la huella hídrica azul en los cultivos de arroz de los tres sectores pertenecientes a la junta de riego y drenaje América – Lomas del cantón Daule.				
Objetivos específicos	Prevenir el desperdicio de agua para riego. Suministrar de manera óptima el agua para riego.				
Alcance	El presente programa se encuentra dirigido a todos los propietarios de las plantaciones de arroz, usuarios y personal administrativo de la junta de riego y drenaje América – Lomas.				
Responsables	Personal administrativo de la junta de riego y drenaje América – Lomas, MAyA.				
Actividades	Beneficios	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia	Presupuesto
Cambio de compuertas.	Evitar la rotura de compuertas y el desperdicio de agua.	N° de compuertas cambiadas.	Registro fotográfico. Factura de materiales para fabricar compuerta. Cronograma de cambio de compuertas.	1 vez al año.	500
Mantenimiento y limpieza de canales y tuberías.	Prevenir las fugas de agua o desbordes de los canales.	N° de tuberías o canales reparados.	Registro fotográfico. Factura de materiales de limpieza. Cronograma de mantenimiento.	2 veces al año.	500

Elaborado por: Autor.

Tabla 28. Programa de manejo de desechos peligrosos.

Objetivo General	Minimizar la huella hídrica gris en los cultivos de arroz de los tres sectores pertenecientes a la junta de riego y drenaje América – Lomas del cantón Daule.				
Objetivos específicos	Disminuir la carga contaminante aportada por los productos químicos a los cuerpos hídricos. Establecer un manejo adecuado de desechos.				
Alcance	El presente programa se encuentra dirigido a todos los propietarios, usuarios y personal administrativo de la junta de riego y drenaje América – Lomas, instituciones gubernamentales y educativas.				
Responsables	MAyA, APCSA, proveedores de productos químicos agrícolas, junta de riego y drenaje América – Lomas.				
Actividades	Beneficios	Indicadores	Medios de verificación	Frecuencia	Presupuesto
Reactivación del centro de acopio de APCSA.	Contar con un centro temporal para almacenar desechos peligrosos y reducir su presencia en los cuerpos hídricos.	N° de desechos peligrosos almacenados.	Registro fotográfico. Inventario de envases almacenados. Registro generador de desechos.	Mensual.	100
Talleres de capacitación sobre el triple lavado.	Evitar la contaminación del suelo y agua, aprovechar al 100% el producto.	N° de talleres planificados/ N° de talleres realizados.	Registro fotográfico y registro de asistencia a talleres.	1 vez al año.	200

Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO V

5.1. DISCUSIÓN

La HH obtenida en los sectores de estudio oscilaron entre 6.000 a 8.000 m³/ton cantidades que fueron superiores a lo registrado en Puerto López, ciudad de Colombia por Rojas y Hernández, (2018) quienes calcularon la HH del arroz fue de 4.129,3 m³/ton. En cuanto a la demanda de agua verde y azul en los 3 sectores fue alta en las etapas iniciales del cultivo, lo cual difiere de lo obtenido en Perú donde los mayores consumos de agua se dieron en las etapas finales del cultivo de arroz, los autores indican que esto pudo darse por las condiciones de sequía (Sierra y Romero, 2020).

En relación a la media de la HH de producción de arroz cuantificada en la zona de estudio 7.854,4 m³/ton son superiores a lo establecido a nivel nacional 1.974,34 por Silva, (2015) y 1.039 m³/ton por Ramírez et al., (2017). Estas variaciones de HH están sujetas a los ciclos de los cultivos en sus etapas iniciales de siembra, los parámetros climáticos, los rendimientos de los cultivos y la cantidad de agua de riego aplicada (Ramírez et al., 2017).

Además los resultados obtenidos indican que en los sectores de cultivo de arroz estudiados requieren 7.854 litros de agua para producir 1 kilogramo de arroz mientras que el requerimiento hídrico establecido por la organización mundial Water Footprint Network, (2009) es de 2.500 litros por kilo de arroz. Por lo tanto, la huella de agua para la producción de la gramínea es 5 veces superior a la estandarizada a nivel global.

La composición hídrica total del cultivo estudiado entre los tres sectores representaron un 31% verde, 61 azul y 8% gris en comparación a los componentes de HH determinada a nivel nacional por Chapagain y Hoekstra, (2010) los cuales fueron: 48% verde, 44% azul y 8% gris. Siendo el aporte de HH gris en ambos estudios similares debido a que se tomó el mismo sistema de cultivo; por lo tanto, los fertilizantes empleados en la producción de arroz poseen una composición química similar basada principalmente en nitrógeno (FAO y IFA, 1992). Cabe recalcar que los mismos porcentajes se les atribuyen a los flujos de agua virtual de exportación en ambos estudios.

Los componentes de HH estimados en los sectores de producción de arroz del cantón Daule no guardan relación con lo reportado por Mekonnen et al., (2014) en la cuenca Daule y Vinces con un 83% verde, 8% azul y 9% gris. Estas diferencias porcentuales se dan por la práctica intensiva de monocultivos de arroz en época lluviosa en las cuencas ya mencionadas.

Referente a los valores de HH verde registrados en los tres sectores de cultivo de arroz se obtuvo un total de 2.432,47 m³/año siendo mínimos en comparación a los calculados por Tovar et al., (2017) en la cuenca del río Guayuriba perteneciente a Colombia con 656.968 m³/año. La diferencia amplia entre los valores obtenidos en el cantón Daule con respecto a la cuenca colombiana pudo darse a causa de las grandes extensiones de cultivos de arroz estudiadas por el autor, así como la presencia de precipitaciones promedios superiores a los 5.000 mm/año propias de las áreas montañosas.

De igual manera las aportaciones de HH verde cuantificada en los sectores de estudio presentaron porcentajes comprendidos entre 23 y 33% similares a los rangos estimados en el país entre el 2.007 al 2.010 con fluctuaciones de 26 a 49% (Pérez, 2012).

Con respecto a la HH azul de los tres sectores de producción de arroz en el cantón Daule representó el 61%, mientras que en el estudio realizado en la India mostró un 24% de HH azul. Estas diferencias de valores pueden surgir como consecuencia de la escasez de agua en el país asiático, al reducir el consumo de agua destinada a la irrigación de los cultivos mediante la implementación de técnicas de riego que permitan aprovechar de manera eficaz los pocos recursos hídricos disponibles (Hoekstra y Mekonnen, 2012).

Los valores porcentuales del consumo de agua para riego estimada en los sectores de investigación comprenden fluctuaciones entre el 56 y 68% mientras que las HHs azules determinadas por Pérez, (2012) en un período de 4 años constituyen rangos entre el 43 y 63%, siendo cantidades muy próximas entre ambos estudios. El requerimiento hídrico para la irrigación en ambos casos es notorio, puesto que el agua no sólo se utiliza con fines productivos sino también para una amplia gama de propósitos relacionados al desarrollo del cultivo, tales como

preparación del terreno, evapotranspiración, infiltración y percolación, drenaje de mediados de estación (FAO, 2004).

Por otro lado los aportes de HH gris determinados en los tres sectores de análisis presentaron cantidades que fluctúan entre 7 y 9%, estos porcentajes guardan relación con los calculados a escala nacional para los años comprendidos desde el 2.007 hasta el 2.010 con variaciones del 7 al 9%.

De igual manera se obtuvo una media de 655,73 m³/ton en el área de investigación, atribuyendo una carga contaminante superior a la cuantificada en diferentes provincias de la costa del Ecuador. Siendo Manabí 157, El Oro 140, Los Ríos 139 y Guayas 135 m³/ton (Pérez, 2012). Los niveles altos registrados en los 3 sectores pudieron darse a causa de la ausencia de asistencia técnica de instituciones para un manejo adecuado de cultivos de arroz.

Las estimaciones de huella hídrica por sectores: 1 con 6.589,74 m³/ton, 3 con 8.976,77 m³/ton y 4 con 7.996,69 m³/ton se encuentran acorde a los rangos registrados a nivel nacional por Pérez, (2012) que oscilan entre 900 a 11.500 m³/ton.

Así mismo, la huella hídrica calculada para los sistemas de cultivos de arroz en función al tipo de técnica de cultivo, demostraron que el consumo y contaminación de agua por siembra directa es de 52% y por trasplante 48%; mientras que en Venezuela la HH de arroz se da en un 63,38% por el método de barro batido y 22,16% por siembra directa. Siendo el método de trasplante la técnica de cultivo más adecuada para minimizar la HH del arroz (Delgado et al., 2017).

El flujo de agua mediante exportación de arroz calculados en los 3 sectores están conformados por: 33% verde, 60% azul y 7% gris mientras que la composición estándar de agua virtual del arroz blanco establecida por Chapagain, (2009) es de: 43% verde, 49% azul y 8% gris. Los componentes verde y azul de la zona de estudio presentan una diferencia de 10 y 11%, respectivamente, por el contrario el AV gris es próximo al propuesto por el autor. Las diferencias halladas en el área de investigación con respecto a la composición de agua contenida en los productos de arroz indican un incremento de prácticas de riego a causa de la ausencia de precipitaciones en ciertos meses del año.

El rendimiento del cultivo de arroz en el área de investigación posee una media relativamente mínima de 2,36 ton/ha en comparación al rendimiento promedio estimado a nivel nacional 4,12 ton/ha. En ambos casos la producción total de los cultivos de arroz por ha no cumplen con el promedio global de 5 ton/ha (Peng et al., 1999).

Del mismo modo los rendimientos agrícolas por sectores: 1 con 2,75 ton/ha, 3 con 2,08 ton/ha y 4 con 2,25 ton/ha son inferiores a diferencia de los determinados por Silva, (2015), en las provincias de: Los Ríos con 4,37 ton/ha, Guayas con 4,06 ton/ha y Manabí con 3,37 ton/ha. Por lo tanto, la zona de estudio presenta factores de estrés abiótico puesto que el rendimiento total y sectorial del arroz cultivado en condiciones de inundación son menores a 3 ton/ha y una adecuada gestión en las prácticas de riego por parte de la junta de riego y drenaje (Peng et al., 1999).

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de titulación se cuantificó la huella hídrica y agua virtual en 3 sectores de producción de arroz del cantón Daule, los valores de la HH total difirieron entre sí en función a la variabilidad estacional de la zona, sin embargo, los resultados no estuvieron sujetos a la extensión de los cultivos de arroz puesto que la mayor huella de agua se registró en el sector 3 comprendido por 2 ha y no en el sector 4 que posee 11 has. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada.
- El uso de agua por irrigación es superior al proveniente de las precipitaciones. Esto se debe a la ausencia de lluvias durante la época invernal ocasionando un incremento de prácticas de riego durante ambas estaciones del año y además se comprobó que el mayor requerimiento de agua en los cultivos de arroz se da en las etapas iniciales.
- La cuantificación de la HH verde y azul de cada sector demostró que son inversamente proporcionales, es decir, hubo mayor consumo de agua verde y menor uso de agua azul en época lluviosa y viceversa en época seca.
- La HH gris es mayor en época seca que en época lluviosa debido a que los agricultores reducen la aplicación de productos químicos nitrogenados (urea), durante los meses de precipitaciones para evitar la pérdida de fertilizantes por escorrentía o lixiviación.
- La importación neta de agua virtual en el área de investigación es negativa puesto que sólo se registró exportación bruta de agua a través de la venta de sacos de arroz y no se reportó importación bruta de agua en arroz, ya que la zona se dedica únicamente a la producción y no al consumo del producto, por lo tanto, hubo pérdidas de agua en la localidad.
- Se evidenció que el rendimiento del cultivo de arroz en los 3 sectores es bajo en comparación a la media provincial y nacional en consecuencia a la presencia de factores de estrés abióticos, tales como: fuertes vientos e inadecuado manejo de desechos agrícolas, también se le atribuye estos

resultados a la inadecuada gestión en las prácticas de irrigación de cultivos de la zona.

- La técnica de trasplante registró menor contribución de huella hídrica a diferencia de la siembra directa, también presentó similar rendimiento agrícola entre ambas técnicas de cultivo siendo el trasplante la técnica más viable a aplicar.

6.2. RECOMENDACIONES

- Evaluar la viabilidad técnica de la propuesta de minimización de la huella hídrica del arroz con el fin de lograr su implementación.
- Dar seguimiento a los programas de minimización de huella hídrica de arroz una vez ejecutados para la determinación de su efectividad y su posterior reproducibilidad en otros sectores de cultivos de arroz del cantón.
- Realizar análisis de calidad de suelo y de agua para la identificación de nuevos factores de estrés que provoquen la disminución en el rendimiento de los cultivos de arroz, así como poseer conocimiento sobre las consecuencias de la huella gris.
- Replicar este modelo a otros sistemas de cultivos en el cantón Daule para tener una mejor comprensión de la gestión de los recursos hídricos y procesos de producción agrícola.
- Promover charlas de educación y sensibilización ambiental a los usuarios pertenecientes a la junta de riego América – Lomas mediante capacitaciones con el fin de que tengan conocimiento sobre la importancia de los problemas que causan una incorrecta gestión del agua, residuos agrícolas y manejo de cultivos.
- Incentivar a los agricultores a la implementación de programas de manejo de cultivos asistidos por sus proveedores de productos químicos o por instituciones competentes como el GAD municipal o MMAyA.

REFERENCIAS

- Allan, J. (1998). "Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits." *Ground Water* 36(4):545–46.
- Allan, J., Merrett, S., Lant, C., Tony, J., y Allan, S. (2003). *Virtual Water-the Water, Food, and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor?* Vol. 28.
- Allan, T. (1997). *Water and Development Session-TUE.51, 14*. Vol. 45.
- Rivera. (2016). La sostenibilidad del recurso hídrico en el Ecuador: Análisis multicriterial de la gestión del agua. *Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio convocatoria*.
- El Comercio. (2015). "Arroceros Ecuatorianos proyectan Un 25% más de producción | El Comercio." Retrieved April 14, 2020a (<https://www.elcomercio.com/actualidad/arroz-ecuador-aumento-produccion-guayas.html>).
- El Universo. (2009). "Nuevas Pautas En Venta y Uso de Agroquímicos | Ecuador | Noticias | El Universo." Retrieved April 14, 2020b (<https://www.eluniverso.com/2009/09/12/1/1416/nuevas-pautas-venta-uso-agroquimicos.html>).
- Water Footprint Network. (s.f.). "Virtual Water Trade." Retrieved April 14, 2020c (<https://waterfootprint.org/en/water-footprint/national-water-footprint/virtual-water-trade/>).
- FAO. (s.f.). "Water | FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations." Retrieved April 14, 2020d (<http://www.fao.org/water/en/>).
- UN, y DESA. (2014). "Water Scarcity | International Decade for Action 'Water for Life' 2005-2015." Retrieved April 15, 2020e (<https://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>).
- Behera, y Sharma. (2007). *Modern Concepts of Agriculture*. New Delhi.
- Bouman, M., Humphreys, E., Tuong, P., y Barker, R. (2007). "Rice and Water." *Advances in Agronomy* 92:187–237.

- Bouman, M., Lampayan, M., y Tuong, P.(2007). *Water Management in Irrigated Rice-Coping with Water Scarcity* .
- Cabezas, M., y González, D. (2017). “Determinación de La Huella Hídrica y Del Agua Virtual En Una Plantación de Banano Como Producto de Exportación En La Finca ‘Santa Narcisa’; En El Cantón La Concordia, Provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas.” Escuela Politécnica Nacional.
- Chapagain, A., y Hoekstra, A. (2010). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Rice from Both a Production and Consumption Perspective. *Value of Water research report*. Vol. 40.
- Chapagain, A., Hoekstra, A., y Savenije, H. (2005). *Saving Water through Global Trade Value of Water. Value of Water Research Report Series No. 17* (p. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE). UNESCO-IHE. Retrieved from <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report17>
- Chapagain, A., Hoekstra, A., Savenije, H. y Gautam, R. (2006). “The Water Footprint of Cotton Consumption: An Assessment of the Impact of Worldwide Consumption of Cotton Products on the Water Resources in the Cotton Producing Countries.” *Ecological Economics* 60(1):186–203.
- Chapagain, A. (2009). *Water Footprint of Rice: Quantifying the Rainbow of Virtual Water Fluxes Related to Rice Trade*. Santander.
- Chapagain, A., y Tickner, D. (2012). *Water Footprint: Help or Hindrance?. Issue 3*. Vol. 5.
- Dalin, C., Konar, M., Hanasaki, N., Rinaldo, A., y Rodriguez, I. (2012). “Circos: An Information Aesthetic for Comparative Genomics.” *Proc Natl Acad Sci* 16:1639–45.
- Dourte, D., y Fraisse, C. (2012). “View of What Is a Water Footprint?: An Overview and Applications in Agriculture.” Retrieved August 3, 2020 (<https://journals.flvc.org/edis/article/view/119514/117446>).
- Falkenmark, M. (1995). “Land-Water Linkages: A Synopsis.” Retrieved August 22, 2020 (<http://www.fao.org/3/v5400e/v5400e06.htm>).
- Falkenmark, M. (2000). “Competing Freshwater and Ecological Services in the River

- Basin Perspective: An Expanded Conceptual Framework.” *Water International* 25(2):172–77.
- FAO. (1998) . *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Vol. 56. Rome.
- FAO. (2004). *El Arroz y El Agua: Una Larga Historia Matizada*.
- FAO. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (Vol. 66, p. 530). <https://doi.org/978-92-5-308564-4>.
- FAO. (2019). *Agriculture and Climate Change: Challenges and Opportunities at the Global and Local Level, Collaboration on Climate-Smart Agriculture*. Rome.
- FAO. (s.f.) “Land & Water, Climwat.” Retrieved August 23, 2020a (<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>).
- FAO. (s.f.) “Land and Water, CropWat.” Retrieved August 23, 2020b (<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>).
- FAO, y IFA. (1992). *World Fertilizer Use Manual*. París.
- GAD Municipal de Daule. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Daule*. Daule.
- Hoekstra, A. (2008). “Water Neutral: Reducing and Offsetting the Impacts Of Water Footprints.” (28).
- Hoekstra, A., y Hung, P. (2002). Virtual Water Trade Value of Water. *A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Research Report Series No. 12* (p. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE).
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. y Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*. Washington.
- Hoekstra, A., y Chapagain, A. (2007). *Globalization of Water. Sharing the Planet's Freshwater Resources*. edited by A. Y. Hoekstra and A. K. Chapagain. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Hoekstra, A., y Mekonnen, M. (2012). “The Water Footprint of Humanity.”

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 109(9):3232–37.

Hsiao, T., O'toole, J., Yambao, E., y Turner, N. (1984). *Influence of Osmotic Adjustment on Leaf Rolling and Tissue Death in Rice (Oryza Sativa L.)*. Vol. 75.

INEC. (2010). "Censo de Población y Vivienda." Retrieved August 23, 2020 (<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>).

Jones, P., Dingkuhn, M., Aluko, K., y Semon, M. (1997). "Interspecific *Oryza Sativa L. X O. Glaberrima Steud.* Progenies in Upland Rice Improvement." *Euphytica* 1997 94:2 94(2):237–46.

Jungbluth, N., Fluri, K., y Doublet, G. (2013). "Environmental Impacts of Food Consumption and Its Reduction Potentials." *The 6th International Conference on Life Cycle Management in Gothenburg 2013* (January 2012):1–4.

Lilley, J., y Fukai, S. (1994). "Effect of Timing and Severity of Water Deficit on Four Diverse Rice Cultivars II. Physiological Responses to Soil Water Deficit." *Field Crops Research* 37(3):215–23.

Mekonnen, M., Pahlow, M., Aldaya, M., Zarate, E., y Hoekstra, A. (2014). *Water Footprint Assessment for Latin America and the Caribbean*.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial No. 061*.

O'Toole, J., Hsiao, T., y Namuco, O. (1984) . "Panicle Water Relations during Water Stress." *Plant Science Letters* 33(2):137–43.

Orr, S., y Chapagain, A. (2006). *Virtual Water: A Case Study of Green Beans and Flowers Exported to the UK from Africa Fresh Insights Virtual Water: A Case Study of Green Beans and Flowers Exported to the UK from Africa. Fresh Insights* (p. 30).

Peng, S., Virmani, S., Cassman, K., Sheehy, J. y, Khush, G. (1999). "Yield Potential Trends of Tropical Rice since the Release of IR8 and the Challenge of Increasing Rice Yield Potential." In *Crop Science* (Vol. 39, pp. 1552–1559). Crop Science Society of America. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961552x>

- Pérez, S. (2012) . *Evaluación y Análisis de La Huella Hídrica y Agua Virtual de la producción Agrícola en el Ecuador*. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/911/1/AGN-2012-T025.pdf>
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador clima, precipitaciones, escorrentía. El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía* (pp. 1–118).
- Ramírez, L., Vilches, R., Lizano, R., Pinzón, I., y Sandoval, E. (2017). “Estimación de La Huella Hídrica y de Carbono En Los Cultivos Comunitarios de Quínoa (Chenopodium Quinoa Wild) Correspondientes a La Zona Central de Los Andes Ecuatorianos.” *Anales Científicos* 78(2):173.
- Rana, S., y Rana, M. (2011). “Cropping System.” Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador clima, precipitaciones, escorrentía. El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía* (pp. 1–118).
- Ray, C., McInnes, D., y Sanderson, M. (2018). “Virtual Water: Its Implications on Agriculture and Trade.” *Water International* 43(6):717–30.
- Rockström, J. (1997). “On - Farm Agrohydrological Analysis of the Sahelian Yield Crisis. Rainfall Partitioning, Soil Nutrients and Water Use Efficiency of Pearl Millet .” *Department of Systems Ecology Stockholm University: Natural Resources Management* 287. Retrieved August 22, 2020 (<https://library.wur.nl/WebQuery/isric/2263141>).
- 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*. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/813.
- Salmoral, G., Aldaya, M., Chico, D., Garrido, A., y Llamas,R. (2011). *The Water Footprint of Olives and Olive Oil in Spain*. Vol. 9. Madrid.
- Savenije, H. (1999). “Water Scarcity Indicators; the Deception of the Numbers.” Pp. 199–204 in *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*. (Vol. 25, pp. 199-204). [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00004-6).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015) . “Capítulo 6 Agua.”

Informe de La Situación Del Medio Ambiente En México 363–429.

Shannon, M. (1997). "Adaptation of Plants to Salinity." *Advances in Agronomy* 60(C):75–120.

Sierra, L., y Romero, M. (2020). *Tercer Informe de Seguimiento Cuantificación de La Huella Hídrica En El Cultivo de Arroz*. International Center for Tropical Agriculture (CIAT).

Silva, A. (2015) . *Gestión Hídrica y Metabolismo Hídrico En La Producción Agrícola Ecuatoriana: Análisis de La Huella Hídrica en el Año 2010*.

Tovar, N., Trujillo, J., Muñoz, S., Torres, M., y Zárate, E. (2017). *Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica*. Vol. 21. Meta.

Varjo, J., y Mery, G. (2001). "World Forests, Markets and Policies." (May):490.

Velázquez, E., Madrid, C. y, Beltrán, M. (2011). "Rethinking the Concepts of Virtual Water and Water Footprint in Relation to the Production-Consumption Binomial and the Water-Energy Nexus." *Water Resources Management* 25(2):743–61.

Water Footprint Network. (2009). "What Is a Water Footprint?" Retrieved August 15, 2020 (<https://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/>).

Water Footprint Network. (s.f.). "Aims & History." Retrieved August 15, 2020 (<https://www.waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/>).

Waterlow, J., Amstrong, D., Fowden, L., y Riley,R. (1998). "Feeding a world population of more than eight billion people: A challenge to science,topics in sustainable agronomy:" 300. Retrieved September 21, 2020 (<https://www.amazon.co.uk/Feeding-World-Population-Billion-People/dp/0195113128>).

Wopereis, M., Kropff, M., Maligaya, A., y Tuong, T. (1996). "Drought-Stress Responses of Two Lowland Rice Cultivars to Soil Water Status." *Field Crops Research* 46(1–3):21–39.

World Water Council. (2006). "Water Problems in Latin America." *World Water*

Council 4th Water Forum 3.

Zhang, L., Yin, X., Zhi, Y., y Yang, Z. (2014). "Determination of Virtual Water Content of Rice and Spatial Characteristics Analysis in China." *Hydrol. Earth Syst. Sci* 18:2103–11.

ANEXOS



Anexo 1. Sectores de producción de arroz del área de estudio.



Anexo 2. Cuerpo receptor de la carga contaminante, río Daule.



Anexo 3. Canales de distribución de agua para riego.



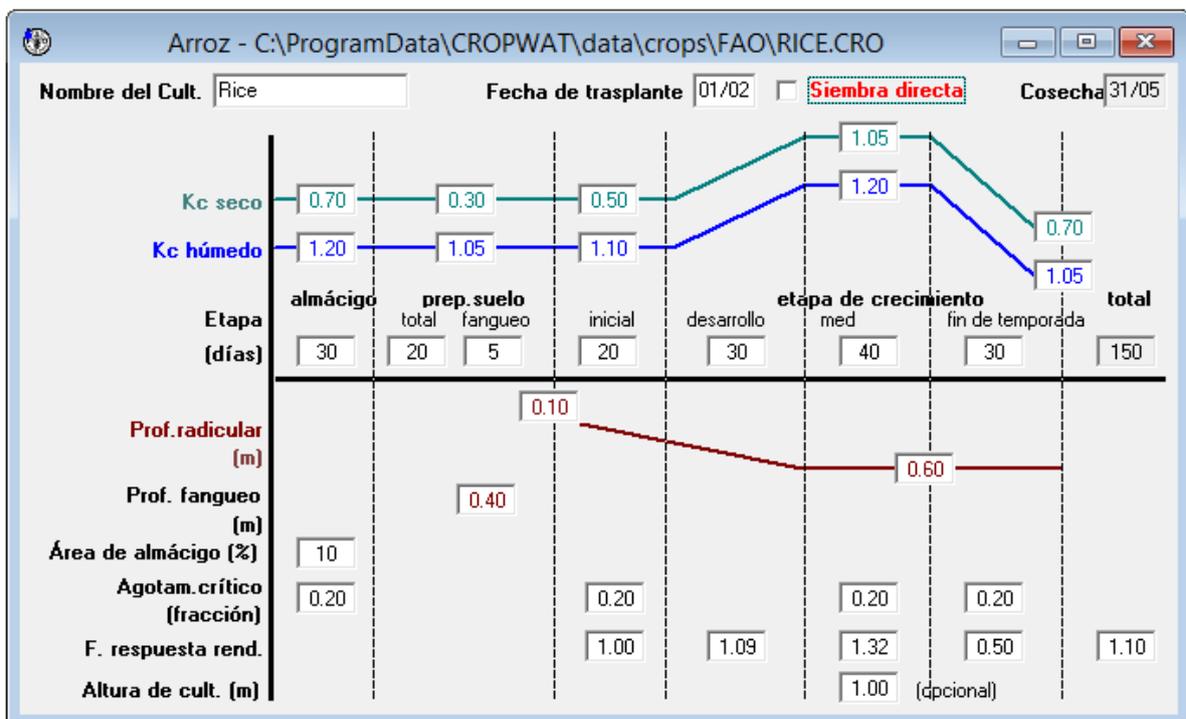
Anexo 4. Productos químicos utilizados en los sectores de cultivo de arroz.



Anexo 5. Centro de acopio de envases agrícolas fuera de servicio.

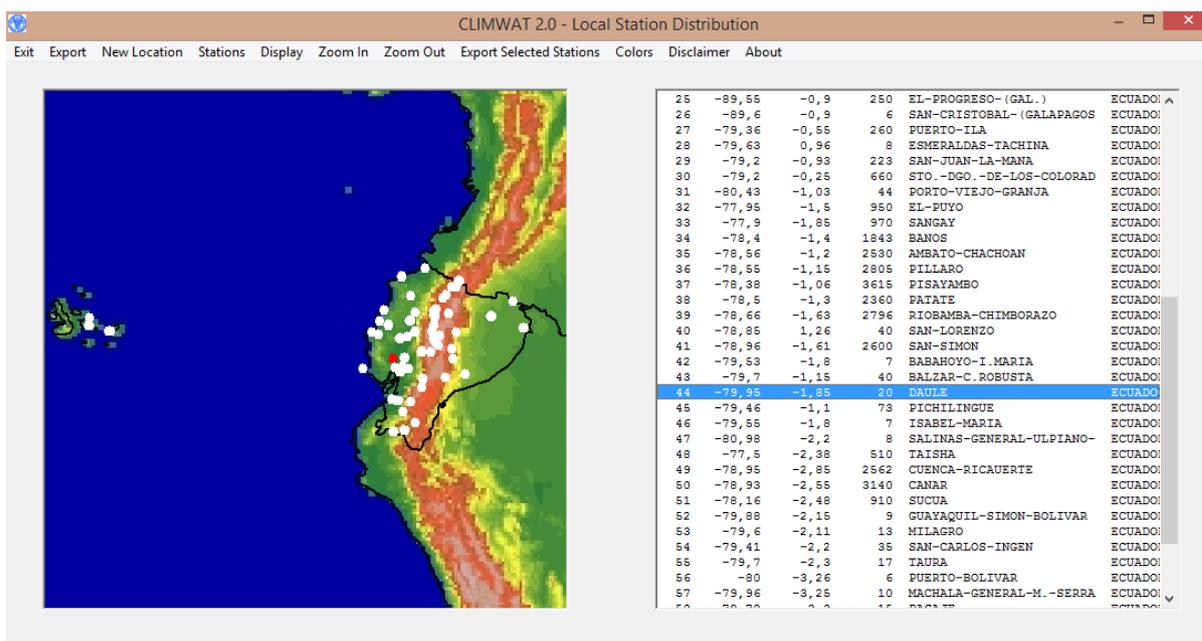


Anexo 6. Registro de coordenadas geográficas mediante Polaris Navegación GPS.



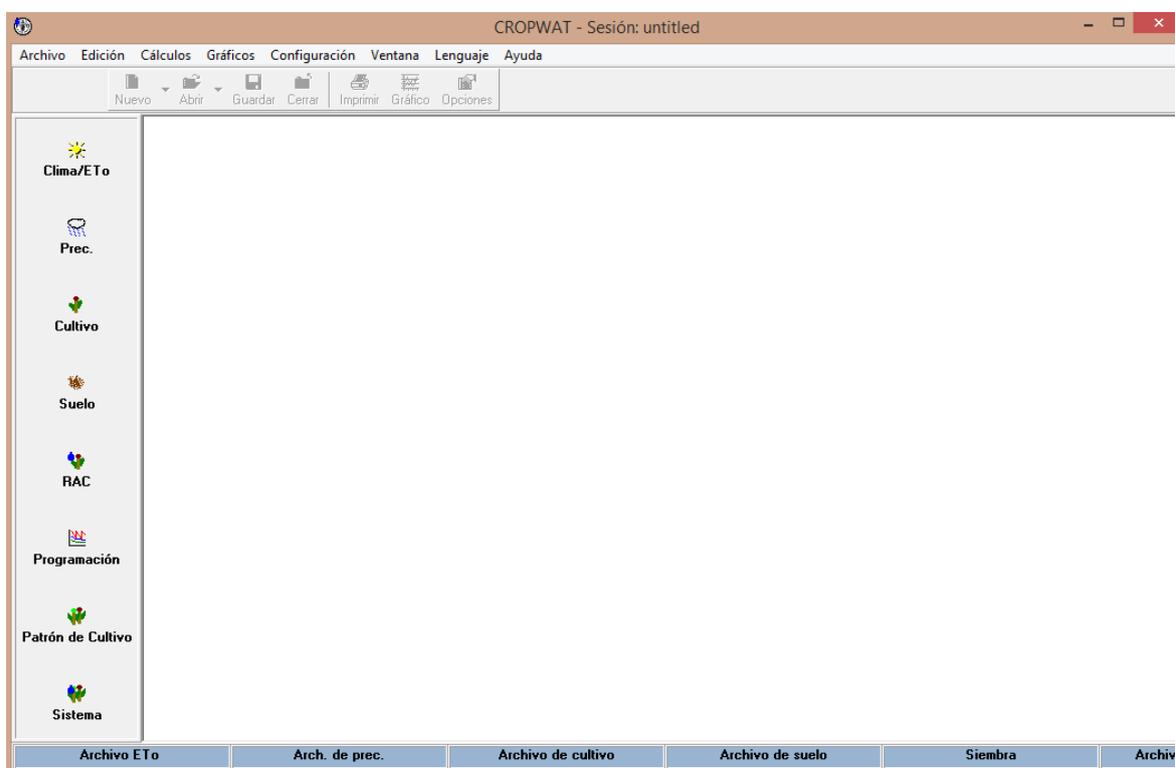
Anexo 7. Valores referenciales de los datos del cultivo de arroz.

Fuente: FAO, (1998).



Anexo 8. Base de datos de parámetros meteorológicos de Climwat 2.0.

Fuente: FAO, (1998).



Anexo 9. Programa Cropwat 8.0 para el cálculo de ET_o verde y azul.

Fuente: FAO, (1998).

PROGRAMA DE MANEJO DEL CULTIVO DE ARROZ

1. Semilla y Fertilización de Base			
Producto	Dosis/Ha	Edad Cultivo	Precio
D.A.P	1 saco	2 días antes	40,3
Muriato de k	2 sacos	o inmediatamente	63,32
Silical	1 saco	después de la siembra	31,1
134,72			
2. Control de Malezas			
Fixer Plus(regulador PH)	150 cc	1 día antes ads	1,72
Butarroz	2 Lt		10,42
Gramilac	2 Lt		14,59
Pyraceas	250 gr		17
43,73			
3. Fertilización Foliar + Insecticida			
Fixer Plus(regulador PH)	150 cc	20-25 dds	1,72
Metalosate Crop up	500 cc		10,5
Metalosate de Zn	500 cc		10,5
Amunil(Insecticida) <i>o conyuv</i>	240 cc		14,4
37,12			
4. Fertilización al Suelo			
Urea Urea	2 sacos	28-30 dds	56,9
56,9			
5. Fertilización Foliar + Insecticida + Fungicida			
Fixer Plus(regulador PH)	150 cc	40-45 ddt	1,72
Metalosate Multimineral	500 cc		10,5
Metalosate B	250 cc		5,25
Metalosate Ca	250 cc		5,25
Amistar Top	400 cc		43,37
Profenopac(Insecticida)	0,5 LT		7,1
73,19			
6. Fertilización al Suelo			
Urea	2 sacos	50-55 ddt	56,9
Sulfato de Potasio	1 saco		45,1
102			
7. Fertilización Foliar + Insecticida + Fungicida			
Fixer Plus(Regulador PH)	150 cc	60-70 ddt	1,72
Metalosate Multimineral	500 cc		10,5
Metalosate K	250 cc		5,25
Metalosate Ca	250cc		5,25
Ausoil <i>o conyuv</i>	400 cc		17,35

134,72

43,73

37,12

56,9

73,19

102

0,0
2.599,18

Anexo 10. Programa de manejo del cultivo de arroz del sector 4 asistido por Agripac.