



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA,
PESCA Y VETERINARIA
CARRERA DE AGRONOMÍA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Eficiencia en el uso del agua en producción de cultivos protegidos”.

AUTOR:

Luis Enrique Flores Pintado

TUTOR:

Ing. Agr. Oscar Caicedo Camposano, Ph.D.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2022

RESUMEN

En el presente documento sobre la eficiencia en el uso del agua en producción de cultivos protegidos, se puede determinar que el agua de riego es indispensable para la producción de cultivos, sin embargo en los últimos tiempos su baja calidad ha causado diversos problemas en el suelo, deteriorando las superficies agrícolas lo que baja la productividad de las plantaciones, especialmente de cultivos protegidos; la sostenibilidad, referente a la producción de los sistemas agrarios hace indispensable el uso racional del agua, considerado este elemento como un factor esencial para la agricultura; cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m³ de agua utilizada; el uso del agua en cultivos protegidos tiene la ventaja de que las plantaciones reciban fertirrigación, con agua de buena calidad sin riesgos de salinización ni sodificación y a su vez aprovechando al máximo los nutrientes y bajando los costos de producción por el uso racional de los mismos; la eficiencia del uso del agua en las plantas depende de las especies y variedades que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación del carbono y de las características ambientales donde se desarrollan los cultivos protegidos con un déficit hídrico moderado no afecta la producción, debido que con una reducción del 25 % en la fase de desarrollo vegetativo y un 50 % en la cosecha se logran obtener rendimientos aceptables.

Palabras claves: eficiencia, riego, fertirrigación, calidad, invernadero.

SUMMARY

In this document on the efficiency in the use of water in the production of protected crops, it can be determined that irrigation water is essential for crop production, however in recent times its low quality has caused various problems in the soil, deteriorating agricultural surfaces which lowers the productivity of plantations, especially protected crops; sustainability, referring to the production of agricultural systems, makes the rational use of water essential, considering this element as an essential factor for agriculture; when it is intended to focus the use of water for a merely productive and economic component, biomass is replaced by the yield in kg of product per m³ of water used; The use of water in protected crops has the advantage that the plantations receive fertigation, with good quality water without the risk of salinization or sodification, and in turn making the most of the nutrients and lowering production costs due to their rational use; the efficiency of water use in plants depends on the species and varieties that are related to the ability to optimize carbon assimilation processes and the environmental characteristics where protected crops are grown with a moderate water deficit does not affect production, because with a 25% reduction in the vegetative development phase and a 50% reduction in the harvest, acceptable yields are obtained.

Keywords: efficiency, irrigation, fertigation, quality, greenhouse.

CONTENIDO

RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	3
2. DESARROLLO	4
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	4
2.2. MARCO METODOLÓGICO	15
2.3. RESULTADOS.....	15
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	15
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	17
3.1. CONCLUSIONES.....	17
3.2. RECOMENDACIONES.....	18
4. BIBLIOGRAFÍA	19

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cultivos protegidos son una alternativa productiva, en los que se usan estructuras, materiales y equipo; posibilitan la producción de cultivos en climas adversos y facilitan el control de plagas y enfermedades. Estos sistemas se han usado ampliamente a nivel mundial con gran éxito, pero a nivel del trópico es necesaria la investigación en este campo con el objetivo de implementar o modificar el sistema para que favorezca la producción sostenible (Ramírez 2017).

La economía en el uso del agua en sistemas agrícolas constituye una prioridad fundamental dada su fuerte repercusión en el monto total de agua utilizada. Sin embargo, la producción agrícola, por exigencias de la economía de mercado, necesita cada vez más asegurar unos rendimientos mínimos para ser una actividad viable, y el riego se hace cada vez más imprescindible para obtener una producción más regular y predecible de los cultivos (Medrano *et al.* 2017).

Es posible alcanzar una alta eficiencia en el uso del agua en invernaderos a través del control óptimo de parámetros ambientales dentro del mismo, así como por las prácticas culturales; ambos factores generan altos rendimientos y menor uso del agua. Las técnicas de control climático influyen en la productividad del agua (PA), al modificar la demanda evaporativa y la producción comercial. Se puede monitorear la eficiencia en el uso del agua a través de la evapotranspiración de las plantas y el intercambio de O₂ y CO₂ (Salazar *et al.* 2018).

Por lo antes expuesto se desarrolló el presente documento con la finalidad de determinar la eficiencia en el uso del agua en producción de cultivos protegidos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de agua de mala calidad puede ocasionar problemas en el suelo y en los cultivos; estos pueden ser problemas de salinidad; disminución de la tasa de infiltración, toxicidad específica sobre los cultivos y otros.

Muchas regiones del mundo han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que las ha llevado a sobreexplotar los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos, creando un impacto negativo en el ambiente. En los países en los que se depende del agua subterránea para el riego, el exceso de extracción está provocando que los niveles freáticos de agua dulce estén descendiendo a un ritmo muy alarmante; por tal razón, es urgente incrementar la eficiencia en el uso del agua (Salazar *et al.* 2018).

1.3. JUSTIFICACIÓN

Cada vez hay más conocimientos y tecnologías disponibles que ayudan a incrementar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura y así, el incremento registrado en la superficie de regadío declarada en los últimos años se ha hecho compatible con una reducción global de la cantidad de agua utilizada por la agricultura. La explicación está en que en la mayor parte de las nuevas áreas de riego se ha establecido el riego localizado, por goteo o aspersión, sistemas mucho más eficientes, y en cultivos, que en buena parte tienen un consumo unitario mucho más bajo que los cultivos hortícolas (Medrano *et al.* 2017).

La producción en el entorno de la sostenibilidad de los sistemas agrarios está altamente comprometida con el uso racional de un recurso tan escaso como el agua. Y tanto ecológica, como agrónomicamente una interesante batería de medidas del uso que hacen los cultivos son los índices de eficiencia en el uso del agua (Rodríguez 2017).

Por ello se justifica el presente documento para recopilar información referente a la eficiencia en el uso del agua en producción de cultivos protegidos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Estudiar la eficiencia en el uso del agua en producción en cultivos protegidos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer las ventajas en cuanto a la eficiencia en el uso del agua.
- Analizar la eficiencia en el uso del agua en producción en cultivos protegidos.

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En lo que respecta a la temática sobre eficiencia en el uso del agua en producción de cultivos protegidos, corresponde al componente de recursos agropecuarios, con la línea de investigación desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y sublínea de la carrera de Agronomía en cuanto a conservación de suelos y agua.

El agua permite movilizar minerales en el suelo a través de las plantas, por lo tanto cuando el suelo se seca el crecimiento de las raíces disminuye; al contrario, cuando el suelo está saturado de agua las raíces tienden a ahogarse.

El “uso eficiente del agua”, especialmente en cultivos protegidos, incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua utilizada en los cultivos y que a su vez favorezca al mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua, lo cual conlleva a obtener beneficios significativos para el ambiente y la economía y a su vez proteger las diversas fuentes de agua.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante de la producción agrícola y ganadera en ambientes de clima tropical. Limitación que, ante las previsiones de Cambio Climático Global realizadas por organismo internacionales, serán mucho mayores en los próximos años. En este escenario, la eficiencia en el uso de los recursos hídricos debe ser un aspecto transversal de las políticas públicas que debe, por tanto, ser afrontado desde diversos puntos de vista (Medrano *et al.* 2017).

Fernández *et al.* (2018) afirma que el agua utilizada en la agricultura supone en torno a dos tercios de toda el agua usada en el mundo, porcentaje que suele ser mayor en zonas áridas y semiáridas con fuerte desarrollo agrícola. En un futuro próximo, la mayor necesidad de alimentos, derivada del esperado aumento de la población mundial y la mejora de su calidad de vida, conducirá a una mayor demanda de agua para regar los cultivos y aumentará la competencia por este cada vez más escaso recurso.

En este contexto, los mismos autores argumentan que “hay una creciente demanda social por un uso más productivo y sostenible del agua y por un mejor conocimiento de su uso en la agricultura, el principal usuario” (Fernández *et al.* 2018).

Para el mejor uso económico y social del agua se requieren de métodos para evaluar su productividad, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias de utilización de manera sostenible. Los administradores del agua para el riego necesitan identificar tendencias en los patrones de uso y niveles de eficiencia con vistas a fijar metas y mejorar la productividad por unidad de volumen utilizado y/o consumido y por unidad de superficie de suelo (González *et al.* 2016).

Gómez *et al.* (2017) comenta que:

Existe una gran preocupación por el alto desperdicio del agua que se presenta en los diferentes sectores económicos y sociales que la utilizan, 77 % del recurso concesionado se usa en la agricultura, 14 % es para uso doméstico y 9 % restante se destina al uso industrial. Se desperdicia 50 % del agua que se consume en los tres sectores.

Medrano *et al.* (2017) consideran que el agua es un recurso natural imprescindible, del que cada vez se requiere un mayor consumo en las poblaciones urbanas y que cada vez resulta más escaso. La dificultad de abastecimiento ha generado formas de abastecimiento y consumo que primaba la economía y previsión, toda una cultura de la economía del agua que en cierta forma languidece frente a la preponderancia del modo de vida urbano respecto al rural.

Sin embargo, los mismos autores indican que “las limitaciones de disponibilidad están afectando cada vez más a toda la población por lo que la economía en la red de abastecimiento, distribución, y sobretodo en los hábitos de consumo está cada vez más presente en nuestra sociedad” (Medrano *et al.* 2017).

De acuerdo a Gómez *et al.* (2017) el gran objetivo de la agricultura es satisfacer las necesidades de alimento y fibras que tiene la humanidad. Dichas necesidades se incrementan conforme aumenta la población, cuyo crecimiento promedio en los últimos 50 años ha sido de 50 millones de personas por año; a éste ritmo de crecimiento poblacional, satisfacer la ingesta de alimentos para los siguientes treinta-cuarenta años requerirá un incremento en la producción agrícola de 40 a 50 %.

En éste contexto, el riego ha tenido una función estratégica en el incremento de la producción de alimentos, sin embargo; en las últimas cinco décadas se ha observado que su práctica no controlada ha ocasionado diversos problemas en el suelo, deteriorado la calidad en grandes superficies agrícolas del mundo (Gómez *et al.* 2017).

La evapotranspiración constituye un importante componente del intercambio de calor latente en el estudio del balance de energía de los cultivos. Como resultado de la asimilación de CO₂ en la fotosíntesis la energía radiante es transformada en energía química, y tras la oportuna respiración la evidencia del crecimiento de las plantas queda patente cuando se estudia su biomasa. La producción hortícola en el entorno de la sostenibilidad de los sistemas agrarios está altamente comprometida con el uso racional de un recurso tan escaso como el agua (Fernández y Camacho 2015).

González *et al.* (2016) definen que:

Para las condiciones de suelo y clima no existen publicados indicadores de productividad del agua utilizada en la producción agrícola que permitan evaluar si los rendimientos obtenidos están en correspondencia con la cantidad de agua utilizada en el riego, cuestión de vital importancia en el contexto actual de cambios en la política económica del país, donde el balance de agua constituye un indicador de peso en la economía.

Y tanto ecológica, como agronómicamente una interesante batería de medidas del uso que hacen los cultivos son los índices de eficiencia en el uso del agua (EUA). Se entiende por eficiencia en el uso del agua la relación existente entre la biomasa presente en un determinado momento en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste (Fernández y Camacho 2015).

Los mismos autores determinan que cuando se trata de analizar fisiológicamente el uso de agua que ha realizado una planta o unidad de superficie se suele emplear como numerador dentro de esta ratio la biomasa total (B), mientras que cuando se pretende enfocar el empleo de agua con un componente meramente productivo y económico se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento (Y) (Fernández y Camacho 2015).

Ramírez y Nienhuis (2017) difunden que:

La horticultura protegida es una alternativa productiva para los agricultores;

el uso de invernaderos u otros sistemas de protección de plantas ha sido ampliamente usado alrededor del mundo con gran suceso. Frente a condiciones climáticas adversas, es posible sembrar dentro de estructuras diseñadas especialmente para poder modificar o controlar el clima circundante a las plantas de cultivo.

El gasto de agua en la agricultura, que supone entre el 50 y el 80 % del agua disponible, se mire como un «exceso» desde ciertos ámbitos, ignorando que ese consumo se dedica a producir los alimentos que la sociedad urbana necesita consumir y que, por tanto, acaba siendo también una necesidad de la población en general (Medrano *et al.* 2017).

El agua es un factor de producción esencial en agricultura. Su movimiento en el entorno vegetal tiene lugar a través del denominado continuo suelo (o sustrato), planta, atmósfera. En dicho contexto definimos un término de gran importancia en agronomía: la evapotranspiración. De forma simple, entendemos por evapotranspiración a la evaporación conjunta de agua desde el suelo y desde las superficies vegetales, que representamos por el símbolo ET (Fernández y Camacho 2015).

“El agua debe enfocarse a un uso más eficiente, en términos de la eficiencia transpirativa de las plantas, lo cual está asociado a la estructura genética de la especie y condicionado por el manejo agronómico del cultivo” (Gómez *et al.* 2017).

Diversas teorías existen desde la segunda década del siglo XX sobre el valor óptimo de humedad del suelo que maximiza los rendimientos, sin embargo Israelsen y Hansen (1964) puntualizaron que el mantener la humedad del suelo al 50% de la humedad aprovechable del mismo permitía maximizar los rendimientos, en contraposición a la teoría planteada por Veihmeyer y Hendrickson (1949) de que toda la humedad contenida en el suelo desde Capacidad de campo (Cc) hasta el punto de marchitez era igualmente utilizable y por tanto no se afectaba el rendimiento (González *et al.* 2016).

Gómez *et al.* (2017) estiman que:

Un análisis general del uso de agua en la agricultura, permite concluir que al pasar del riego rodado al riego por compuertas se podría regar el doble de superficie; si se usará riego por aspersión la superficie regada sería del orden de cuatro hectáreas y con sistemas de goteo la superficie regada sería de seis hectáreas.

El riego se implanta como una necesidad para la rentabilidad de las explotaciones agrícolas. En las últimas décadas, la producción agrícola mundial ha aumentado en paralelo a los aumentos de población sin apenas aumentar la superficie cultivada (probablemente muy cercana al máximo disponible). El incremento de producción global de alimentos viene totalmente ligado al incremento de la superficie regada, y esta tendencia «universal» se mantiene o se acentúa en los últimos años (Medrano *et al.* 2017).

“El cultivo protegido supone la creación de un ambiente que proteja a las plantas y permita controlar al máximo factores de producción como el uso del agua, la fertilización, la luz, CO₂, temperatura y humedad” (Ramírez y Nienhuis 2017).

González *et al.* (2016) explican que “diversos cultivos considerados de poca demanda de riego, obtienen incrementos de rendimiento superiores al 100 % cuando se aplica el agua necesaria para satisfacer su demanda hídrica”.

Cada vez hay más conocimientos y tecnologías disponibles que ayudan a incrementar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura y así, el incremento registrado en la superficie de regadío declarada en los últimos años se ha hecho compatible con una reducción global de la cantidad de agua utilizada por la agricultura. En la mayor parte de las nuevas áreas de riego se ha establecido el riego localizado, por goteo o aspersión, sistemas mucho más eficientes, y en cultivos, que en buena parte tienen un consumo unitario mucho más bajo que los cultivos hortícolas (Medrano *et al.* 2017).

Los mismos autores informan que “mejorar la producción vegetal es compatible con la economía del agua, pero esto requiere más conocimientos y tecnología que debemos desarrollar para hacer más sostenible la producción de alimentos y el abastecimiento de las poblaciones” Medrano *et al.* 2017).

Gómez *et al.* (2017) manifiestan que las pérdidas de agua para la agricultura de riego en el país son del orden del 40 al 75 %, lo que se debe fundamentalmente a la evaporación y conducción en canales largos y no revestidos, azolve de presas y canales, y salinización de suelos, entre otros.

“La estructura básica para el cultivo protegido, llamada invernadero, permite el cultivo de hortalizas minimizando el efecto de las plagas y enfermedades en localidades con condiciones climáticas adversas” (Ramírez y Nienhuis 2017).

La misma fuente plantea que “el cultivo protegido de hortalizas nos permite disminuir sustancialmente las aplicaciones de plaguicidas químicos y puede potenciarse el uso del control biológico al tener un ambiente más controlado” (Ramírez y Nienhuis 2017).

Los cultivos protegidos, especialmente las hortalizas, requieren cuidados especiales para su desarrollo y ambiente debido a que no se encuentran en el mismo entorno que los tradicionales, como la necesidad del agua requerida para su alimentación es de esta manera que existen métodos que pueden identificar qué cantidad de agua requiere un cultivo y cuál es la pérdida que este tiene diariamente como medición por evapotranspiración que causa el clima (Córdoba y Restrepo 2015).

La "eficiencia en el uso del agua (EUA)" o "productividad del agua (PA)" es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado momento. Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m³ de agua utilizada (Salazar *et al.* 2018).

Gómez *et al.* (2017) refieren que:

El uso del agua para la agricultura protegida, está íntimamente relacionada con el concepto de fertirrigación, a través del parámetro de calidad, que engloba concentración de sales disueltas (CE), presencia relativa de sodio (RAS), contenido de carbonatos y bicarbonatos (que condicionan el pH), concentración de cloro, boro, hierro y manganeso; y nutrimentos como calcio, magnesio y sulfatos que determinan el balance final en la aplicación de fertilizantes en la preparación de una solución nutritiva.

Medrano *et al.* (2017) reportan que en el proceso de intercambio de gases, en el que las plantas incorporan a su biomasa (fijan) carbono de la atmósfera también tiene lugar una «pérdida» (evapotranspiración) de vapor de agua desde la planta a la atmósfera. Así, la eficiencia en el uso del agua (EUA) de las plantas puede entenderse de manera genérica como el volumen de agua que éstas necesitan consumir (evapotranspirar) para incorporar a su biomasa una determinada cantidad de carbono proveniente de la atmósfera (en la que se encuentra en forma de CO₂).

De esta manera, la eficiencia en el uso del agua de las plantas dependerá principalmente de dos tipos de factores: en primer lugar, de aquellas características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración de agua; y en segundo lugar, de las características del ambiente en el que crece y se desarrolla la planta (Medrano *et al.* 2017).

Según Ramírez y Nienhuis (2017).

Existen muchas razones por las que se justifica el uso de invernaderos, desde el punto de vista técnico, los invernaderos permiten controlar mejor las variables de producción de los cultivos, como son el riego, la aplicación de fertilizantes, el manejo de la biomasa del cultivo a través del tutorado, la poda y el uso de sustratos para cultivo (en caso de no usar el suelo).

“El invernadero es un sistema de producción que puede incrementar la eficiencia en el uso del agua, creando un microclima para mejorar la fotosíntesis de la planta, reduciendo la evapotranspiración excesiva e incrementando los rendimientos” (Salazar *et al.* 2018).

En las casas de cultivo la evapotranspiración disminuye significativamente, razón por la que la protección se considera buena alternativa para reducir el consumo de agua de los cultivos. En condiciones protegidas la programación de riego se puede realizar por diferentes métodos, siendo el más difundido el basado en el balance hídrico del conjunto suelo – planta – atmósfera (León *et al.* 2018).

Con esta tecnología se facilita la implementación de equipo y uso de materiales para modificar el ambiente, como lo son los ventiladores, los muros húmedos, el piso de color blanco para reflectancia de luz entre otros, el invernadero también permite la automatización de algunos procesos por medio de dispositivos electrónicos de control como programadores de riego (Ramírez y Nienhuis 2017).

León *et al.* (2018) señalan que:

En el cultivo protegido constituye una transferencia tecnológica muy reciente, la cual está diseñada para brindar protección a las plantas del exceso de radiación solar e intensas precipitaciones, mediante el efecto sombrilla. En dicho sistema de producción las plantas son sometidas a condiciones ambientales distintas, por lo que sus necesidades hídricas son diferentes.

“Para satisfacer las mismas es necesario el estudio de la evapotranspiración del cultivo (Etc) de manera que la programación de riego responde a las preguntas básicas de cuándo se debe regar y con qué cantidad de agua es preciso hacerlo” (León *et al.* 2018).

Gómez *et al.* (2017) agregan que:

Para el caso de hortalizas, diferentes sistemas de riego eficiente del agua

logran cambios significativos. En campo abierto, han logrado producir un kg de producto con 60 L de agua. En plásticos sin calefacción la eficiencia se ha incrementado con un consumo de 40 L de agua, mientras que con cristal sin calefacción, se ha logrado producir un kg de materia seca con 30 L de agua. En cambio en invernaderos de cristal con control climático y aplicación de CO₂ se utilizan 22 L de agua, pero con reutilización del agua residual la eficiencia permite el uso de 15 L de agua por kg de producto.

Córdoba y Restrepo (2015) analizan que la agricultura protegida cada vez más se acerca al conocimiento de los agricultores los cuales han logrado un mecanismo de manipulación controlada de los requerimientos del cultivo, de los problemas que se pueden presentar como la presencia de plagas y enfermedades.

Además, los invernaderos se iniciaron desde hace más de cuatro décadas en países como Holanda, Francia, Israel, EE.UU, Brasil, Italia, España y Japón. Y cada vez crean nuevos con mejores técnicas y desarrollo y así proteger los cultivos para un mejor rendimiento de la producción se ha convertido en toda una estrategia de competitividad (Córdoba y Restrepo 2015).

Arévalo *et al.* (2016) deducen que:

La eficiencia en el uso del agua en el cultivo bajo invernadero implica, además de las necesidades de riego, determinar la cantidad y el momento de su aplicación, con el objeto de compensar el déficit de humedad del suelo y la demanda evaporativa durante todo su ciclo, medido por la producción de tallos por volumen de agua aplicada.

Los mismos autores señalan que para lograrlo se recurre al cálculo del balance hídrico, determinando la evapotranspiración del cultivo menos el agua que aporta las precipitaciones, las aguas subterráneas y la acumulación en el suelo debido a anteriores precipitaciones o aportaciones de aguas superficiales o subterráneas. Un riego adecuado se logra cuando se estima con exactitud la lámina diaria evapotranspirada y la capacidad

que tiene el suelo de almacenamiento (Arévalo *et al.* 2016).

Sánchez *et al.* (2017) estiman que en áreas con elevado nivel de radiación, el uso de agua de moderada salinidad para el riego de cultivos protegidos, de por sí perjudicial para el crecimiento y la producción, puede suponer en determinadas épocas la combinación de varios efectos negativos para las plantas, el estrés térmico e higrométrico y el estrés osmótico.

Un correcto manejo del clima del invernadero permitiría aumentar el rendimiento y disminuir la demanda evaporativa del ambiente, y por tanto mejorar la eficiencia en el uso del agua de los cultivos, así mismo podría mitigar los efectos negativos de la salinidad (Sánchez *et al.* 2017).

El cultivo del tomate requiere de una dosis de agua adecuada para su producción, una mala dosificación promueve la presencia de enfermedades y desordenes fisiológicos, en los invernaderos se emplean métodos para el uso de sistemas de riego sistematizado con frecuencia y permiten determinar con mayor confiabilidad y puntualidad las dosis exactas en el tiempo preciso para su hidratación permanente (Córdoba y Restrepo 2015).

Salazar *et al.* (2018) enfatizan que:

Las necesidades de agua de los cultivos bajo invernadero son menores que los cultivos a campo abierto. En regiones con alta radiación solar, un invernadero de plástico puede reducir el uso del agua en un cultivo en 30%. Sin embargo, existen zonas donde se reduce el uso del agua entre 40-50 % debido a la disminución en la radiación solar y el viento. Por otro lado, la evapotranspiración en invernadero se reduce un 70% respecto a la del aire libre.

León *et al.* (2018) dan a conocer que la alteración climática del túnel respecto al ambiente exterior redujo considerablemente la demanda evaporativa (43 y 45 %). Igualmente redujo la Etc (50 y 30 %), razón por lo que las casas de cultivo pueden considerarse un sistema eficiente para reducir el consumo de agua de los cultivos. Los valores obtenidos de Et y

Kc pueden ser utilizados para estimar las necesidades de riego en condiciones protegidas en similares entornos edafoclimáticos.

En el cultivo de hortalizas un déficit hídrico moderado no afecta la producción. Con reducción de la dosis de riego en un 25 % en la fase de desarrollo vegetativo y 50 en la de cosecha se pueden obtener rendimientos aceptables. Los rendimientos en condiciones de túnel superan en más del 40 % a los obtenidos al aire libre (León *et al.* 2018).

Según Salazar *et al.* (2018). En general, la producción bajo invernaderos incrementa la eficiencia en el uso del agua por tres razones:

1. Se reduce la evapotranspiración (menor radiación, mayor humedad).
2. Incremento de los rendimientos debido a un mejor control de plagas y enfermedades.
3. Técnicas avanzadas de riego (riego por goteo y reúso del agua).

Fernández *et al.* (2018) corroboran que el análisis del uso del agua de riego en la agricultura se realiza mediante una serie de indicadores establecidos internacionalmente y los más representativos a escala de explotación/parcela son:

- Aporte relativo de agua de riego: cociente entre el agua de riego aportada ($L m^{-2}$) y la requerida para cubrir las necesidades del cultivo ($L m^{-2}$);
- Productividad del agua de riego ($€ m^{-3}$): cociente entre el valor económico generado por el cultivo ($€ m^{-2}$) y el agua de riego aportada ($m^3 m^{-2}$);
- Eficiencia en el uso del agua de riego ($kg m^{-3}$): cociente entre el rendimiento comercial del cultivo ($kg m^{-2}$) y el agua de riego aportada ($m^3 m^{-2}$).

2.2. MARCO METODOLÓGICO

Para la elaboración del documento se recopiló información de textos actualizados, revistas, bibliotecas virtuales y artículos científicos que contribuyeron al desarrollo del presente documento que sirvió como componente práctico del trabajo de titulación.

La información obtenida fue parafraseada, resumida y analizada a fin de obtener información relevante sobre la eficiencia en el uso del agua en producción en cultivos protegidos.

2.3. RESULTADOS

Por lo expuesto anteriormente se deduce que:

Los rendimientos en los cultivos protegidos se incrementan cuando se mantiene la humedad en un 85 % de la capacidad de campo, que corresponde a un 50 % de la humedad aprovechable del suelo y la reducción de la producción se estima que es cuando el riego es mínimo o no se riega.

El óptimo desarrollo de los cultivos protegidos, se debe a la eficiencia del uso de agua de riego.

Los sistemas de invernaderos modernos han dado buenos resultados en términos de ahorro y energía, ya que se puede recuperar el agua transpirada por las plantas a través de la condensación y utilizarla como agua de riego.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados planteados se expone lo siguiente:

La humedad en un 85 % de la capacidad de campo, incrementa los rendimientos, ya que existen diversas teorías que el mantener la humedad del suelo al 50% de la humedad aprovechable del mismo permitía maximizar los

rendimientos.

El óptimo desarrollo de los cultivos protegidos, se debe a la eficiencia del uso de agua de riego, debido a que el agua utilizada en la agricultura supone en torno a dos tercios de toda el agua usada en el mundo, porcentaje que suele ser mayor en zonas áridas y semiáridas con fuerte desarrollo agrícola. En un futuro próximo, la mayor necesidad de alimentos, derivada del esperado aumento de la población mundial y la mejora de su calidad de vida, conducirá a una mayor demanda de agua para regar los cultivos y aumentará la competencia por este cada vez más escaso recurso.

Los sistemas de cultivos protegidos permiten recuperar el agua transpirada por las plantas a través de la condensación y utilizarla como agua de riego, debido al empleo de una serie de indicadores establecidos internacionalmente entre los que se destacan el aporte relativo de agua de riego, productividad del agua de riego (€ m^{-3}) y la respectiva eficiencia en el uso del agua de riego que es el cociente entre el rendimiento comercial del cultivo y el agua de riego aportada.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones planteadas son:

El agua de riego es indispensable para la producción de cultivos, sin embargo en los últimos tiempos su baja calidad ha causado diversos problemas en el suelo, deteriorando las superficies agrícolas lo que baja la productividad de las plantaciones, especialmente de cultivos protegidos.

La sostenibilidad, referente a la producción de los sistemas agrarios hace indispensable el uso racional del agua, considerado este elemento como un factor esencial para la agricultura.

La eficiencia en el uso del agua es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado momento. Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m³ de agua utilizada.

El uso del agua en cultivos protegidos tiene la ventaja de que las plantaciones reciban fertirrigación, con agua de buena calidad sin riesgos de salinización ni sodificación y a su vez aprovechando al máximo los nutrientes y bajando los costos de producción por el uso racional de los mismos

La eficiencia del uso del agua en las plantas depende de las especies y variedades que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación del carbono y de las características ambientales donde se desarrollan los cultivos.

En los cultivos protegidos, un déficit hídrico moderado no afecta la producción, debido que con una reducción del 25 % en la fase de desarrollo vegetativo y un 50 % en la cosecha se logran obtener rendimientos aceptables.

3.2. RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones se pueden citar:

Optimizar la eficiencia del uso de agua de riego en cultivos protegidos, especialmente con fertirriego, con la finalidad de incrementar los rendimientos y reducir los costos de producción.

Promover el uso del agua de riego de buena calidad, identificando antes del uso su composición y análisis para evitar los daños en los cultivos protegidos.

Mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura y su uso de manera sustentable.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, J. J., Vélez, J. E., & Camacho-Tamayo, J. H. (2016). Uso eficiente del agua para el cultivo de rosa cv. Freedom bajo invernadero. *Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental*, 17, 811-817. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/sxF4hx65FhHtkf7SyqVYZnw/?format=pdf&lng=es>
- Córdoba Berrio, I., & Restrepo Salas, R. (2015). Aporte al estudio de la determinación del uso eficiente del agua en cultivo protegido de tomate mediante la evapotranspiración, en el municipio de Turbo–Antioquia–Colombia. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/3528/1045495469.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernández, E., Camacho, F. 2015. Eficiencia en el uso del agua. Concepto y aplicaciones practicas en horticultura y semilleros. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Camacho-Ferre/publication/259812941_Eficiencia_en_el_uso_del_agua/links/00b495183dceab4f8d000000/Eficiencia-en-el-uso-del-agua.pdf
- Fernández, M. D., Thompson, R. B., Bonachela, S., Gallardo, M., & Granados, M. R. (2018). Uso del agua de riego en los cultivos de invernadero. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA)*, (3), 115-138. Disponible en <https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-522.pdf>
- Gómez, J., Muñoz, R., Rodríguez, M. (2017). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/467/46750924004.pdf>
- González Robaina, Felicita, Herrera Puebla, Julián, López Seijas, Teresa, Cid Lazo, Greco. 2016. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 21-27. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000400004&lng=es&tlng=es.

- León, M., Cun, R., Chaterlán, Y., Rodríguez, R. (2018). Uso eficiente del agua en el cultivo del tomate protegido. Resultados obtenidos en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(3), 9-13. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/932/93214303.pdf>
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. 2017. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas (Esp)*, (43), 63-84.
- Ramírez-Vargas, C., Nienhuis, J. 2017. Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 25(2), ág-10. Disponible en https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/303/257
- Rodríguez, E. J. F. 2017. Eficiencia en el uso del agua. Viveros. *Revista Extra* 2005. Pág. 86 -89.
- Salazar-Moreno, Raquel, Rojano-Aguilar, Abraham, López-Cruz, Irineo Lorenzo. 2018. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183. Recuperado en 28 de agosto de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000200012&lng=es&tlng=es.
- Sánchez-Guerrero, M. C., Caparrós, I., Lorenzo, P., Medrano, E., García, M. L., Botelho, R. 2017. El sombreado móvil y la dilución de la solución nutritiva en cultivo protegido regado con agua de moderada salinidad. Disponible en <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2046.%20X%20Jornadas%20del%20Grupo%20de%20Horticultura/SESION%20III.%20NUTRICION%20MINERAL%20Y%20SUSTRATOS/EI%20sombreado%20m%C3%B3vil%20y%20la%20diluci%C3%B3n%20de%20la%20soluci%C3%B3n%20nutritiva%20en%20cultivo%20protegido%20regado%20con%20agua%20de%20moderada%20salinidad.pdf>