



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA**



**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Componente Práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, como requisito previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TEMA:**

“Eficiencia del uso del agua en la producción vegetal”

**AUTOR:**

Cristhian Adrián Urrutia Ochoa

**TUTOR:**

Ing. Agr. Oscar Caicedo Camposano, PhD.

Babahoyo- Los Ríos - Ecuador

2022

## RESUMEN

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se describe a través de la relación entre los gramos de agua transpirados por medio de un cultivo y los gramos de confianza seca producidos. Las especies más eficientes en el uso del agua producen más materia seca por gramo de agua transpirada. La producción de biomasa reciente en cualquier cultivo está fuertemente decidida por la cantidad de agua que se tenga. Esto queda claro al cuantificar la producción anual (cosecha o biomasa acumulada en kg/ha) y el agua utilizada (m<sup>3</sup>/ha). Las condiciones de déficit hídrico son muy comunes en el ciclo de vida de las plantas y, en realidad, la disponibilidad de agua resulta ser el principal factor que condiciona el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos en todo el mundo. La información obtenida fue efectuada mediante la técnica de análisis, síntesis y resumen, con la finalidad de que el lector conozca sobre la eficiencia del uso del agua en la producción vegetal. Por lo anteriormente detallado se determinó que el rendimiento en el uso del agua en etapa de planta es un parámetro con un costo especialmente experimental, ya que también se obtiene en situaciones manejadas donde la flora se encuentra en macetas o en estructuras donde se puede medir correctamente el agua consumida. La producción de biomasa sin agua es imposible para las plantas. La cuestión es comprender mejor si se trata o no de un valor único, si varía con el tipo de planta, si depende o no de las condiciones ambientales. Para producir un gramo de biomasa se necesitan entre 100 y 1.000 gramos de agua, y el valor exacto depende tanto del tipo de planta como de las condiciones ambientales. El consumo de agua también está fuertemente asociado con el índice de vecindad de la hoja. Es factible alterar esta función a través de prácticas de manejo de cultivos que incluyen: elección de cultivares, densidad de siembra, cuerpo de siembra y uso de reguladores de crecimiento.

**Palabras claves:** Eficiencia, uso, agua, biomasa, producción.

## SUMMARY

Water use efficiency (WUE) is described by the ratio of grams of water transpired through a crop to grams of dry confidence produced. More water-use efficient species produce more dry matter per gram of water transpired. Recent biomass production in any crop is strongly decided by the amount of water held. This becomes clear when quantifying the annual production (crop or accumulated biomass in kg/ha) and the water used (m<sup>3</sup>/ha). Water deficit conditions are very common in the life cycle of plants and, in fact, water availability turns out to be the main factor conditioning plant growth and crop yield worldwide. The information obtained was carried out through the technique of analysis, synthesis and summary, with the purpose of informing the reader about the efficiency of water use in plant production. From the above detailed, it was determined that water use efficiency at the plant stage is a parameter with an especially experimental cost, since it is also obtained in managed situations where the flora is in pots or in structures where the water consumed can be correctly measured. Biomass production without water is impossible for plants. The question is to better understand whether or not it is a single value, whether or not it varies with the type of plant, whether or not it depends on environmental conditions. Between 100 and 1,000 grams of water are needed to produce one gram of biomass, and the exact value depends on both the type of plant and the environmental conditions. Water consumption is also strongly associated with the leaf neighborhood index. It is feasible to alter this function through crop management practices including: cultivar choice, planting density, planting body, and use of growth regulators.

**Key words:** Efficiency, use, water, biomass, yield.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	ii
SUMMARY .....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I .....	3
MARCO METODOLÓGICO .....	3
<b>1.1. Definición del tema caso estudio .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
<b>1.5. Fundamentación teórica .....</b>	<b>4</b>
1.5.1. Importancia de la eficiencia del uso del agua en la producción de los cultivos 4	
1.5.2. Recursos hídricos y producción vegetal.....	6
1.5.3. Efectos de la sequía en las plantas: control del gasto de agua y condiciones adaptativas.....	9
1.5.4. Eficiencia en el uso del agua: balance valor/beneficio .....	13
1.5.5. Prácticas para incrementar la eficiencia en el uso del agua por las plantas 14	
<b>1.6. Hipótesis.....</b>	<b>15</b>
<b>1.7. Metodología de la investigación .....</b>	<b>15</b>
CAPITULO II.....	16
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
<b>2.1. Desarrollo del caso .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Situaciones detectadas .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Soluciones planteadas .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4. Conclusiones.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5. Recomendaciones .....</b>	<b>17</b>
BIBLIOGRAFÍA.....	18

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de agua (litros consumida por diversos cultivos para producir un kg de materia seca (MS) de planta entera, grano o tubérculo.	6
Tabla 2. Eficiencias de la transpiración (EE, g biomasa kg agua) de varios cultivos.....	8
Tabla 3. Parámetros aplicados para estimar la eficiencia del uso del agua de cultivos y ecosistemas.....	14
Tabla 4. Componentes, procesos y prácticas de manejo que mejoran la eficiencia del uso del agua.....	15

## INTRODUCCIÓN

El recurso agua es primordial para los seres vivos y para los procesos de producción agrícola. Dentro de los aspectos de rentabilidad, eficiencia y responsabilidad del medio ambiente de los agricultores para el futuro, depende en gran medida, del adecuado manejo de los cultivos a pequeña y gran escala (Diaz *et al* 2017).

La agricultura genera un consumo de agua disponible del 50 al 80 %, lo cual se reconoce como un exceso desde ciertos ámbitos, siendo utilizada para producción de alimentos para sociedad. En los sistemas de producción agrícola el uso eficiente del agua constituye una prioridad importante, debido al alto consumo del agua disponible (Hipólito *et al* 2017).

La producción de biomasa en un cultivo determinado esta directamente relacionado con la cantidad de agua disponible, en la cual se evidencia al realizar una cuantificación de la producción anual (Kg/ha) y el agua disponible utilizada en el proceso ( $m^3/ha$ ) (Medrano y Guilas 2016).

La eficiencia del uso del agua (EUA), se establece como la relación que existe entre los gramos de agua transpirados por un cultivo específico y los gramos de materia seca producidos en el proceso. Existen especies vegetales que son eficientes en el uso de agua disponible de acuerdo a su metabolismo, tipo de hojas, ciclo de crecimiento, para producir más materia seca o biomasa por gramo de agua transpirado (Medrano *et al* 2017).

El consumo de agua disponible está relacionado de forma directa con el índice del área foliar, en la cual esta característica es posible modificar por medio de prácticas de manejo de cultivos tales como: tipo de cultivo, densidad de plantas y aplicación de reguladores de crecimiento (Salazar 2017).

En la actualidad existen conocimientos y tecnologías disponibles para mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, debido al incremento registrado en los últimos años. Teniendo en cuenta que se han establecido diversos sistemas de riego para optimizar el uso eficiente del agua en los cultivos, como el riego localizado, por goteo, por aspersion, que facilitan un

consumo unitario mas bajo de agua en los cultivos, de acuerdo a sus necesidades hídricas.

El presente trabajo se desarrolló para adquirir y mejorar los conocimientos sobre la eficiencia del uso del agua en la producción vegetal.

# CAPITULO I

## MARCO METODOLÓGICO

### 1.1. Definición del tema caso estudio

El presente documento trata sobre la temática correspondiente a la eficiencia del uso del agua en la producción vegetal.

### 1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la agricultura consume aproximadamente el 70 % del agua dulce a nivel mundial, por ende, se estima que para el 2025, con 9 mil millones de personas, esto conlleve a un crecimiento entre el 50 % y el 70 % en la cadena alimentaria. La disponibilidad del agua es el principal problema limitante en la producción agrícola en los diversos ecosistemas. Dicha limitación se ve atribuida por los efectos del cambio climático, mal manejo de los cultivos, contaminaciones de los afluentes de agua disponible. En este aspecto uno de los factores claves a considerar es la eficiencia del uso del agua (EUA) en la producción de los cultivos, por ende, existen dificultades para la medir la EUA de un cultivo, al igual que la importancia del ambiente y las practicas agronómicas como factor determinante de la EUA (Medrano *et al* 2017).

### 1.3. Justificación

El uso eficiente del agua es uno de los factores importantes para lograr una producción agrícola sostenible y el sustento para las familias vinculadas con el sector productivo agrícola. Teniendo en cuenta que la eficiencia del uso del agua es la relación que existe ente la biomasa de un cultivo por unidad de agua consumida por el mismo en un determinado tiempo de su proceso. Por aquello es importante conocer los factores determinantes en la eficiencia del uso del agua y su manejo para mejorar la misma.

### 1.4. Objetivos

#### **1.4.1. Objetivo general**

Definir la eficiencia del uso del agua en la producción vegetal.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Detallar la importancia de la eficiencia del uso del agua en la producción de los cultivos.
- Describir las prácticas de manejo para mejorar la eficiencia del uso del agua.

### **1.5. Fundamentación teórica**

#### **1.5.1. Importancia de la eficiencia del uso del agua en la producción de los cultivos**

El agua es un recurso natural crítico, del que las poblaciones urbanas están cada vez más obligadas a consumir, y que cada vez es más escaso. En el modo de vida actual, la dificultad de suministro ha generado formas de suministro y consumo que priorizaban la economía y la previsión, toda una tradición de sistema económico del agua que en cierto modo está languideciendo ante la preponderancia del modo de vida urbano con respecto al rural (Uliarte *et al* 2016).

Las limitaciones de disponibilidad del agua están afectando cada vez más a toda la población para que la economía dentro de la comunidad de suministro, distribución, y especialmente en el comportamiento de consumo se encuentre cada vez más en nuestra sociedad (Uliarte *et al* 2016).

El gasto de agua en la agricultura, esta entre el 50 y 80 por ciento del agua disponible, se vea como un "exceso" desde sectores positivos, ignorando la realidad de que este consumo se utiliza para producir las comidas que la sociedad urbana desea comer y que, en consecuencia, también acaba siendo una carencia para la población de moda (Bacon 2014).

En este sentido, el sistema financiero del uso del agua en las estructuras agrícolas es una prioridad fundamental, dado su fuerte impacto en toda la

cantidad de agua utilizada. Sin embargo, la producción agrícola, debido a las exigencias de la economía de mercado, desea cada vez más asegurar unos rendimientos mínimos para ser un pasatiempo posible, y el riego se vuelve cada vez más importante para obtener una fabricación de cosechas extra ordinarias y predecibles (Pereyra *et al* 2019).

En los últimos años, la producción agrícola mundial ha mejorado de forma paralela al aumento de la población, sin que apenas haya aumentado la superficie cultivada (probablemente muy cerca de la más disponible). El auge de la producción mundial de alimentos está totalmente relacionado con el aumento de las tierras de regadío, y esta moda "convencional" se ha mantenido o acentuado en los años actuales (Pereyra *et al* 2019).

Afortunadamente, cada vez se dispone de más conocimientos y tecnologías que ayudan a aumentar el rendimiento del uso del agua en la agricultura. La explicación se encuentra en la realidad de que en el máximo de las nuevas zonas de regadío se ha enganchado el riego localizado, mediante el uso de sistemas de goteo o aspersión, mucho más eficientes, y en las plantas, que en parte precisa tienen un consumo unitario mucho menor que la vegetación hortícola (Cifre *et al* 2016).

La mejora de la producción de cultivos es compatible con la economía del agua, pero esto requiere más información y tecnología que debemos aumentar para que la producción de alimentos y el abastecimiento de la población sean más sostenibles. El esquema esboza una serie de vías, desde los incentivos institucionales hasta la implantación de un riego de excesiva precisión, que pueden impulsar notablemente el sistema financiero del agua en las estructuras agrícolas (Namesny 2020).

La producción de biomasa reciente en cualquier cultivo está fuertemente decidida por la cantidad de agua que se tenga. Esto queda claro al cuantificar la fabricación anual (cosecha o biomasa acumulada en kg/ha) y el agua utilizada (m<sup>3</sup>/ha) (Namesny 2020).

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se describe a través de la relación entre los gramos de agua transpirados por medio de un cultivo y los gramos de confianza seca producidos. Las especies más eficientes en el uso del agua

producen más materia seca por gramo de agua transpirada. Hay que citar que la vegetación varía en su capacidad de extraer agua, según su metabolismo, la estructura de sus hojas y el momento del ciclo de crecimiento considerado (Escalona *et al* 2017).

Salazar (2014) expresa que las especies con metabolismo C3 o C4, el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y la resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, el agua se pierde con la ayuda de la transpiración, con intensidad variable según la conductancia estomática y el gradiente de capacidad entre la superficie de la hoja y la atmósfera, siguiendo un flujo de potenciales hídricos. Por ejemplo, el maíz es más verde que el trigo, especialmente debido a su metabolismo C4, y al hecho de que capta mucho más CO<sub>2</sub> por unidad de agua transpirada, como se demuestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Cantidad de agua (litros consumida por diversos cultivos para producir un kg de materia seca (MS) de planta entera, grano o tubérculo.

<b>Planta</b>	<b>Litros de agua por kg de MS</b>	<b>% Base 100 (Planta entera de maíz)</b>
<b>Planta entera de maíz</b>	238	100
<b>Grano de maíz</b>	454	191
<b>Grano de cebada</b>	524	220
<b>Grano de trigo</b>	590	248
<b>Papa</b>	560	248
<b>Soya</b>	900	378
<b>Arroz</b>	1600	672

**Fuente:** Salazar 2014.

### **1.5.2. Recursos hídricos y producción vegetal**

La producción de biomasa en cualquier cultivo o vegetal está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo. Esto es evidente a partir de una simple observación del paisaje natural y lo es aún más cuando se cuantifica la producción anual (biomasa cultivada o recogida en g/ha) y el agua utilizada (en m<sup>3</sup>/ha) (Pietrobon *et al* 2019).

La datación se mantiene mientras examinamos la precipitación anual y la producción en distintos biomas, a pesar de la fuerte interferencia de otros factores limitantes junto con la temperatura, la disponibilidad de nutrientes o la luz del día, así como de las dificultades para estimar la producción de biomasa en determinados biomas, la relación es clara a escala internacional. Cuando el contraste se realiza para una misma especie y en regímenes únicos de disponibilidad de agua, el ajuste de la producción a la disponibilidad de agua es muchísimo mayor, de manera que el rendimiento se decide absolutamente a través del agua utilizada (Pietrobon *et al* 2019).

La causa es que la técnica básica de producción de nueva biomasa (fotosíntesis) y la de gasto de agua (transpiración) surgen al mismo tiempo, y el acceso de dióxido de carbono y la salida de agua utilizan la misma vía, los estomas de las hojas. Cuanto más abiertos están, más sin dificultad entra el CO<sub>2</sub>, pero también más rápido se escapa el agua. El precio, el agua gastada para la fabricación de biomasa, es por tanto inevitable y excesivo (Pietrobon *et al* 2019).

La producción de biomasa sin agua es imposible para las plantas. La cuestión es comprender mejor si se trata o no de un valor único, si varía con el tipo de planta, si depende o no de las condiciones ambientales, etc. Esta cuestión ha sido objeto de examen desde finales del siglo XIX y principios del XX por parte de los agrónomos, que establecieron las necesidades de agua de diversas plantas y sus versiones en función de las situaciones ambientales (Echeverria 2019).

Para producir un gramo de biomasa se necesitan entre 100 y 1.000 gramos de agua, y el valor exacto depende tanto del tipo de planta como de las condiciones ambientales (Tabla 2). La razón por la que algunas plantas tienen menores necesidades de agua en función del kilogramo de cultivo (caña de azúcar, maíz, sorgo) se aclaró en los años sesenta por medio de fisiólogos que demostraron que esas especies tenían una vía fotosintética más verde (fotosíntesis C<sub>4</sub>), y abrieron nuevas tácticas para la capacidad de mejorar la economía del agua de la vida de las plantas a través del crecimiento del rendimiento de los métodos fotosintéticos (Echeverria 2019).

**Tabla 2.** Eficiencias de la transpiración (EE, g biomasa kg agua) de varios cultivos

<b>Especie</b>	<b>Núm. de observaciones</b>	<b>EE</b>
<i>C4 gramíneas</i>		
Mijo	0	3,75
Sorgo	0	3,29
Pasto del Sudán	5	2,63
Maíz	33	2,76
<i>C3 gramíneas</i>		
Cebada	2	1,93
Trigo	37	1,87
Centeno	6	1,58
Avena	8	1,72
Arroz	2	1,47
<i>C3 cultivos</i>		
Colza		1,62
Patata	6	1,74
Algodón	6	1,76
<i>C3 leguminosas</i>		
Trébol rojo		1,43
Arveja		1,70
Trébol dulce	2	1,37
Guisante	2	1,34
Alfalfa	3	1,33

**Fuente:** Echeverría 2019.

La comprensión de las técnicas fisiológicas que determinan los flujos de agua en las plantas permite tecnificar la consulta sobre el rendimiento del uso del agua como un problema de control de los gastos (agua) en relación con los insumos en el que, en primer lugar, deben tenerse en cuenta las variaciones en la disponibilidad y la necesidad de agua (Aumassanne 2021).

La disponibilidad de agua en el suelo depende de los insumos (lluvia, nieve, corrientes subterráneas, riego), de la capacidad de almacenamiento del suelo (proporción de factores gruesos, potencia y porosidad del suelo) y de la densidad e intensidad del dispositivo radicular de las plantas, que determina la cantidad de suelo utilizada con respecto al total (Aumassanne 2021).

La extensión del sistema radicular de la planta es un aspecto determinante dentro de la disponibilidad real de agua, "el depósito de reserva" para aliviar los intervalos sin ingreso, ocasionalmente extraordinariamente largos. Por otra parte, las necesidades de agua dependen en gran medida de las condiciones climáticas, que podrían sintetizarse dentro de la capacidad de evaporación, o demanda de agua atmosférica, un parámetro que integra las consecuencias de la cantidad de radiación, la humedad, la temperatura ambiente y el ritmo del viento (Aumassanne 2021).

La planta desarrolla su estructura foliar en función de sus rasgos genéticos y de la provisión de activos a lo largo del crecimiento. Cuantas más hojas haya, mayor será la dependencia del aumento y cuanto más abierta sea la copa, mayor será el gasto de agua. Así pues, dependiendo de la disponibilidad de agua, la flora modifica el tamaño y el alcance de las hojas (Maturano 2017).

Los estomas establecen un control sobre el gasto de agua, un control que sufre grandes variaciones a lo largo del día en función de la cantidad de luz y otras variables ambientales, pero ciertamente de la disponibilidad de agua en las hojas. Además de estas variables, los estomas también dependen del interés fotosintético, que bajo condiciones limitantes (por falta de luz, bajas temperaturas o infecciones) provoca el cierre estomático independientemente de la disponibilidad de agua (Maturano 2017).

La ley de la pérdida de agua en los estomas es un mecanismo de control medio más que uno y se monta a través de las versiones de la apertura, que impone una mayor o menor restricción a la difusión libre de vapor de agua desde la cavidad subestomática a la atmósfera. Esta ley es responsable de gran parte de la variación en la eficiencia del uso del agua con la ayuda de las flores (Maturano 2017).

### **1.5.3. Efectos de la sequía en las plantas: control del gasto de agua y condiciones adaptativas.**

Las condiciones de déficit hídrico son muy comunes en el ciclo de vida de las plantas y, en realidad, la disponibilidad de agua resulta ser el principal factor que condiciona el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los

cultivos en todo el mundo. La disponibilidad de agua no es efectivamente el elemento más limitante para la fabricación agrícola -la vegetación, los bosques y los matorrales están simplemente condicionados por la sequía-, pero también es uno de los determinantes esenciales del desarrollo humano (Bressa 2021).

En un entorno terrestre en el que el agua no está constantemente disponible, incluso en los climas más húmedos, han aparecido más de una diversificación y mecanismos en algún momento de la evolución que han permitido a la vegetación triunfar sobre condiciones de tensión hídrica extra o menos excesiva. Así, las plantas han desarrollado distintas respuestas al estrés hídrico que, en conjunto, implican asegurar la supervivencia de la especie, aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia de su uso (Bressa 2021).

Es difícil generalizar en una muestra común la reacción de las plantas al déficit hídrico, debido a la variedad en la duración e intensidad del déficit hídrico y al tipo de modificaciones morfológicas, fisiológicas y del ciclo vital que existen como caracteres constitutivos de la especie (variaciones) y como respuestas a largo plazo (aclimatación) y a corto plazo (Contreras 2021).

Contreras (2021) manifiesta que los tipos de respuesta de las plantas ha dado lugar al status de los "modelos" de comportamiento que describen conjuntos de características que tienden a surgir al mismo tiempo en respuesta a la sequía y que confirman la mayor capacidad de la especie para resistir y completar su ciclo bajo esta restricción ambiental. Así, se definen 3 "técnicas" o modas de respuesta al déficit hídrico que se basan totalmente en respuestas morfológicas y fisiológicas que reducen y/o posponen la aparición y consecuencias del déficit hídrico:

- Escapar de la sequía, método que se compone en particular de acoplar el ciclo biológico a los meses con disponibilidad extra de agua.
- Tolerar la desecación, que incluye un conjunto de ajustes fisiológicos que permiten soportar un determinado grado de deshidratación tisular sin reducir drásticamente la actividad importante.
- Evitar la deshidratación, estrategia que implica aumentar la capacidad de suministro de agua y restringir su gasto, aumentando la eficiencia en

el uso del agua, lo que aumentará el potencial de mantenerse y sobrevivir en el curso de los intervalos de sequía.

El déficit hídrico tiene consecuencias importantes para la fisiología y morfología de las flores, provocando, a corto y medio plazo, una disminución de la capacidad hídrica, del contenido relativo de agua y de la conductividad del agua, así como un auge de la síntesis de ácidos. Abscísico Estos eventos causan una reducción en la conductancia estomática y el lugar general de la hoja, además de cambios metabólicos causados por una disminución en la conciencia de agua dentro de las células (Salazar *et al* 2017).

En este contexto, las limitaciones de los procesos fotosintéticos por el déficit hídrico no son las mejores barreras a la difusión de CO<sub>2</sub> hacia el estroma, pero adicionalmente son las limitaciones en las reacciones fotoquímicas, en el Ciclo de Calvin y en el transporte de dióxido de carbono (Salazar *et al* 2017).

El déficit hídrico provoca una pérdida de turgencia celular en las hojas que, junto con el movimiento del ácido abscísico (ABA), cuya síntesis en las raíces aumenta en sequía, son responsables del cierre de los estomas, lo que supone el lógico boom dentro de los estomas. resistencia a la difusión de CO<sub>2</sub> en el estroma. Aunque es ampliamente universal que el cierre estomático ocurre en respuesta al déficit de agua, actualmente no hay consenso sobre la importancia relativa de este hecho, por lo que puede haber pruebas de que ambos respaldan la presencia de obstáculos no estomáticos de la fotosíntesis desde el inicio del déficit del agua, así como otros que defienden que las limitaciones estomáticas predominan al inicio del estrés, y los obstáculos no estomáticos lo logran en sus niveles máximos avanzados (Diaz *et al* 2016).

En cualquier caso, el cierre estomático tiene además como resultado la reducción de la tasa de transpiración y, en consecuencia, el aumento del rendimiento del uso del agua. En las especies esclerófilas mediterráneas, este tipo de respuesta es la única que predomina en los primeros momentos de presión hídrica, a lo largo del inicio de la estación seca (Diaz *et al* 2016).

Como resultado del cierre de los estomas, puede haber una menor disponibilidad de CO<sub>2</sub> como aceptor de electrones restante. En estas

ocasiones, puede ocurrir una acumulación excesiva de energía reductora (NADPH), que puede provocar una "sobrecumulación" de los compuestos intermedios de la cadena de entrega de electrones, provocando un fuerte estímulo de los centros de reacción de las clorofilas, que puede producir fotoinhibición y fotooxidación. Esto hace que sea útil para restringir la captación de energía eléctrica lumínica y/o quemar el exceso de energía captada en situaciones de déficit hídrico (Segovia 2021).

Uno de los mecanismos reconocidos para restringir la proporción de electricidad lumínica interceptada es convertir la posición de las hojas, de modo que su perspectiva de inclinación varíe para disminuir la cantidad de luz interceptada. La pérdida general o parcial de hojas a lo largo de la estación seca constituye un intenso mecanismo de disminución de la captación de energía lumínica (Segovia 2021).

Existen otros mecanismos que reducen la captación de electricidad lumínica son la presencia de sistemas reflexivos, junto con pelos, capas de cera y/o espinas. Especies mediterráneas, y gentes de climas áridos y semiáridos en notorias, ejemplifican esas diversificaciones, siendo las especies del pariente de las Cactáceas las que presentan una edición más clara. La mayoría de las especies de cactáceas han perdido sus hojas y sus órganos fotosintéticos son tallos cilíndricos o esféricos con una baja relación superficie/extensión, están incluidos a modo de una gruesa cutícula de cera y en algunos casos tienen pelos y diferentes estructuras reflejantes (Barrera 2021).

Todos los mecanismos descubiertos anteriormente, además de reducir la cantidad de luz captada, disminuyen la pérdida de agua por el uso de la planta, lo que constituye una respuesta a la escasez de agua y el consiguiente exceso de luz que están íntimamente relacionados, sobre todo en los ecosistemas mediterráneos (Barrera 2021).

En definitiva, el déficit hídrico, además de provocar modificaciones en el crecimiento y agua de los miembros de la familia, provoca importantes ajustes dentro del conjunto de técnicas que conducen a la asimilación de CO<sub>2</sub> junto a los resultados a la vez asociados al cierre estomático, existen limitaciones ya

no hay estomas que afecten a varios enfoques fotosintéticos. Los resultados son, por un lado, un descuento en el consumo de agua y un aumento en la eficiencia de su uso, y por otro, una menor asimilación de CO<sub>2</sub> y consecuentemente crecimiento y producción (Ortiz y Larios 2020).

#### **1.5.4. Eficiencia en el uso del agua: balance valor/beneficio**

Por otro lado, el desempeño en el uso del agua también puede depender del tamaño al que se le tome en cuenta, ya que, bajo la sencilla definición indicada anteriormente, el desempeño en el uso del agua se puede considerar al nivel del cultivo con escala del ecosistema a una escala de planta entera y escala de hoja. Además del nivel de patrón considerado, la escala temporal, es decir, el marco de tiempo considerado dentro de la medición de la eficiencia del uso del agua agrega complejidad tanto a la medición como a la interpretación fisiológica y ecológica de este parámetro (Medrano *et al* 2020).

La eficiencia del uso del agua de los cultivos y los ecosistemas solo se puede imaginar aproximadamente, considerando que debajo de las situaciones de campo es muy difícil reconocer exactamente la cantidad de agua de la que las plantas se han alimentado absolutamente y su aumento en la biomasa acumulada. Así, la captación de agua se estima generalmente a partir de estadísticas de precipitación indirecta (entrada de agua) y la cantidad de agua extraviada por escorrentía, percolación o evaporación directa del suelo y que de ningún modo ha sido alimentada por la planta (IICA 2017).

De esta manera, bajo el concepto de eficiencia en el uso del agua en cultivos y ecosistemas, aparecen diversas realidades provenientes de métodos excepcionales de medición y estimación del consumo de agua y la biomasa producida (Tabla 3). Más allá de las limitaciones metodológicas definidas anteriormente, existe la oportunidad de medir la EUA de vegetación herbácea homogénea mediante el uso de lisímetros (Delgado 2021).

El rendimiento en el uso del agua en etapa de planta es un parámetro con un costo especialmente experimental, ya que también se obtiene en situaciones manejadas donde la planta se encuentra en macetas o en estructuras donde se puede medir correctamente el agua consumida. Por este motivo, este parámetro constituye en sí mismo la eficiencia en el uso real del

agua, ya que sus dos componentes, el agua consumida y la biomasa producida (constituida por la biomasa de raíces), pueden ser como se debe determinar (INTAGRI 2020).

**Tabla 3.** Parámetros aplicados para estimar la eficiencia del uso del agua de cultivos y ecosistemas.

<b>Consumo de agua</b>	<b>Producción de biomasa</b>
Evapotranspiración de la masa vegetal	Biomasa aérea producida
Transpiración de la masa vegetal	Biomasa fresca de cosecha
Precipitación	Biomasa seca de cosecha
Precipitación + Riego	Biomasa total estimada
Precipitación corregida*	Equivalentes de glucosa

**Fuente:** Delgado 2021.

### 1.5.5. Prácticas para incrementar la eficiencia en el uso del agua por las plantas

A través de la gestión, es posible inmiscuirse en el sistema, evitando pérdidas de agua no eficientes que consisten en escorrentía, evaporación del suelo y consumo a través de las malas hierbas. El suelo es un reservorio de agua, por lo que las prácticas de control que preservan los residuos en la superficie, consistentes en siembra directa o labranza de conservación, aumentan la eficiencia del uso del agua a largo plazo, mejorando el balance hídrico en el interior del suelo (Medrano *et al* 2017).

El consumo de agua también está fuertemente asociado con el índice de vecindad de la hoja. Es factible alterar esta función a través de prácticas de manejo de cultivos que incluyen: elección de cultivares, densidad de siembra, cuerpo de siembra y uso de reguladores de crecimiento. Este último puede ser utilizado como estrategia para disminuir la ingesta de agua, manejando el índice

<b>Componentes</b>	<b>Procesos a favorecer</b>	<b>Procesos a minimizar</b>	<b>Prácticas de manejo</b>
--------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------

de región foliar en algún momento de la duración vegetativa (Micucci 2018).

**Tabla 4.** Componentes, procesos y practicas de manejo que mejoran la eficiencia del uso del agua.

Agua acumulada en el suelo	Precipitación efectiva Acumulación de Carbono	Escurrimiento, Drenaje profundo, Pérdida de horizonte A	Prácticas de conservación, Longitud del barbecho
Agua transpirada por el cultivo	Partición hacia transpiración del cultivo	Evaporación Transpiración de malezas	Control de malezas, Siembra Directa, Fertilización, Tipo de cultivo, Rotación y Fecha de siembra

**Fuente:** Micucci 2018.

### 1.6. Hipótesis

**Ho=** No es de vital importancia conocer sobre la eficiencia del uso del agua en la producción vegetal

**Ha=** Es de vital importancia conocer sobre los herbicidas hormonales y sus mecanismos de acción en malezas.

### 1.7. Metodología de la investigación

Para el desarrollo del presente documento se recolectó información bibliográfica de libros, revistas, tesis de grado, periódicos, artículos científicos, páginas web, ponencia, congresos y manuales técnicos.

La información obtenida fue efectuada mediante la técnica de análisis, síntesis y resumen, con la finalidad de que el lector conozca sobre la eficiencia del uso del agua en la producción vegetal

## **CAPITULO II**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. Desarrollo del caso**

La finalidad de este documento fue recolectar información referente a la importancia de la eficiencia del uso del agua en la producción vegetal

#### **2.2. Situaciones detectadas**

La eficiencia en el uso del agua (EUA) se describe a través de la relación entre los gramos de agua transpirados por medio de un cultivo y los gramos de confianza seca producidos. Las especies más eficientes en el uso del agua producen más materia seca por gramo de agua transpirada.

La producción de biomasa reciente en cualquier cultivo está fuertemente decidida por la cantidad de agua que se tenga. Esto queda claro al cuantificar la producción anual (cosecha o biomasa acumulada en kg/ha) y el agua utilizada (m<sup>3</sup>/ha).

Las condiciones de déficit hídrico son muy comunes en el ciclo de vida de las plantas y, en realidad, la disponibilidad de agua resulta ser el principal factor que condiciona el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos en todo el mundo.

#### **2.3. Soluciones planteadas**

Es necesario concientizar a los productores sobre la eficiencia del uso del agua, en la cual, por medio de un manejo sostenible, es posible inmiscuirse en el sistema, evitando pérdidas de agua no eficientes que consisten en escorrentía, evaporación del suelo y consumo a través de las malas hierbas. El suelo es un reservorio de agua, por lo que las prácticas de control que preservan los residuos en la superficie, consistentes en siembra directa o labranza de conservación,

aumentan la eficiencia del uso del agua a largo plazo, mejorando el balance hídrico en el interior del suelo.

## **2.4. Conclusiones**

Por lo anteriormente detallado se concluye:

El rendimiento en el uso del agua en etapa de planta es un parámetro con un costo especialmente experimental, ya que también se obtiene en situaciones manejadas donde la flora se encuentra en macetas o en estructuras donde se puede medir correctamente el agua consumida.

La producción de biomasa sin agua es imposible para las plantas. La cuestión es comprender mejor si se trata o no de un valor único, si varía con el tipo de planta, si depende o no de las condiciones ambientales

Para producir un gramo de biomasa se necesitan entre 100 y 1.000 gramos de agua, y el valor exacto depende tanto del tipo de planta como de las condiciones ambientales

El consumo de agua también está fuertemente asociado con el índice de vecindad de la hoja. Es factible alterar esta función a través de prácticas de manejo de cultivos que incluyen: elección de cultivares, densidad de siembra, cuerpo de siembra y uso de reguladores de crecimiento.

## **2.5. Recomendaciones**

Por lo anteriormente detallado se recomienda:

Fortalecer la producción agrícola con la implementación de nuevas tecnologías para permitir el uso eficiente del agua por las plantas.

Manejar de forma correcta el recurso suelo orientado a incrementar el uso eficiente del agua, mediante estrategias de ordenación de cultivos, rotaciones, marcos de plantación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aumassanne, C. 2021. Huella hídrica, clave para la eficiencia en el uso del agua. INTA. Argentina. 37 p.
- Bacon, M. 2014. Water use efficiency in plant biology. Blackwell publishing, Oxford, UK. 327 p.
- Bota, J., Flexas, J., Medrano, H. 2016. Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. en *Annals of Applied Biology* 35(8): 353-361.
- Bressa, R. 2021. Escasez de agua, formas de reducir el consumo de agua en la agricultura. FOODUNFOLDED. Perú. 52 p.
- Barrera, C. 2021. Tecnologías apropiadas para mejorar eficiencia de uso y calidad de agua para una producción sostenible e inocua. CONICYT. Chile. 24 p.
- Contreras, D. 2021. Eficiencia en el uso del agua: el reto de la agricultura sostenible. YARA. Ecuador. 25 p.
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J., Medrano, H., Flexas, J. 2016: Physiological tools for irrigation scheduling in grapevines: an open gate to improve water use efficiency. *Agriculture Ecosystems & Environment* 106(6):159-170.
- Díaz, T., Partidas, L., Suarez, Y., Lizárraga, R., López, A. 2017. Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 23(1): 32-36.
- Díaz, T., Partidas, T., Yolanda, E., Suárez, M., Lizárraga, R., López, A. 2016. Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 23(1): 1-14.
- Delgado, D. 2021. Ciencia y tecnologías para el uso eficiente del agua en la agricultura. INTA. Argentina. 34 p.

- Escalona, J., Flexas, J., Bota, J., Medrano, H. 2017. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *En Vitis* 42(8): 57-64.
- Echeverría, A. 2019. El agua y las plantas. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 68 p.
- Hipólito, J., Josep, J., Ribas, M., Gulias, J. 2017. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43(10): 1-23.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2017. Gestión y manejo del agua en la agricultura. IICA. Costa Rica. 27 p.
- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). 2020. La Eficiente de uso del agua por las plantas. 8 p.
- Medrano, H., Guilas, J. 2016. Eficiencia en el uso del agua en ambientes mediterráneos. *Ciencias del agua* 12(3): 1-8.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas. 2017. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43(43): 1-21.
- Maturano, M. 2017. Estudio del uso del agua y del nitrógeno dentro del marco de una agricultura sostenible en las regiones maiceras castellano-manchega y argentina. Tesis PhD. España. UCM. 292 p.
- Medrano, J., Pou, M., Martorell, J., Gulias, M., Ribas, J., Escalona, A. 2020. Agua y vino: Mejorar la eficiencia del uso del agua aumenta la calidad de la cosecha. *Actas de Horticultura* 12(5): 1-12.
- Medrano H., Josefina, B., Josep, C., Jaume, F., Miquel, R., Javier, G. 2017. Eficiencia en el Uso del Agua por las Plantas. *Investigaciones Geográficas* 43(5): 63 -84.
- Micucci, F. 2018. Impacto de las Prácticas de Manejo sobre la Eficiencia de Uso del Agua en los Cultivos Extensivos de la Región Pampeana Argentina. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 48 p.
- Namesny, A. 2020. Ahorro de agua en agricultura: cómo limitar el desperdicio de agua. *Tecnología Hortícola*. España. 25 p.

- Pereyra, T., Ohanian, A., Salusso, N. 2019. Eficiencia en el uso de la radiación y el agua, en intercultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con sorgo sudan (*Sorghum sudanense*) y mijo perla (*Pennisetum americanum*). Producción animal 27(2): 1-4.
- Pietrobon, M., Imvinkelried, H., Dellaferrera, I. 2019. Eficiencia de uso de agua y radiación en soja bajo competencia con sorgo de Alepo. Revista Ciencias Agrarias 18(2): 1-15.
- Salazar, R., Rojano, A., López, I. 2017. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Revista Investigación Agrícola 8(3): 1-12.
- Segovia, P. 2021. Eficiencia de uso del agua en los cultivos: un desafío para el sur de Chile. Universidad Austral de Chile. 29 p.
- Salazar, R. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Tecnología y Ciencia del agua 5(2): 1-7.
- Ortiz, A., Larios, R. 2020. Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión. La Calera Ciencias de las plantas 20(35): 1-11.
- Uliarte, E., Parera, C., Alessandria, E., Dalmaso, A. 2016. Intercambio gaseoso y eficiencia en el uso del agua de cultivos de cobertura con especies nativas (Mendoza, Argentina), exóticas cultivadas y malezas. AGRISCIENTIA 31 (2): 49-61.