

**Calidad y eficiencia del agua para irrigación en los sistemas agrícolas convencionales con  
énfasis en los cultivos de aguacate en la región Andino Colombiana**

Autor

Jaime Guerrero Pacheco

Cod. 1.116.498.738

Trabajo de monografía para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Directora

Ing. Belcy Hernández Tabaco Msc. (C).



Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Agronomía

Programa Ingeniería Agronómica

Pamplona-Norte de Santander

2020

## **Dedicatoria**

Primeramente, a Dios por haberme permitido llegar a este punto y haberme acompañado en cada decisión que debía de tomar en cada uno de los obstáculos que la vida me daba al igual por bendecirme día a día y regalarme salud y amor.

A mi abuela Alcira María Villalba y mi madre Sandra Mireyda Villalba por todo el apoyo en todo momento, por sus consejos, valores y amor, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. Por los buenos ejemplos que me dieron, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis amigos que, con su apoyo y compañerismo pude enfrentar todos los retos que la universidad me brindaba, por su disposición, colaboración y apoyo mutuo en nuestra formación profesional.

## **Agradecimientos**

Mis más sinceros agradecimientos a mi tutora Belcy Hernández Tabaco, por aceptar acompañarme en este trabajo, por los conocimientos, ideas brindadas al igual su disponibilidad en cada momento que necesite para poder lograr sacar adelante este trabajo.

También quiero agradecer a todo el grupo de profesores que hicieron posible la realización del diplomado en “Agroecología y Desarrollo Sostenible”, por todo su esfuerzo y compromiso con cada uno de los aspirantes, quiero resaltar su compromiso para obtener buenos resultados.

A mis jurados de tesis y la Universidad de Pamplona por medio de la facultad de Ciencias Agrarias e Ingenierías y arquitectura por haberme permitido formarme como Ingeniero Agrónomo, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, con todo su apoyo y compromiso, se mira reflejado en la culminación del proceso de mi educación superior.

Quiero agradecer a Vianey Yisela Cárdenas Ramírez por su amor, apoyo y motivación hoy pude alcanzar este gran logro para mi vida personal.

A todos aquellos compañeros y amigos que me ayudaron de una u otra manera, muchas gracias por todo su apoyo y confianza.

## Tabla de contenido

Resumen	9
Introducción	10
Problema	12
Planteamiento del problema	12
Justificación	14
Objetivos	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
Marco teórico	17
Antecedentes	17
Marco contextual	21
Bases Conceptuales	24
Recurso hídrico	24
Agua	24
Calidad del agua	24
Manejo integral y uso eficiente del agua	25
Conservación del agua	25
Desarrollo sostenible agrícola	26
Sistemas riego	28

Riego por gravedad.	28
Riego localizado o por goteo.	29
Riego por aspersión.	29
Eficiencia del sistema de riego ( $Ef_r$ ) en los sistemas agrícolas	29
Agricultura tradicional	31
Cultivo de aguacate	31
Marco legal	31
Metodología	36
Resultados y discusión	39
El agua en la agricultura	39
Calidad del agua.	42
Propiedades fisicoquímicas del agua.	44
Calidad microbiológica de riego.	48
Uso de microorganismos eficientes para mejorar el agua de riego.	49
Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate	51
Sistemas de riego	52
Sistema de riego por aspersión.	54
Sistema de microaspersión.	54
Sistema de riego por gravedad.	55
Sistema de riego por goteo.	56

Eficiencia de aplicación de los sistemas.	57
Análisis de los sistemas de riego	58
Impacto socioeconómico y ambiental del mal uso agua de irrigación en la agricultura convencional	61
Conclusiones	65
Recomendaciones	67
Referencias	68

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Criterios Admisibles destinación uso agrícola.....	32
<b>Tabla 2</b> Actividades fase I.....	36
<b>Tabla 3</b> Actividades fase II .....	37
<b>Tabla 4</b> Actividades fase III.....	38
<b>Tabla 5</b> Parámetros de calidad del agua.....	45
<b>Tabla 6.</b> Valores normales para el agua de riego .....	46
<b>Tabla 7</b> Valores óptimos de calidad de agua para el cultivo de aguacate .....	47
<b>Tabla 8</b> Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión.....	54
<b>Tabla 9</b> Ventajas y desventajas del sistema de riego de microaspersión .....	54
<b>Tabla 10</b> Ventajas y desventajas del sistema de riego por gravedad .....	55
<b>Tabla 11</b> Ventajas y desventajas del sistema de riego de goteo.....	56
<b>Tabla 12</b> Eficiencias para sistemas de riego en Colombia.....	58

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Los cinco principios de la agricultura sostenible .....	26
<b>Figura 2</b> Participación (%) de UPA con cultivos en el área rural dispersa censada con utilización de riego.....	41
<b>Figura 3</b> Sistemas de riego en Colombia .....	53



## **Resumen**

La escasez hídrica y el cambio climático son las principales problemáticas que amenazan la seguridad alimentaria, actualmente diversas zonas del mundo presentan un déficit hídrico considerable y pese a que Colombia se ubica como tercer país latinoamericano en poseer la mayor cantidad de agua dulce, no está exento de estas problemáticas, presentando una distribución irregular del recurso a nivel espacio temporal. De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo de revisión ofrece una exploración de elementos teóricos enfocados al recurso hídrico en la agricultura, recopilando información en torno a calidad de agua en los sistemas de riego y un énfasis en la implementación de sistemas de riego en la región Andina Colombiana y su uso eficiente, aplicados al cultivo de aguacate, el cual se desarrolla significativamente en el país y principalmente en esta región.

**Palabras clave:** eficiencia, seguridad alimentaria, sistemas de riego.

## Introducción

El agua y el suelo son servicios esenciales para el desarrollo de toda sociedad, la humanidad, ha evidenciado durante su evolución que su asentamiento ha estado ligado a los cursos fluviales, los cuales actúan como arterias de fertilidad para el ecosistema, siendo el recurso hídrico un eje fundamental para la supervivencia de sus integrantes.

La agricultura es parte esencial de este desarrollo, influenciada por la disponibilidad del recurso hídrico al igual que el suelo, ya que influye directamente en el desarrollo vegetativo de las plantas. Según informes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura [FAO, por su siglas en inglés], (2011) para el año 2050, el crecimiento demográfico divisa un aumento considerable en torno a la demanda agrícola y consecuentemente mayor demanda del recurso hídrico, puesto que el 46% de las áreas cultivadas en el mundo requieren ser irrigadas y la influencia sobre el rendimiento de los cultivos son aspectos que han impulsado su demanda (Valipour, 2013; Gregory, 2012). Además, el cambio climático, la sobreexplotación de suelos y las fuentes, manifiestan un déficit hídrico y por ende resulta ser una amenaza para la seguridad alimentaria

La escasez del recurso hídrico es uno de los grandes retos que presenta la humanidad y sus generaciones futuras, sin embargo, la agricultura demanda un gran porcentaje de este recurso, según Gregory (2012), dos terceras partes del agua para irrigación es perdida mediante drenaje y escorrentía y cerca de un 30% lo hace en almacenamiento y transpiración.

Colombia no está exenta de esta situación, pese a posicionarse como uno de los países con mayor potencial hídrico, su distribución es irregular y contempla áreas con un déficit considerable, principalmente la región Andina, en la cual se asienta cerca de 80% de la población del país, así mismo, esta región presenta un alto desarrollo del sector agrícola; Por otro lado, para

el país los frutales presentan un gran porcentaje de las tierras cultivadas, siendo el cultivo de aguacate uno de los cultivos de mayor demanda y crecimiento en la región durante los últimos años (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM ], 2019).

## **Problema**

### **Planteamiento del problema**

Con el pasar de los años y el desarrollo de las comunidades, se han evidenciado cambios y alteraciones en los ecosistemas, las actividades antrópicas hacen parte de los principales factores que contribuyen a estos cambios, la expansión de la frontera agrícola, sobre explotación de los recursos, vertimiento de contaminantes y el crecimiento poblacional son algunas de las acciones que han generado repercusiones de todo tipo como bien sería el cambio climático, escasez del recurso hídrico, detrimento en la calidad del agua y del suelo, efectos que traen consigo afectaciones en el sector agrícola y consecuentemente en la seguridad alimentaria.

A nivel mundial se conoce que el sector agrícola refleja una alta demanda del recurso hídrico, la agricultura de regadío consume cerca del 80% del total del agua, siendo el sector con el más alto consumo. En muchos casos, el uso del agua no es el más eficiente, debido al tiempo de uso del sistema, el mal estado en el que se encuentra, según el diseño, falta de planificación o simplemente el manejo inapropiado por parte del productor.

Para Colombia y principalmente la región Andina, el cultivo de aguacate presenta una expansión significativa en su territorio, posicionándose actualmente como el cuarto país productor a nivel mundial (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018), sin embargo, la baja disponibilidad del recurso hídrico resulta ser uno de los principales limitantes para este cultivo, sumado a esto los sistemas de riego implementados no generan una adecuada utilidad del recurso, generando un desperdicio de agua, daños a los cultivos y afectaciones a los niveles de producción.

Debido a esta problemática, la ejecución de este trabajo busca de disminuir el inadecuado consumo del agua en las diferentes actividades agronómicas, siendo el riego una de las principales actividades en la agricultura, se busca identificar cuál de todos los sistemas de riego encontrados en el mercado es el más eficiente, amigable con el recurso hídrico, posteriormente poder ofrecerlo a cada uno de los productores y comunidad académica, esto con el objetivo de que a la vez que un productor necesite la implementación de un sistema de riego tome la mejor decisión al elegir el sistema de riego a utilizar.

## **Justificación**

Para estudiar la disponibilidad del agua destinada para riego, se requiere información tanto de calidad como de cantidad; la calidad indica generalmente la finalidad de uso del recurso y por lo tanto es difícil de evaluar, a no ser que se realice en términos relativos a su uso específico, a su vez la cantidad permite deducir el grado de abastecimiento según la necesidad, siendo de vital importancia para la planificación de la cantidad de agua que se requiere para satisfacer las necesidades de cada cultivo e implementar un sistema de regadío eficiente.

La disposición del agua de regadío se establece en relación al riesgo que puede generar sobre el suelo y cultivo definiendo su comportamiento; igualmente las estrategias de manejo del riego capaces de disminuir los riesgos resultantes de su calidad. El crecimiento que ha venido presentando la agricultura, industrias y zonas urbanas ha contribuido a la utilización de sistemas de riego eficientes al igual que en la reducción del agua potable en las zonas urbanas, recurso procedente de ríos, arroyos, lagos y subterráneas no muy profundas, en algunos casos se ha llegado a disponer de aguas reutilizadas con características físicas, químicas y biológicas muy diferentes, estas características son las que determinan que finalidad se le puede dar al recurso, requiriendo analizarse si puede ser utilizado para riego de las explotaciones agrícolas (Domingo, 2017).

En Colombia las comunidades que hacen parte del Programa Especial para la Seguridad Alimentaria - PESA se encuentran ubicadas en zonas de ladera, por ende, las precipitaciones son escasas y los cultivos no presentan un adecuado desarrollo vegetativo debido al estrés hídrico al que se encuentran expuestos. Por otra parte, el sector agrícola se verá altamente afectado no solo en estas zonas sino en todo el mundo debido a la disminución del agua que con el pasar de los años se está evidenciando, el agua es indispensable en cada uno de los sectores para la

realización de diferentes actividades, en el sector agrícola el agua es de vital importancia para el crecimiento de las plantas, la fertilización, manejo de arvenses, control de plagas y enfermedades, por lo tanto, para el desarrollo de cada actividad requiere el consumo de agua (Carrazón, 2007).

A su vez, la calidad del agua para riego es objeto de investigación por muchas entidades en el mundo, debido a la disminución que ha venido presentando, se busca una orientación respecto a parámetros para evaluar las características fisicoquímicas del agua, analizando parámetros como porcentaje de salinidad, alcalinidad, infiltración y conductividad eléctrica, esenciales para el desarrollo agrícola (García, 2012).

Colombia ha venido adoptando sistemas de regadíos en las diferentes explotaciones agrícolas, en busca de una mejor competitividad en los mercados locales, regionales, nacionales e internacionales, al ser el cultivo de aguacate uno de los principales productos de siembra, de mayor sensibilidad hídrica y un grado bajo de tecnificación, resulta ser objeto de investigación; gran parte de los sistemas de riego implementados en el cultivo son tradicionales, un ejemplo de ello es la irrigación por gravedad, inundación y canales, siendo sistemas eficientes respecto a la función que cumple, pero en ahorro y uso eficiente del agua no son los más adecuados. Por ende, es necesario analizar diversos sistemas de riego, eficientes y sostenibles con el medio ambiente, que permitan obtener producciones con excelentes características, competitividad y comercialización.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar la calidad y uso eficiente del agua para irrigación en los sistemas agrícolas convencionales de cultivos de aguacate en la región Andino Colombiana.

### **Objetivos específicos**

Contrastar información actualizada en referencia a la calidad del agua para las prácticas agrícolas convencionales.

Identificar las técnicas de regadíos encontradas en la literatura para el uso adecuado del agua en sistemas agrícolas convencionales de cultivo de aguacate.

Elaborar un análisis del impacto social, económico y ambiental del uso inadecuado del recurso hídrico en la agricultura convencional registrado en la literatura.



## **Marco teórico**

La investigación depende de aspectos importantes en la consecución de información que derive en el uso eficiente del agua en los sistemas agrícolas convencionales y la búsqueda de un desarrollo agrícola sostenible. Para ello se indican a continuación algunos conceptos básicos, tendencias y normativos que enmarcan el presente trabajo.

### **Antecedentes**

A nivel internacional, se destacan diversas investigaciones realizadas en torno a la disponibilidad y calidad del agua para riego; así como su uso eficiente, aprovechamiento y métodos para analizar su calidad con fines agrícolas.

La investigación realizada por Sarabia et al. (2011) se centró en la realización de un muestreo aleatorio para analizar la calidad del agua, calidad del suelo agrícola y cultivos de hortalizas y forrajeros en el Valle de San Luis Potosí, México con la finalidad de evaluar sus características químicas. Los resultados revelaron que, para el caso del agua de uso agrícola, algunas de las muestras excedieron los límites de coliformes fecales, sulfatos, sólidos totales y salinidad. En el suelo encontraron concentraciones de metales en niveles dentro de la norma. Para el caso de los cultivos analizados, el análisis bromatológico no detectó un exceso de metales, dado que se encuentran en un grado de suficiencia. De acuerdo con lo anterior, los investigadores recomiendan realizar un análisis más amplio de elementos traza, tanto en agua como en suelos y cultivos para observar si existen otros elementos que pudieran causar un problema de salud pública.

Salazar et al. (2014) expresan que el aprovechamiento del recurso hídrico ha alcanzado su límite en gran parte de las regiones del mundo, lo que ocasiona una sobreexplotación del agua superficial y subterránea, generando un impacto negativo en el medio. En algunos países su riego

depende de las aguas subterráneas como lo es México, esto conlleva a que los niveles freáticos de agua disminuyan considerablemente; por lo tanto, se busca que los países realicen un buen uso del recurso y adopten explotaciones en invernaderos, sistemas hidropónicos con sistemas de circuito semi cerrado.

Por su parte, Olvera et al. (2014) analizaron la productividad del agua y el impacto de la tecnificación del riego sobre ella y el rendimiento de los cultivos como principales fuentes de alimentos en la región de Chihuahua, México, mostrando como resultado el ahorro de aproximadamente 63454 m<sup>3</sup> de agua y una producción de 124662 t de producto agrícola; además, determinaron que con goteo y aspersión se generó el mayor ahorro de agua, producción e ingresos económicos.

Castellón et al. (2014), consideraron que la disponibilidad, calidad del agua subterránea para irrigación dado por el grupo: Productores de hortalizas del Sur de Tlaxcala, atienden a los parámetros básicos de componentes químicos que tienen influencia para el cultivo y el suelo, tomaron 26 muestras de pozos que abastecen los sistemas de producción en México, analizados en un laboratorio certificado del cual obtuvieron que todas las muestras cumple para concentración de sales disueltas, pero solo siete muestras presenta pH adecuado para riego en México.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2015), en su informe de innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura, condensaron la orientación del trabajo del instituto desarrollado mediante el plan estratégico del 2010-2020 y los planes de mediano plazo en los periodos 2010-2014 y 2014-2018, evidenciando su aporte a la agricultura sostenible e incluyente, en marco de los ejes sembrando innovación para cosechar prosperidad y agua, alimento para la tierra.

En Cuba, García (2015), planteó que la calidad del agua es un elemento a valorar para la sostenibilidad del recurso, el objetivo fue valorar diferentes métodos que se utilizan para determinar la calidad del recurso afines agrícolas, estos indicadores se evaluaron según criterios de la FAO acompañado de algunos indicadores utilizados para los sistemas de riego.

A nivel nacional se destacan diversas investigaciones relacionadas con el uso eficiente del agua en el sector agrícola, como la realizada por Carvajal e Ibáñez (2015), quienes evaluaron cinco técnicas de riego presurizado para el manejo y aprovechamiento eficiente del agua implementado por los agricultores de la Asociación Red Agroecológica del municipio de Subachoque, Cundinamarca, estudio mediante el cual concluyeron que los regadíos de aspersión y micro aspersión presentaron falencias lo que ocasionó una aplicación no uniforme del agua debido a las bajas presiones y al taponamiento por parte de las partículas suspendidas, en consecuencia, al generar los valores del Coeficiente de Uniformidad estos no fueron excelentes evitando un ajuste al contexto de los agricultores, además la percepción de los agricultores respecto a las técnicas de riego es variada requiriendo el ajuste de estas a condiciones reales para cada agricultor.

Según el IICA (2015), en Colombia se han evidenciado prácticas de riego introducidas para el cultivo de arroz, que están permitiendo logros importantes en la reducción del consumo de agua y el aumento de la productividad en el cultivo. Las prácticas incluyen nivelación de tierras, uso de sifones y compuertas, siembra de variedades de ciclo más corto y mayor rendimiento por hectárea, y mejor respuesta a la fertilización con nutrientes adecuados. En los casos en que se han implementado las innovaciones mencionadas, el consumo de agua se ha reducido de 1078 m<sup>3</sup>/ha/semana a 800 m<sup>3</sup>/ha/semana; y el rendimiento ha aumentado de 5,4 a 7,4

t/ha. El caso referenciado muestra un alto retorno a la innovación en el manejo del agua, respaldado por las organizaciones de productores, en alianza con las entidades gubernamentales.

De igual importancia, el tema de calidad del agua ha sido objeto de estudio para mejorar las prácticas en la agricultura, como se relaciona el estudio realizado por Quintero y Vivas (2017), denominado “Análisis del agua de riego y cambios en parámetros de un suelo salino para el cultivo de caña de azúcar en el Municipio de Cerrito (Valle del cauca)” orientado a analizar el agua de riego sujeta a los cambios en parámetros de un suelo para el cultivo de caña de azúcar, con el fin de contribuir al itinerario de labores del cultivo; las variables de medición relacionadas con sales disueltas en el agua de riego fueron: conductividad eléctrica (CE), total de sólidos disueltos (TDS) Sales Solubles, Sulfatos, Carbonatos, Bicarbonatos y Cloruros, donde finalmente se hizo aplicación de riego con yeso o vinaza en el manejo y recuperación de suelos salinos teniendo efectos en el suelo, principalmente la disminución del pH.

El trabajo realizado por Cadena (2018) permitió sintetizar información relacionada con la gestión del agua en prácticas de riego y la escogencia de los sistemas o tecnologías más adecuadas, logrando un aporte al agricultor sobre cómo entender las redes que maneja su sector y que existe la interdependencia entre la complejidad ambiental con las problemáticas de la gestión del agua para riego en prácticas de la agricultura.

De otro modo, Perfetti et al. (2019), refieren que la adecuación de tierras e implementación de riego son factores claves para el crecimiento y desarrollo tanto del sector agrícola como de los territorios rurales, por ello sugieren diversas acciones más allá de las alianzas público-privadas que impulsen la adecuación de tierras, por lo cual especifican ajustes normativos que promuevan el uso eficiente, productivo y responsable del recurso hídrico.

## Marco contextual

Se estima que en el mundo existen 35 millones de  $\text{Km}^3$  de agua dulce y se cuenta con una precipitación anual de 119 000  $\text{Km}^3$ , de los cuales entre el 8 – 12% son recursos hídricos son utilizables por el hombre, puesto que gran parte del agua se evapora y otra fluye hacia ríos, lagos, embalses o se infiltra (FAO, 2002).

Por su parte, el continente americano posee cerca del 46% de los recursos hídricos mundiales y una precipitación pluvial promedio de 1084 mm/año (IICA, 2013). Así mismo, Colombia es catalogada como uno de los países con mayor potencial hídrico. Según la Global Water Partnetship (GWP), Colombia ocupa el tercer puesto entre los países latinoamericanos y el sexto a nivel mundial en poseer la mayor cantidad de agua dulce (GWP, 2017), con un promedio de precipitación de 2918 mm/año y 56,2 l/s/ $\text{Km}^2$  en términos de rendimiento, cinco veces más que el promedio mundial (10 l/s/ $\text{Km}^2$ ) (IDEAM, 2015).

A nivel regional presenta una heterogeneidad tanto espacial como temporal, sus volúmenes de lluvia varían considerablemente; la región más seca se ubica en el municipio de Uribía, La Guajira con un promedio anual de 247 mm, mientras que el municipio de López, Cauca registra el mayor promedio de precipitación con un valor superior a los 15 000 mm/año (IDEAM, 2010); de igual manera, la región del Catatumbo y vertientes exteriores de las cordilleras Oriental y Occidental, presentan volúmenes de lluvia superior a los 4000 mm al año, variaciones relacionadas a su ubicación en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y su comportamiento temporal de lluvias tanto bimodal como monomodal (FAO, 2015).

Según el IDEAM (2019) en su Estudio Nacional del Agua – ENA 2018, la oferta hídrica total del país es superior para las áreas hidrográficas del Amazonas (553 843  $\text{Mm}^3$ ) y Orinoco (533 843  $\text{Mm}^3$ ) con una oferta total del 36,0% y 26,4% respectivamente, cabe mencionar que la

franja Pacífica posee la mayor oferta por unidad de área y de igual forma se concentra al norte de la cordillera central en la región de Nechí y a su vez,

En términos de usos del recurso hídrico, la tasa de extracción para Latinoamérica oscila entre menos de un 1% al 15% del recurso, del cual un 70% es utilizado para la agricultura (IICA, 2013), del mismo modo para Colombia, la mayor demanda sectorial del recurso es agrícola con un 43,1%, seguido del sector energía (24,3%) y pecuario (8,2%); registrando las áreas hidrográficas Pacífico y Caribe la mayor demanda hídrica para uso agrícola (IDEAM, 2019).

El país ocupa el segundo lugar en Latinoamérica con el mayor potencial de irrigación, sin embargo, presenta una baja cobertura de infraestructura y una subutilización de tierras óptimas (FAO, 2015) Sumado a esto, la utilización del recurso presenta un alto porcentaje de informalidad, así como una baja empleabilidad de instrumentos para el uso eficiente del recurso (Perfetti et al., 2019).

En Colombia el sector agrícola ha aumentado cerca del 21% tan solo en los últimos cuatro años, expandiendo su frontera tanto cultivos permanentes como transitorios y pastizales. Cerca del 57% del total de la demanda hídrica agrícola es requerida por cultivos permanentes, el 18% por cultivos transitorios y un 25% por pastizales (IDEAM, 2019).

En este sentido América Latina es considerada como una de las regiones que concentra la mayor superficie de producción de aguacate en el mundo, siendo México el principal productor y exportador, además cuenta con las condiciones climáticas óptimas para su cultivo y cercanía a los mercados estadounidenses, sin embargo, la carencia de tecnificación del riego, fenómenos climáticos espontáneos, incidencia de plagas entre otros, son limitantes del cultivo. Por su parte países como Perú y Colombia presentan mayores oportunidades de crecimiento debido a la

disponibilidad de tierras y recursos (Echeverría, 2020; Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [UPRA], 2018).

El cultivo de aguacate ha incrementado sus niveles de producción en Colombia, convirtiéndolo al país como el quinto productor a nivel mundial (Dorado et al., 2017). En el país el cultivo de aguacate se posiciona como el cuarto frutal más sembrado en el país, durante los últimos años ha aumentado considerablemente su área de siembra; según el ENA, respecto al año 2014 el cultivo presentó un incremento del 127%, presentando un área nacional de siembra de 74 991 ha y una producción de 442 652 t, lo que se traduce en un rendimiento promedio nacional de 9.1 t/ha (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2016; IDEAM, 2018).

Las variedades sembradas son papelillos, pieles verdes, criollos y Hass. Siendo el departamento de Bolívar el principal productor nacional de aguacate criollo antillano, variedad caracterizada por su recolección en árboles nativos y poco manejo agronómico (UPRA, 2018)

Por su parte, la región Andina se caracteriza por presentar cerca del 80% de las áreas sembradas en el país, siendo los departamentos Tolima, Caldas, Antioquia, Santander y Risaralda los de mayor producción en esta región, así mismo, los departamentos como Valle del Cauca y Nariño presentan de igual manera un aporte significativo para el país (DANE, 2020).

A su vez, el grado de tecnificación de los cultivos varía dependiendo de la región, el centro occidente del país cuenta con una cobertura asistencial significativa y cultivos de buena calidad, mientras que la región central y los santanderes presentan avances, pero una baja disponibilidad de asistencia técnica (Consejo Nacional del Aguacate – CNA, 2012 citado por UPRA, 2018).

Para el primer semestre del año 2019 según el registro del DANE (2020), el 27% de los cultivos nacionales no contaban con un sistema de riego, sin embargo, cerca del 52% de aquellos

que, si lo implementan, aplican sistemas de riego por aspersión, seguido del sistema de goteo con un 15.3%, artesanal (7.6%), gravedad (3.3%), y un restante que no informa el tipo de sistema, a su vez, cerca del 30% aplican riego con una frecuencia semanal.

## **Bases Conceptuales**

### ***Recurso hídrico***

Los recursos hídricos son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida (Wirtgen, 2006).

### ***Agua***

El agua es la sustancia líquida, transparente, inodora, incolora e insípida, fundamental para el desarrollo de la vida en la Tierra, cuya composición molecular está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (Fernández, 2012).

### ***Calidad del agua***

El principal parámetro a evaluar sería la concentración de sales totales (CE), el riego continuo se emplea en zonas donde la evapotranspiración potencial es muy elevada y comienza la acumulación de sales en el suelo, posterior a la aplicación de la lámina de agua por riego, el agua de lluvia no realiza lavado de sales, las sales se acumulan en el perfil del suelo, disminuyendo el porcentaje de agua disponible por los cultivos al aumentar el potencial osmótico el agua del suelo (Umbría, 2009).



### ***Manejo integral y uso eficiente del agua***

El agua recurso fundamental para la vida, el suministro del agua presenta un riesgo debido a la contaminación y el desperdicio del recurso, generando una preocupación debido a la importancia del agua para todos los seres vivos, a pesar de que este recurso se identifica como renovable tarda mucho tiempo en abastecerse de nuevo (Agencia Nacional de Tierras [ANT], 2018).

Realizar uso racional, eficiente del agua requiere una modernización de infraestructura de captación y distribución, al igual mejoras tecnológicas de irrigación en el ámbito productivo y de renovación en las zonas urbanas que cuentan con agua potable; para el sector agropecuario los sistemas de riego presurizado reducen la pérdida de agua por escorrentía y evaporación (Centro de Estudio para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2014).

Como lo afirman Betancourt et al. (2017), la importancia del uso eficiente del agua ha variado según regiones y épocas. De igual manera, diversos autores (Pangare et al., 2006) mencionan que los principios del manejo integral del recurso hídrico incluyen: el reconocimiento del agua dulce como recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el ambiente; las actividades humanas afectan la productividad y el funcionamiento del recurso hídrico. Estos autores indican que el desarrollo y la gestión del agua deberían estar basadas en un enfoque participativo, involucrando usuarios, planificadores y gestores de políticas en todos los niveles.

### ***Conservación del agua***

El agua es un recurso imprescindible para la vida, en el planeta abarca un 71% de la superficie total, pero en su gran mayoría es agua salada y una pequeña parte dulce, este recurso hídrico es el responsable en los cambios del clima de la tierra y es fuente de vida, por lo tanto, el

pequeño porcentaje de agua dulce no es del todo accesible ya que se encuentra repartida en ríos, lagos y subterráneas (Umbría, 2009).

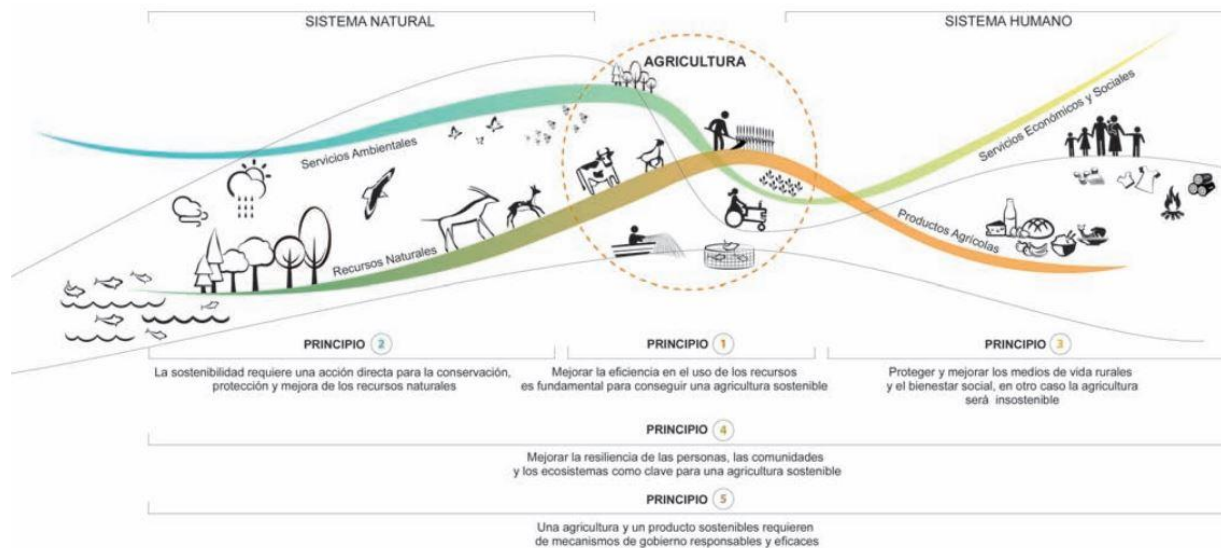
### ***Desarrollo sostenible agrícola***

El desarrollo sostenible es el manejo y conservación de los recursos naturales y el enfoque al cambio de tecnología e institucional, de manera que se asegure la satisfacción de las necesidades humanas para las futuras generaciones, este desarrollo sostenible va enfocado a los sectores agrícolas, pesquero y forestales, en conservación del suelo, agua, vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable (FAO, 2015b).

En este contexto, el sector de la agricultura, desde sus políticas a sus prácticas, podrá ser sostenible cuando se aborden adecuadamente los cinco principios siguientes (Figura 1), desarrolladas por la FAO en colaboración con los gobiernos de los Estados miembros y otros asociados (FAO, 2014).

### **Figura 1**

*Los cinco principios de la agricultura sostenible*



Fuente: FAO (2014)

En la figura anterior se muestra cómo los elementos del sistema natural en forma de servicios ambientales (el clima, el ciclo de nutrientes, la biodiversidad, el ciclo del agua, la protección costera, el filtrado y almacenamiento en búfer, la purificación, la estabilidad física y su apoyo) y los recursos (la tierra, los suelos, océanos, agua dulce, los recursos genéticos, los recursos forestales, los sistemas acuáticos, los nutrientes y la energía) están relacionados con el sistema humano en forma de servicios económicos y sociales (el desarrollo socioeconómico, la reducción de la pobreza, el empleo, la estabilidad, salud, nutrición, vivienda y ropa) y productos agrícolas (alimentos, piensos, fibra y combustible). La agricultura logra esto a través de los cultivos, la ganadería, la silvicultura, la pesca y otras actividades relacionadas con la misma (FAO, 2014; Water Monographies, 2015).

De acuerdo con la FAO (2014), los cinco principios de la agricultura sostenible están estrechamente vinculados entre sí, se apoyan de modo recíproco y forman un marco conceptual holístico. Las dimensiones ambientales, económicas y sociales del desarrollo sostenible se abordan en este continuo, con los dos primeros principios referidos al medio ambiente, el tercero

a los aspectos sociales y económicos y los cuarto y quinto englobando los otros tres. Las estructuras adecuadas de gobernanza trascienden este continuo y conforman la cuarta dimensión de la sostenibilidad en esta conceptualización.

### ***Sistemas riego***

Cualquier Sistema de Riego es una combinación de componentes, de los que la tubería y accesorios son fundamentales para cada sistema, sus precios pueden variar según la casa de fabricación, se recomienda que cuando se quiera implementar cualquier sistema se trabaje con accesorios de buena calidad para una mejor vida útil (Demin, 2014).

De manera general, el riego es la actividad agrícola que demanda mayores cantidades de agua. En algunas ocasiones, la oferta de lluvia que existe en algunas zonas determina cantidades suficientes de agua que se absorbe en el suelo y que sostiene los cultivos y permite una buena producción. En otras zonas menos húmedas, secas o semi-áridas, y en aquellas zonas en las que la cantidad de lluvia anual ha disminuido o ha cambiado su patrón a lo largo del año a causa del cambio climático, los agricultores están perdiendo oportunidades de siembra y producción, o han tenido que hacer más profundos los pozos para el riego por goteo (Coordinadora Latinoamericana y del Caribe de Pequeños Productores y Trabajadores de Comercio Justo [CCLAC], 2017).

### **Riego por gravedad.**

Es la modalidad tradicional, el agua se aplica directamente al terreno y avanza por gravedad hacia la parte más baja, el tiempo depende del porcentaje de inclinación del área a regar, puesto como se dan cuenta no es muy amigable con el uso eficiente del recurso del agua al contrario se genera un gasto inadecuado del recurso hídrico (Carrazón, 2007).

### **Riego localizado o por goteo.**

En busca de un sistema más amigable con el uso del agua para riego se puede encontrar el riego localizado; según las especificaciones se diseña el sistema de microrriego para obtener un excelente control de la cantidad y localización agua a utilizar. Estos sistemas se recomiendan principalmente para cultivos de frutales, para disminuir el control de arvenses y enfermedades por causa de suelos saturados (Santos et al., 2010).

### **Riego por aspersión.**

Este sistema consiste en hacer llegar el agua a los cultivos en forma localizada, para lo cual se utilizan mangueras de polietileno de media pulgada, que se coloca a lo largo de donde se quiere regar. Los micro aspersores funcionan por la presión del agua que es trasladada desde la fuente de almacenamiento por un poliducto o manguera y que al llegar al aspersor lo coloca en funcionamiento rociando el agua en la superficie del cultivo (Martínez, 2013).

### ***Eficiencia del sistema de riego ( $E_f$ ) en los sistemas agrícolas***

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre cantidad de agua exigida por las plantas y la cantidad suministrada de la bocatoma, el agua captada de cualquier fuente natural para un sistema de riego esta conducida de diferentes formas como puede ser por un canal principal y luego se deriva el agua por canales de distribución donde sea requerida para cualquier cultivo, finalmente se evaluara del caudal captado en la bocatoma cuánta agua de esta es utilizada para el riego del cultivo y para ello es importante determinar la eficiencia de riego a fin de determinar la demanda de agua que se requiere en un proyecto de riego siendo esta un factor importante en el cálculo de la demanda hídrica de todo proyecto de riego (MINAGRI, 2015).

Se estima que existen al menos 6 criterios técnicos fundamentales en la identificación de las tecnologías eficientes para el uso del agua, considerando el tipo de parcela o finca; la consideración de estos criterios favorece la efectividad de las tecnologías y la contribución al manejo sostenible del agua y de las fuentes hídricas (Martínez, 2013). Los criterios se enuncian a continuación:

- Precipitación promedio anual.
- Disponibilidad de agua en la finca o en su cercanía.
- Pendiente del terreno.
- Textura del suelo.
- Profundidad del suelo.
- Capacidad de infiltración del suelo.

Todas las prácticas y tecnologías que se promuevan para el uso eficiente del agua, deben estar acompañadas por acciones dirigidas a la conservación y protección de las áreas de recarga o fuentes hídricas; es decir, trabajar con un enfoque integrado que considere todo el sistema y las variables que influyen en la cantidad y calidad del agua y el suelo, que son fundamentales para asegurar una buena producción.

En el uso de agua para el riego, es necesario diferenciar entre los volúmenes de agua que se extraen y los que se usan para el desarrollo de los cultivos, según lo referencia Betancourt et al. (2017). Las causas que inciden en los altos consumos de agua por la agricultura, son provocadas por la baja eficiencia en su uso. De acuerdo a lo anterior, aspectos como el almacenamiento, la conducción, uso en los sistemas agrícolas y prácticas empleadas inciden en el uso de agua para riego (Loboa et al., 2011).

### ***Agricultura tradicional***

El surgimiento de la agricultura tradicional en las últimas décadas, se ha presentado por diversos acontecimientos según la ubicación y topografía presente, el gran avance tecnológico e industrial, las deducciones ambientales y el incremento de las labores y productos agrícolas para el sostenimiento de los cultivos, tiene como consecuencia que la agricultura retorne a la agenda mundial, este nuevo rol busca en la agricultura la capacidad de ejercer funciones para su desarrollo, las funciones van de la mano con el crecimiento económica y la sostenibilidad ambiental, reducción de la pobreza y del hambre, destacando el hecho de que el sector no solo contribuya a una mejor producción sino también en la seguridad alimentaria, sino también el aporte en la nutrición de las personas (Perfetti et al, 2013).

### ***Cultivo de aguacate***

El aguacate es una planta originaria de América central, perteneciente a la clase Dicotiledónea, subclase Dipétala, orden Ranales y familia de las Lauráceas, originaria de Centroamérica, siendo una de las plantas más antiguas del continente, actualmente, el género *Persea* contiene alrededor de 85 especies, de acuerdo con la raza del origen puede crecer entre los 0 hasta los 2500 msnm, siendo el aguacate Hass la principal variedad en cultivar, adaptada a temperaturas de 5 a 19 °C y alturas entre 1800 y 2000 msnm en zonas subtropicales, presentando buenas características organolépticas y rendimientos elevados (Bernal, 2016; Amórtegui, 2001; Barrientos y López, 1998; Dorado, Grajales y Rebolledo, 2017; UPRA, 2018).

### **Marco legal**

Colombia, por ser un país con potencial hídrico abarca muchos sectores que tienen como referente el recurso agua. A continuación, se mencionan algunos decretos, leyes y normas

vigentes que articulan y dictaminan aspectos referentes a la gestión integral del recurso hídrico y su empleabilidad en el sector agrícola:

**Decreto Ley 2811 de 1974.** Por el cual se dicta el código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

**Decreto 1541 de 1978.** Por el cual se reglamenta, entre otros aspectos, el dominio de las aguas, cauces y riberas y las normas que rigen su aprovechamiento; las restricciones y limitaciones al dominio y la conservación de las aguas y sus cauces.

**Decreto 1594 de 1984.** Establece los usos del agua y residuos líquidos. Mediante el artículo 32 y 35 define que para uso agrícola el agua es empleada para irrigación de los cultivos, procesos manufactureros de transformación o explotación y otras actividades conexas o complementarias dispuestas por el Ministerio de Salud o la EMAR.

De igual manera define los criterios admisibles del recurso para el uso agrícola (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Criterios Admisibles destinación uso agrícola*

Referencia	Expresado como	Valor	Unidades
Aluminio	Al	5.0	mg/L
Arsénico	As	0.1	mg/L
Berilio	Be	0.1	mg/L
Cadmio	Cd	0.01	mg/L
Cinc	Zn	2.0	mg/L



Cobalto	Co	0.05	mg/L
Cobre	Cu	0.2	mg/L
Cromo	Cr <sup>+6</sup>	0.1	mg/L
Flour	F	1.0	mg/L
Hierro	Fe	5.0	mg/L
Litio	Li	2.5	mg/L
Manganeso	Mn	0.2	mg/L
Molibdeno	Mo	0.01	mg/L
Níquel	Ni	0.2	mg/L
Potencial de hidrogeno	pH	4.5 – 9.0	Unidades
Plomo	Pb	5.0	mg/L
Selenio	Se	0.02	mg/L
Vanadio	V	0.1	mg/L
Boro *	B	0.3-4.0	mg/L
Coliformes totales *		<5000	NMP
Coliformes fecales *		<1000	NMP

*Nota.* \*para B este valor depende del tipo de suelo y cultivo. Coliformes totales y fecales son valores admisibles para riego de frutas consumidas sin quitar cascara y hortalizas de tallo corto. Fuente: Decreto 1594 de 1984

Además, deben hacerse mediciones de conductividad, relación de absorción de sodio (RAS), porcentaje de sodio posible (PSP), salinidad efectiva y potencial, carbonato de sodio residual y radionucleídos.

**Constitución Política de Colombia de 1991.** Conocida como la constitución verde. A partir de su formulación se abre paso a un aserie de normativas en pro de los derechos colectivos

y del ambiente: establece las responsabilidades del estado en cuanto a la protección de la diversidad e integridad del ambiente y la conservación de los recursos naturales.

**Ley 99 de 1993.** Se da la creación del Ministerio del Medio Ambiente y el reordenamiento del sector público encargado de gestionar y conservar el medio y los recursos naturales renovables.

**Decreto 1640 de 2012.** Mediante el cual se definen los instrumentos para la planificación, ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, estableciendo el Plan de Manejo y Ordenamiento de Cuencas (Pomca), principal documento para la planificación de los recursos naturales.

**Resolución 0865 de 2004.** Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.

**Decreto 3600 de 2007.** Por el cual se establecen determinaciones para el ordenamiento en el suelo rural.

**Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010.** Documento el cual establece objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégicas a fin de permitir un uso eficiente del recurso hídrico, conservación de los ecosistemas, conocimiento, la utilización sostenible de los recursos naturales y de la biodiversidad del país, considerando el agua como factor de desarrollo económico y bienestar social (Colombia, 2010).

**Decreto 1640 de 2012.** Establece los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.

**Decreto 1090 del 28 de junio 2018.** “Por el cual se adiciona el decreto 1076 de 2015, Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del agua y se dictan otras disposiciones”. Definiendo así que el Uso eficiente y ahorro del agua (UEAA), son acciones que permiten reducir el desperdicio del recurso y así mismo garantizar su utilidad adecuada en cualquier actividad. Además, se establece que el programa para el uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), tiene como finalidad optimizar el uso del recurso hídrico, elaborando proyectos y acciones con el propósito de contribuir a la sostenibilidad del recurso, del cual los usuarios son los principales encargados de su elaboración y ejecución (Decreto 1090,2018, Art. 2.2.3.2.1.1.2 y 2.2.3.2.1.1.3.).

## Metodología

Se realizó una investigación de tipo bibliográfica, mediante la revisión de literatura científica actualizada sobre el uso eficiente del agua de irrigación en sistemas agrícolas convencionales particularmente en el cultivo de aguacate, mediante fuentes electrónicas que brindaron acceso a información general, permitiendo su integración y contraste con literatura científica soportada en las bases de datos electrónicas: Open Access, Springerlink, Science Direct y Scopus, adquiridas por la biblioteca virtual de la Universidad de Pamplona; investigación llevada a cabo en tres fases

### **Fase I: Búsqueda y revisión de la información disponible en las bases de datos de la calidad agronómica del agua para riego.**

Esta fase inició con la búsqueda y revisión literaria disponible sobre investigaciones realizadas a nivel nacional relacionadas con la calidad del agua utilizada en las prácticas agronómicas convencionales, compilando información referente a condiciones y principales parámetros fisicoquímicos de un agua apta para uso agrícola, para abordar y dar solución a este objetivo se realizó un par de actividades las cuales se mencionarán en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Actividades fase I*

Actividades para el desarrollo de la fase	Resultados
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Revisión bibliográfica de la calidad agronómica del agua para riego.</li><li>○ Determinación de los usos del agua para la agricultura convencional.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Parámetros de calidad de agua agronómica destinada para riego.</li><li>○ Identificación de los mejores usos a implementar al agua de regadío.</li></ul>

- 
- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Definición de la información necesaria para valorar la calidad del agua con fines agrícolas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reconocimiento de las características de las aguas para los sistemas de riego.</li> </ul> |
|--|--|
- 

Fuente: Autor (2020)

**Fase II. Identificación de técnicas de regadío mencionadas en la literatura para uso agrícola, principalmente para el cultivo de aguacate en la región Andina Colombiana.**

Identificación de las técnicas de regadío, comparación y caracterización de ventajas y desventajas de cada una de ellas, haciendo énfasis en los cultivos convencionales de aguacate, para ello se implementaron cuadros comparativos, para abordar y dar solución a este objetivo se realizó un par de actividades las cuales se mencionarán en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Actividades fase II*

---

Actividades para el Desarrollo de la Fase	Resultados esperados
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificación de los sistemas de regadío empleados en los cultivos de aguacate en la región Andina.</li> <li>○ Análisis de los aspectos relevantes de los métodos de regadío expuestos por diferentes autores.</li> <li>○ Definición de manera literaria la mejor técnica de regadío para el sector agrícola, encontrado en las diferentes investigaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Técnicas más eficientes de los sistemas de riego existentes expuestas por diferentes autores.</li> <li>○ Principales aspectos para llevar a cabo un sistema de riego.</li> <li>○ Selección según la revisión literaria, las técnicas con mayor porcentaje de eficiencia.</li> </ul>

---

Fuente: Autor (2020)

**Fase III. Análisis de información recolectada en base a los aspectos socioeconómicos y ambientales del agua de irrigación.**

Análisis de la información recopilada enmarco de los impactos socioeconómicos y ambientales que se han presentado por el uso inadecuado del recurso hídrico, en base a una discusión crítica y reflexiva sobre la importancia de esta temática a nivel nacional e internacional para abordar y dar solución a este objetivo se realizó un par de actividades las cuales se mencionarán en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Actividades fase III*

Actividades para el Desarrollo de la Fase	Resultados esperados
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Recopilación literaria sobre el uso del agua en el sector agrícola.</li> <li>○ Planteamiento de alternativas positivas sobre el uso del recurso hídrico para la agricultura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificación de los efectos del mal uso del agua en el desarrollo agrícola.</li> <li>○ - Determinación de alternativas sobre el uso indiscriminado del agua de regadío.</li> </ul>

Fuente: Autor (2020)

## **Resultados y discusión**

### **El agua en la agricultura**

Los recursos hídricos han sido fuente imprescindible para el sostenimiento de la vida y de igual manera el riego lo ha sido para el desarrollo de la sociedad; para los siglos XIX y XX gran parte del crecimiento agrícola se ha dado por la práctica de riego y drenaje (FAO, 2004). La producción agrícola mundial ha aumentado entre 2,5 a 3 veces más en los últimos cincuenta años, en el mismo lapso las tierras con implementación de regadío se han duplicado y consecuentemente aumentando la demanda de los sistemas de suministro de agua con una creciente anual de 0.6%, contribuyendo en gran medida a las mejoras en productividad y la producción agrícola (FAO, 2011). No obstante, la agricultura intensiva y la carencia de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), en ciertas zonas ha llevado a la sobreexplotación de los recursos ecosistémicos, poniendo en riesgo tanto la seguridad alimentaria como la sostenibilidad de los ecosistemas.

Según la FAO (2011), gran parte de los sistemas de regadío funcionan por debajo de su potencial y no se ajustan a las necesidades actuales de la agricultura, sumado a esto un deterioro en la calidad del recurso por problemas de salinización en las tierras irrigadas, afectando tanto aguas superficiales como subterráneas. Por su parte, Latinoamérica para el año 2006 presentaba 11,6 millones de ha de superficie con infraestructura para regadío, es decir un 9,1% de la tierra cultivada.

De igual importancia, el agua tiene diversas funciones, una de ellas es la de regulación térmica, la disolución de gases y sustancias orgánicas e inorgánicas, por esto el agua en la mayoría de los casos no se encuentra pura, al estar en ese estado se puede dar reacciones de óxido-reducción que permiten la fotosíntesis de las plantas esto sujeto a la etapa fenológica del

cultivo, a su vez el ciclo biológico y en las condiciones que se encuentre la atmosfera permite a un cultivo soportarse con el agua del suelo, aunque en muchos de ellos la cantidad de agua es baja por lo que requiere suplementar a través del riego (Sánchez et al., 2009).

Como lo señala la FAO (2016), la agricultura es responsable del gasto del 70% del agua disponible en todo el mundo y en continentes como África y Asia destinan a esta actividad, el 83 y 80% de sus recursos, respectivamente. Según esto, para lograr la optimización del riego es preciso garantizar un uso eficiente del agua, con una alta productividad por cada gota de agua disponible, mediante un método que contribuya al incremento de los rendimientos económicos (Kadasiddappa et al., 2017; Betancourt et al., 2017). En este contexto, es importante hacer énfasis en la mejora de las prácticas de riego para incrementar la productividad de los cultivos, sosteniendo los niveles de producción, para lo cual es necesario la adopción de técnicas modernas, simples, fáciles de operar y que incrementen la eficiencia en el uso del agua (Kalpana y Fanish, 2014; Betancourt et al., 2017).

En Colombia, a finales del siglo XIX, fueron construidos por el sector privado los primeros sistemas riego en la zona bananera del Magdalena, posteriormente a mediados del siglo XX, fue impulsado por diversos gobiernos la denominada adecuación de tierras (ADT) (Perfetti et al., 2019).

Según el 3er Censo Nacional Agropecuario, el área total sembrada en el país ascienda a 8.577.010 ha, de los cuales el 60,9% corresponden a cultivos permanentes, el 27,9% transitorios y 11,2% mixtos. De acuerdo con el ENA en los últimos cuatro años el área total agrícola ha aumentado cerca de un 21%, incrementando a su vez la demanda del recurso hídrico, sin embargo, la empleabilidad del recurso en la actividad agropecuaria presenta déficits, puesto que más del 50% de las UPA del área rural dispersa presentan dificultades en el uso del recurso,

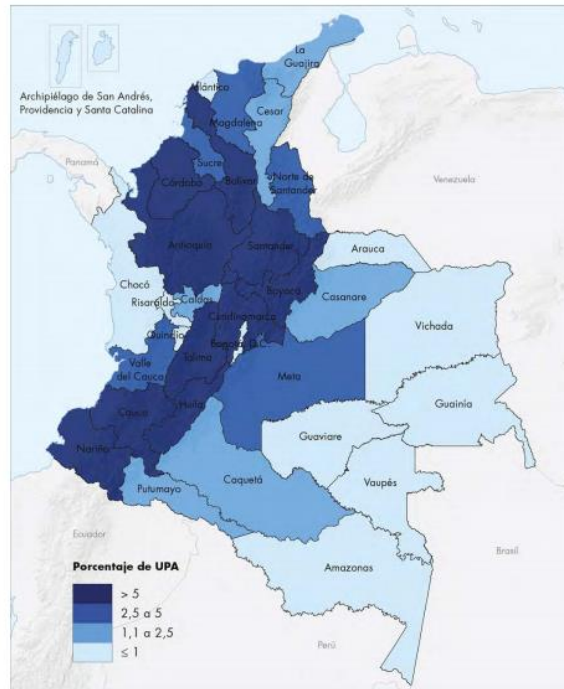


siendo la sequía y la carencia de infraestructura las principales causas de esta dificultad (DANE, 2016; IDEAM, 2018).

En la actualidad, el 33,3% de las unidades productivas agropecuarias-UPA (Para cultivos del área rural dispersa) utilizan algún tipo de riego para sus actividades, mientras que el 66,7% no emplean ningún método de irrigación; departamentos como Nariño, Tolima, Cauca, Santander y Cundinamarca pertenecientes a la región andina colombiana registran el 41,9% de las UPA con riego (Figura 2) (DANE, 2016).

## Figura 2

*Participación (%) de UPA con cultivos en el área rural dispersa censada con utilización de riego.*



Fuente: DANE (2016)

### ***Calidad del agua.***

El agua es un elemento fundamental para la vida de todos los seres, siendo un recurso indispensable para la ejecución de gran parte de las actividades que se realizan. Es así, como recurso indispensable toma relevancia en algunas actividades económicas, específicamente en la agricultura, debido a que puede ayudar o afectar a la planificación del riesgo y el sistema de regadío implementado (Salazar et al., 2014).

De esta manera, se comprende que el estado del agua es elemental para la producción de cultivos de manera exitosa, ya que este impacta en el rendimiento de los cultivos y en las condiciones del suelo (Cadena, 2018).

Por lo tanto, es necesario tener conocimiento de donde se encuentra ubicado y la capacidad de explotación que tienen algunos recursos hídricos subterráneos, para poder hacer uso según el estado en que se encuentre y la evaluación de la calidad del agua (Heredia, 2017).

Afirma el citado autor que:

“Para regar, en principio se deberá conocer cuáles son los caudales explotables de cada pozo, pero, asimismo, para no afectar la calidad de otros recursos naturales, como por ejemplo el suelo, es necesario determinar la metodología de riego y la calidad del agua, para implementar las herramientas adecuadas de manejo y conservación de los recursos.” (p, 1-2).

Por consiguiente, es posible afirmar que la práctica del riego en la agricultura desde la antigüedad tiene importancia, sobre todo en aquellos cultivos que son dependientes a los cambios y efectos climáticos pues son cultivos bajos en riego. Se asocia, que solo el 15% de las tierras cultivables del mundo son regadas y esto representa un 35-40% del total de los alimentos producidos. La expansión del área regada fue en gran parte responsable de la “revolución verde”

en la producción de alimentos y continuará siéndolo ya que juega un rol fundamental en la producción agrícola de los países en desarrollo (Heredia, 2017).

De igual importancia, el agua tiene diversas funciones, una de ellas es la de regulación térmica, la disolución de gases y sustancias orgánicas e inorgánicas, por esto el agua en la mayoría de los casos no se encuentra pura, al estar en ese estado se puede dar reacciones de óxido-reducción que permiten la fotosíntesis de las plantas esto sujeto a la etapa fenológica del cultivo, a su vez el ciclo biológico y en las condiciones que se encuentre la atmosfera permite a un cultivo soportarse con el agua del suelo, aunque en muchos de ellos la cantidad de agua es baja por lo que requiere suplementar a través del riego (Sánchez et al., 2009).

Es por esto que Acosta y Salvadorini (2017) exponen que el recurso hídrico del sector agrícola, tiene efectos determinantes en la producción de los cultivos; he allí la importancia de la calidad de la misma. Dichos efectos, se encuentran estrechamente relacionados con el éxito de los cultivos a corto, mediano y largo plazo, de modo que el uso desmedido y continuo de agua en mal estado es perjudicial por que causa cambios en las propiedades edáficas, categorizando este suelo como no apto para la agricultura (Metroflor, 2018).

Conviene subrayar, que sin tener en cuenta el origen del agua, esta debe cumplir unos parámetros de calidad para ser usada como agua de riego, aunque existen algunas excepciones donde se puede omitir algunos parámetros, se debe tener la precaución de poner límites a este uso desmedido de agua de baja calidad en el riego para que no se vean afectadas las propiedades del suelo (Cortés et al., 2009).

En Colombia, el tema ha tomado relevancia porque la agricultura se caracteriza por presentar la mayor demanda hídrica, por encima de sectores como el doméstico, energético e

industrial, emplea apropiadamente el 54% de agua extraída. Por lo general, el agua utilizada para riego en Colombia su origen en un 41,2% de lagos, 16,7% de ríos y tan solo un 0,3% extraída de aljibes y pozo, según el último Censo Nacional Agropecuario. (FAO, 2015).

Según Saha et al. (2015), el agua que es extraída del subsuelo presenta un uso particular en cultivos de flores y cultivos extensivos, aunque no existen datos exactos de la implementación de sistemas no confeccionados es poco el uso de aguas reutilizadas, por esto la importancia de tener claro cuáles son las limitaciones de cada una de las fuentes y los tratamientos necesarios para garantizar una larga vida útil de las líneas de goteo y un correcto desempeño del sistema. La calidad del agua se está deteriorando, ya que el regadío tiene un impacto tanto en las aguas superficiales como en las subterráneas, y cada vez es más grave el problema de salinización en las tierras irrigadas (FAO, 2011, p. 40).

### **Propiedades fisicoquímicas del agua.**

Las propiedades físico- químicas del agua, están sujeta a unos parámetros a evaluar esto depende en principio, de la fuente de agua; si las aguas son superficiales será importante conocer la concentración de sólidos en suspensión, mientras que éste no es un parámetro relevante en aguas subterráneas, donde existen menos posibilidades del arrastre de material que pueda obturar cañerías, si la perforación está bien diseñada (Andriani, 2009).

El valor de referencia es la concentración de ingredientes que no representan un riesgo para la salud. Algunos valores de referencia este sujeto a la fijación de contaminantes químicos (como plomo y nitrato) he allí la importancia de los valores, también protegen a la población general que usa agua que no esté en buenas condiciones protegiendo la salud pública (Bonet y Ricardo, 2011).

De esta manera se asocian los valores óptimos para la vida, fuentes de los contaminantes y notas sobre la depuración de las aguas.

**Tabla 5**

*Parámetros de calidad del agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores óptimos para la vida</b>
<b>Condiciones generales</b>	
Temperatura	< 30 °C
pH	6 – 8
Sólidos en suspensión	< 50 mg/L
Sales (en agua dulce)	< 1 %
<b>Materia orgánica</b>	
O <sub>2</sub>	> 5 mg/L
DBO	> 5 mg/L
DQO	> 30 mg/L
P – Fósforo	< 0,02 mg/L
N – Nitrógeno	< 10 mg/L
<b>Tóxicos</b>	
<b>Metales</b>	
Pesticidas	Valores variables, pero en general
Microcontaminantes orgánicos	pocos o inferiores a µg/L
<b>Disolventes</b>	

Fuente: Prat (2017)

Para el agua de riego se debe cumplir con los límites de concentración permitidos, considerando el efecto tanto en la nutrición de la planta como en el suelo, la reducción en el rendimiento de los cultivos es proporcional al aumento en el nivel de salinidad (Sela, 2016). En la tabla 6 se proporcionan ciertos parámetros para la evaluación del recurso hídrico para riego.

**Tabla 6.**

*Valores normales para el agua de riego*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores normales</b>
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	0 - 3
Total sólidos en solución	TDS	mg/L	0 – 2000
Calcio	Ca <sup>2+</sup>	meq/L	0 – 20
Magnesio	Mg <sup>2+</sup>	meq/L	0 – 5
Sodio	Na <sup>+</sup>	meq/L	0 – 40
Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	meq/L	0 - 0,1
Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/L	0 – 10
Cloruro	Cl <sup>-</sup>	meq/L	0 – 30
<i>Riego superficial</i>		meq/L	0 – 10
<i>Riego por aspersión</i>		meq/L	0 – 3
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	meq/L	0 – 20
Nitrato-nitrógeno	NO <sub>3</sub> -N	mg/L	0 – 10
Amonio-nitrógeno	NO <sub>4</sub> -N	mg/L	0 – 5
Fosfato-fósforo	PO <sub>4</sub> -N	mg/L	0 – 2
Potasio	K <sup>+</sup>	mg/L	0 – 2

Boro	B	mg/L	0 – 2
Acidez o basicidad	Ph	1 - 14	6 – 8,5
Relación de absorción de sodio	RAS	meq/L	0 – 15
<i>Riego superficial (Na)</i>		meq/L	0 – 9
<i>Riego por aspersión (Na)</i>		meq/L	0 – 3

Fuente: Ayers y Westcot (1985)

Parámetros como la conductividad eléctrica, total sólidos en solución, nitrato-nitrógeno, bicarbonatos e iones como el sodio, cloro, boro, son relevantes puesto que afectan cultivos sensibles, alterando el crecimiento y desarrollo de la planta (Ayers y Westcot, 1985).

Se alude que los distintos cultivos varían en su tolerancia a la salinidad y por tanto tienen diferentes umbrales y diferentes tasas de reducción del rendimiento. Los parámetros más comunes para determinar la calidad del agua de riego, en relación con su salinidad, son la CE y el TDS (Sela, 2016). Respecto al cultivo de aguacate, en la tabla 7 se relacionan algunos parámetros importantes a evaluar en la calidad del agua.

### **Tabla 7**

*Valores óptimos de calidad de agua para el cultivo de aguacate*

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valores normales</b>	<b>Autor</b>
<i>Contenido en sales</i>				
Conductividad eléctrica	CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	< 750	Branson y Gustafson (1971)
Total sólidos en solución	TDS	ppm	< 850	Rodríguez (2003)

### *Cationes y aniones*

Sodio	Na <sup>+</sup>	meq/L	< 3	Rodríguez (2003)
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	meq/L	< 2.8	Shalhevet (1999)
<i>Varios</i>				
Boro	B	ppm	< 0,7	Rodríguez (2003)
Relación de absorción de sodio	RAS	meq/L	< 6	Branson y Gustafson (1971)

---

Fuente: Autor (2020)

Según Branson y Gustafson (1971), cuando la conductividad eléctrica del agua de riego presenta valores superiores a  $750 \mu\text{S cm}^{-1}$ , la solución del suelo puede llegar a incrementar entre 4 a 6 veces, ocasionando un exceso de sales solubles en las raíces del aguacate, afectando su crecimiento, a vez al supera el sodio los valores permisibles reduce la permeabilidad causando daños en los suelos y las plantas. Además con valores superiores a 6 meq/L de RAS se pueden presentar quemaduras severas en sus hojas (Shalhevet, 1999).

### **Calidad microbiológica de riego.**

Por lo que se refiere a la calidad microbiológica de riego, se vincula propiedades fisicoquímicas del agua, una de ella es la concentración del nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), este se retiene con facilidad en el suelo manifestándose en la oxidación por bacterias nitrificantes, en primer término a  $\text{NO}_2^-$  y finalmente a  $\text{NO}_3^-$ , lo que indica que las aguas subterráneas se ven afectadas cuando hay demasiado nitrógeno amoniacal, provocando que las plantas no puedan lograr la absorción de este exceso en el suelo, quedando filtrado superando los límites de concentración de 10 mg/L, generando problemas en los cultivos (González, 2016).



Como lo argumentó Richards (1985), la calidad del agua de riego se determina por la concentración de todas las sustancias allí disueltas para especificar la particularidad de estas, como la concentración total de sales solubles, la concentración relativa de sodio con respecto a otros cationes, la concentración de boro u otros elementos que puedan ser tóxicos y bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio (Castellón et al., 2014).

En relación a la concentración de otras sustancias en el agua, se alude que en su mayoría causan una gran reducción del agua disponible para los cultivos, es decir, la planta debe ejercer mayor esfuerzo para poder absorber el agua; puede llegar incluso a sufrir estrés fisiológico por deshidratación, afectando esto su crecimiento (Lamz y González, 2013).

En definitiva, para evaluar la calidad del agua para fines de riego, se debe en primer lugar hacer un muestreo representativo y luego en el laboratorio determinar los siguientes parámetros: cantidad de sales totales disueltas; niveles de calcio, magnesio, sodio, potasio, pH, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, cloruro, boro, y Razón de Sodio Adsorbido (RAS) (Castro, 2012), atendiendo que la calidad del agua de riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables u óptimas. Además, los distintos cultivos requieren distintas calidades de agua de riego (Sela, 2016).

### **Uso de microorganismos eficientes para mejorar el agua de riego.**

En la actualidad, las ciudades vierten aguas residuales parcialmente tratadas y no tratadas en las aguas superficiales y subterráneas de las inmediaciones. Con los vertidos de procesos industriales, más la infiltración de los residuos de fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, desechos domésticos y otros, aumenta la carga contaminante. El resultado es que

sólo alrededor de un tercio del recurso potencial, probablemente unos 12 500 km<sup>3</sup> por año, se puede aprovechar para las necesidades de las personas, proporción que va disminuyendo a medida que aumenta la contaminación (OMS, 2013).

Se estima que más de cinco millones de personas mueren anualmente de enfermedades vinculadas con el consumo de agua contaminada, servicios sanitarios inadecuados y una higiene rudimentaria. La salud humana depende de un suministro de agua inocua y por ende segura, y de servicios sanitarios fiables. Hay una gran variedad de métodos para la descontaminación de aguas residuales (AR), entre los que se encuentran la utilización de microorganismos, denominados eficientes (ME), y su importancia resulta de que ellos no generan subproductos contaminantes y, además, son eficientes (López, 1981). A continuación, se mencionan algunas aplicaciones referenciadas de los microorganismos eficientes en los sistemas agrícolas para mejorar el agua de riego.

Un buen ejemplo es el sistema a partir de lodos activados, que se basa en el trabajo de las bacterias, para degradar los desechos existentes en el agua (García, 2001). En un inicio estos microorganismos fueron utilizados para mejorar la calidad del suelo y la eficacia del uso de la materia orgánica por las plantas respectivamente, así como suprimir putrefacción (incluyendo enfermedades). Este estudio fue desarrollado por el Doctor Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, y se completó en 1982 (EEAITAJ, 2013).

Posteriormente, los ME se han aplicado en diferentes contextos como las actividades pecuarias (apicultura, porcicultura, ganadería, acuicultura), rellenos sanitarios, botaderos de basura y desechos, tratamiento de los suelos, de aguas y aguas residuales, etcétera. En el informe realizado por Productores y Distribuidores de EM1 en México (EM Yucatán s/a), se exponen los distintos usos que se les pueden dar a los ME, tales como sustitutos de artículos de aseo

(limpiador de piso, baño y cocinas), para eliminar el olor desagradable a humedad y drenaje, en la conservación de frutas y verduras, para reducir la contaminación de los lodos sépticos, en trabajos de construcción y restauración, jardinería, terapia medicinal y otros muchos más. La base de la tecnología de ME es la mezcla de diferentes tipos de microorganismos, todos ellos benéficos, que poseen propiedades de fermentación, producción de sustancias bioactivas, competencia y antagonismo con patógenos, todo lo cual ayuda a mantener un equilibrio natural entre los microorganismos que conviven en el entorno, trayendo efectos positivos sobre la salud y bienestar del ecosistema (Romero y Vargas, 2017).

### **Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate**

Los requerimientos hídricos del aguacate son particulares y dependen de la especie, edad, tamaño, densidad del follaje, la época del año y estado fisiológico en que la planta se encuentre, por lo tanto, el aguacate presenta diferencias en relación a los requerimientos hídricos, es decir una interacción de factores edafoclimáticos, botánicos, del suelo y manejo definen la cantidad requerida, un ejemplo de ello es que durante su floración y cuajo del fruto, el agua es imprescindible para un desarrollo adecuado y en casos extremos o épocas de estiaje se puede ocasionar la pérdida de la cosecha (Rodríguez, 2003).

La estructura radicular superficial del aguacate es extensamente suberizada, relativamente ineficiente en la absorción de agua, con una baja conductividad hidráulica y baja frecuencia de pelos radicales, lo cual ocasiona que el cultivo presente una alta susceptibilidad en su desarrollo y productividad debido al exceso de humedad ocasionando la falta de oxígeno o al déficit del recurso (sequía)(Marín, 1996), requiriendo un sistema de irrigación adecuado para suplir sus necesidades (Montgomery, sf), además, Du plessis (1991), sugiere que los primeros 60 cm de

profundidad son la zona de riego que maximizan la eficiencia del recurso y evitan las pérdidas de percolación.

Para determinar la cantidad de recurso que requiere el cultivo se debe establecer el valor de evapotranspiración del cultivo, el estado fenológico, temperatura, humedad relativa régimen de precipitación de la zona y características del suelo (Echeverría, 2020), siendo relevante un análisis de calidad de agua que genere las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo, evaluada mediante los parámetros generales del agua de riego (tabla 6) y requerimientos particulares para el cultivo de aguacate (tabla 7).

### ***Sistemas de riego***

Los sistemas de riego son un conjunto de estructuras que permiten que un área cultivada adquiera la cantidad de agua necesaria para su desarrollo (DANE, 2016), por ende, esta estructura presenta costos de suministro, distribución y mantenimiento, costo en los cuales está inmerso el recurso hídrico. Cualquier técnica o método de aplicación de este recurso debe permitir satisfacer las necesidades de los cultivos, mediante un adecuado control del agua u otros motivos que requieran el recurso (Arango, 2002).

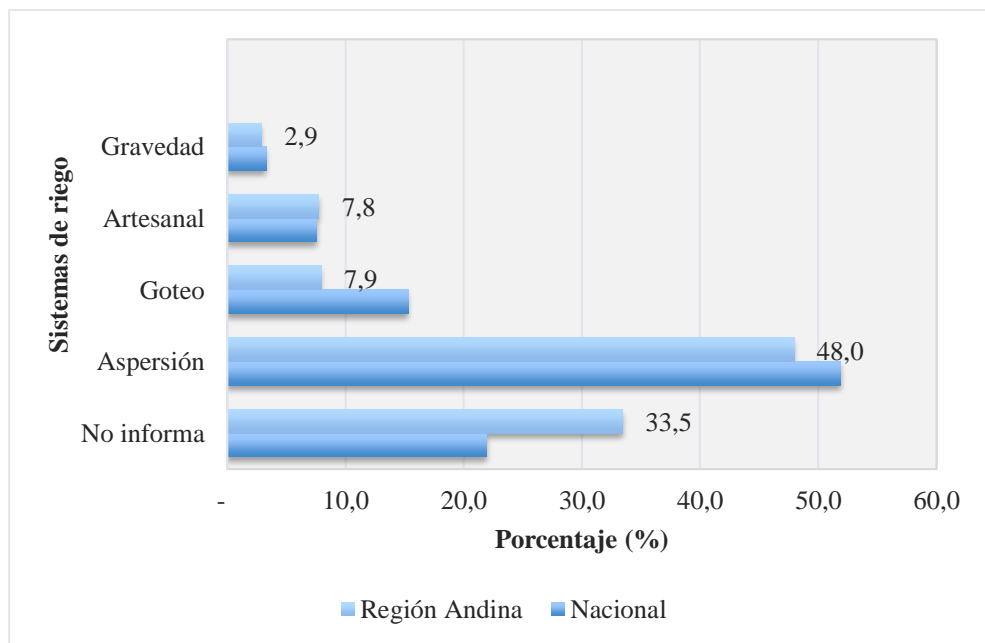
Los métodos de aplicación presentan una diversidad de efectos sobre los cultivos, los cuales puede ser tanto positivos como negativos, dependiendo de su efectividad y correspondiente manejo del sistema (Arango, 2002); la inadecuada gestión del sistema agua-suelo-planta y el uso indiscriminado del recurso puede ocasionar riegos de salinidad, erosión entre otros que afectan no solo el cultivo en términos de productividad, sino en calidad hídrica y suelo (Oster, 1994).

Para el cultivo de aguacate es fundamental un sistema de riego, en la actualidad se ubica en el doceavo puesto en los cultivos permanentes con mayor demanda hídrica, requiriendo anualmente cerca de 81,1 Mm<sup>3</sup>/año, es decir cerca del 0,9% del agua total del sector agrícola en Colombia (IDEAM, 2019).

Existe una gran cantidad de métodos de riego con ciertas variantes como los métodos superficiales, sub-superficiales, a presión, entre otros (Arango, 2002); Según el DANE (2020), en la región Andina colombiana el sistema de aspersion es el principal método de aplicación de riego con un 48%, seguido el sistema de goteo (7,9%), valores similares a los registrados a nivel nacional (Figura 3). siendo los métodos a presión o presurizados los más empleados.

**Figura 3**

*Sistemas de riego en Colombia*



Fuente: Datos extraídos DANE (2020)

Cabe aclarar que, según el DANE, el sistema de riego artesanal hace referencia a todos aquellos sistemas empleado como mangueras, regaderas, baldes, entre otros.

### **Sistema de riego por aspersión.**

Este sistema simula una precipitación natural sobre los cultivos con la mayor uniformidad posible, siendo distribuido mediante tuberías a presión cubriendo gran parte de los cultivos mediante la empleabilidad de aspersores, la aplicación del recurso se hace a fin de que esta tenga la capacidad de infiltrarse sin producir escorrentía, permitiendo ser usado en todo tipo de terreno y con una capacidad de ahorro del recurso (DANE, 2016). La tabla 8, evidencia ventajas y desventajas del sistema.

**Tabla 8**

*Ventajas y desventajas del sistema de riego por aspersión*

Ventajas	Desventajas
- Adaptable a cualquier tipo de topografía	- Requiere una alta presión para su funcionamiento.
- Se puede colocar sobre plantas o suelo	- Perdida de agua con altas velocidades de los vientos
- Permite la fertirrigación.	- Perdida de agua por evaporación
- Sistema controlado por el usuario en tiempo y cantidad del recurso	- Obstrucciones en el sistema

Fuente. Adaptado de FAO (2002b) y Demin (2014)

### **Sistema de microaspersión.**

Su funcionalidad es similar al sistema de aspersión, empleando micro aspersores, este sistema es recomendado usarse en frutales, hortalizas y cultivos de porte bajo. Es una tecnología recomendable para zonas secas o semihúmedas (Tabla 9).

**Tabla 9**

*Ventajas y desventajas del sistema de riego de microaspersión*

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

---

- Adaptable a cualquier tipo de topografía	- Requiere presión suficiente para su funcionamiento.
- Facilidad de acceso a los materiales	
- Bajo costo, está al alcance de productores pequeños	- Taponamiento por obstrucciones en el agua.
- Facilidad de operación del sistema	- Aumento de salinidad en la zona radicular bajo inadecuadas condiciones del diseño
- Distribución uniforme.	- Mala distribución del recurso, humedece entre un 30 -60%
	- Susceptible a daños externos debido a su exposición
	- Alto costo inicial por cantidad de accesorios externos
	- Conocimiento del operador para obtener los niveles máximos de automatización

---

Fuente. Adaptado de Martínez (2013), Arango (2002) y Cardona (2018).

### **Sistema de riego por gravedad.**

Es la modalidad tradicional, este método permite extraer el agua de la fuente superficial, siendo conducida por diversos canales basado únicamente en la gravedad, los cuales abastecen las parcelas individuales, el tiempo depende del porcentaje de inclinación del área a regar, y su diseño hace que el sistema sea impreciso y desigual en la distribución, requiriendo una mayor demanda del recurso por unidad de superficie, ocasionando una eficiencia baja en la distribución y un gasto elevado del recurso hídrico, a su vez, su implementación puede ocasionar encharcamientos, salinización de los suelos y puede requerir subdrenaje aumentando los costos de su implementación (Tabla 10) (Carrazón, 2007; Díaz; 2006).

#### **Tabla 10**

*Ventajas y desventajas del sistema de riego por gravedad*

Ventajas	Desventajas
- Bajo costo de inversión	- No proporciona un suministro de agua uniforme y constante
	- Rendimiento bajo
	- No permite la automatización ni fertirrigación.
	- Problemas de anegamiento y salinización

Fuente. Adaptado de FAO (2002b)

### **Sistema de riego por goteo.**

Sistema también conocido como riego localizado, este método de irrigación consiste en la aplicación de agua en gotas de forma constante cerca de la planta, reponiendo el agua consumida los días previos (Demin, 2014), permite una adecuada aplicación del recurso, controlando tanto la cantidad como la zona de influencia, mediante un sistema de tuberías y emisores (Sistemas de riego, 2016).

Este sistema es recomendado principalmente para cultivos de frutales, sin embargo se puede usar en casi en todos los cultivos y cualquier condición climática, no requiere técnicas de nivelación de tierras, presentando una alta adaptabilidad a terrenos irregulares, así mismo facilita la aplicación de fertilizantes y otros agroquímico, disminuye el control de arvenses y enfermedades por causa de suelos saturados, puesto que entrega el volumen justo para cada planta, logrando una alta eficiencia de riego y reduciendo a gran escala la evaporación del agua (Tabla 11) (Arango, 2002).

### **Tabla 11**

*Ventajas y desventajas del sistema de riego de goteo*

Ventajas	Desventajas
----------	-------------



- 
- |   |  |
|---|--|
| - Mantiene humedad óptima, uniforme y una adecuada aireación.                       | - Alto costo de instalación  |
| - Aplicado a terrenos con pendiente sin causar erosión.                             | - Mano de obra para el proceso de instalación incluyendo personal capacitado |
| - Distribución uniforme del recurso hídrico   | - Requiere un agua limpia, evitando la generación de obstrucciones.          |
| - Aprovechamiento del recurso por la planta.  | - Requiere un buen tratamiento y control.                                    |
| - Bajas pérdidas por evaporación  | - No se puede usar en cultivos con grandes poblaciones de plantas.           |
| - Adaptable a aplicación de fertirriego.  | - Necesita un sistema de presión adecuado para su distribución               |
| - Adecuado control de la cantidad de agua   |  |
| - Reduce la salinización de los suelos.   |  |
| - Reduce costos de control de malezas   |  |
| - Reduce el ataque de plagas y enfermedades, porque no existe exceso de humedad.    |  |
| - Permanencia de las calles secas   |  |
| - Ahorro de mano de obra al no existir control de malezas y movimiento de tuberías. |  |
| - Materiales livianos y de fácil transporte   |  |
- 

Fuente. Adaptado de Martínez (2013), Arango (2002), FAO (2002) y FAO (2002b)

### **Eficiencia de aplicación de los sistemas.**

En referencia al riego, hay dos aspectos fundamentales en que la innovación ha jugado un papel importante para el buen aprovechamiento del agua: su captura y almacenamiento, que evitan el desperdicio de las escorrentías y el drenaje de las tierras, que elimina la acumulación de cantidades excesivas de agua y evita el daño de los cultivos y los suelos (IICA, 2015). En este sentido, es importante recalcar que en el análisis de alternativas se tenga claro cuales tecnologías son más aptas para cada ecosistema, cultivo, escala de operación y condiciones económicas de los productores.

Por su parte el IDEAM (2018), contempla diversos percentiles de eficiencia sistema de riego (Tabla 12), entendiendo eficiencia de riego como el porcentaje de agua que ingresado a un área es realmente utilizado por el cultivo (Arango, 2002).

**Tabla 12**

*Eficiencias para sistemas de riego en Colombia*

<b>Tipo de riego</b>	<b>Eficiencia de riego (%)</b>
Aspersión	75
Gravedad	50
Goteo y aspersión	90
Aspersión y gravedad	60
Aspersión y goteo	75
Gravedad y aspersión	65
Sin información	70

Fuente: IDEAM (2018)

### ***Análisis de los sistemas de riego***

Para programar un sistema de riego se debe tener en cuenta las condiciones climáticas, características del cultivo, suelo y el sistema a implementar (Ferreyra et al., 2007), así mismo, el garantizar los requerimientos hídricos del aguacate incrementa la producción y tamaño de los frutos, mejorando a su vez el aspecto del árbol, no obstante, un mal sistema puede perjudicar no solo al cultivo sino al suelo, disminuyendo su producción y por ende su beneficio económico.

De acuerdo con diversas investigaciones (Yenesew y Tilahun, 2009; Silungwe, Mahoo y Kashaigili, 2010; Varughese y Habeeburrahman, 2015), el riego por goteo es una de las formas

preferidas por su alta eficiencia (90-95%), es de amplia aceptación e incrementa la productividad del agua, aún en condiciones de escasa disponibilidad del recurso.

Acorde a los requerimientos del cultivo de aguacate y según estudios realizados por Bender y Sakovich (1988) y Gustafson (1982), los sistemas de riego de aspersion o microaspersion resultan tener una menor eficiencia de riego (35%) respecto al sistema por goteo, debido a exposicion al viento y ramas bajas, aumentando el crecimiento de las malezas, no obstante, la calidad del agua para este sistema debe ser alta evitando obturaciones en el sistema.

Además el ICA (2012), Dorado et al. (2017) y Netafim (2020), recomiendan que la implementacion de un riego por goteo o localizado resulta ser el sistema más efectivo para el cultivo de aguacate, puesto que con la definicion de una lámina de riego adecuada acorde a las características de la zona del cultivo y su fenología, mejora significativamente los niveles de produccion y reduce el consumo hídrico, manteniendo una humedad optima, uniforme y una excelente aireacion aspectos fundamentales para el cultivo. La implementacion de las tecnologías permite hacer un uso racional del recurso, al aplicar solo el volumen requerido en el momento y frecuencia apropiada (Pérez et al., 2009).

El estudio realizado por Dorado et al. (2017), "*Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (Persea americana) variedad Hass*", ejecutado en los municipios de Herveo (Tolima), Rionegro (Antioquia) y Morales (Cauca) zonas productoras de alta importancia en Colombia, evidencia que la caracterizacion de las condiciones edafoclimáticas y fisiológicas de la zona, es esencial para generar un adecuado sistema de riego y obtener una eficiencia del uso del agua.

El estudio dio como resultado una demanda hídrica diversa para cada municipio el cual oscilo entre 2,9-3,7 mm/día para la etapa de produccion, afirmando que la demanda hídrica del

cultivo depende de las condiciones edafoclimáticas y botánicas, además en términos económicos obtuvo que una lámina de 0,75 ETo puede tener un ahorro del agua hasta del 36%, sin afectar negativamente su rendimiento. Además, se observó una alta resiliencia a fenómenos como El Niño, resultando que la adecuada implementación del sistema por goteo presente una alta efectividad, dando mayor grado de seguridad a los productores y su economía.

Es así como el riego por goteo, cumple con ciertos parámetros básicos que propone la FAO (2002) para la eficiencia de riego, las cuales implican la reducción de filtraciones de los canales, reduce la evaporación, evita un riego excesivo, controla las malas hierbas en las fajas de los cultivos y a su vez las mantiene secas, y genera riegos con la cantidad correcta del recurso evitando déficits de humedad.

En conclusión, la aplicabilidad del sistema de gravedad o superficie ocasiona pérdidas considerables del recurso, si bien presenta un costo muy bajo de aplicación, trae consigo una serie de problemas tanto para la planta como para el suelo.

Por su parte, el sistema de riego por aspersión presenta una buena eficiencia del sistema, sin embargo, genera altas pérdidas por evaporación, generando el crecimiento de malezas e incrementando la mano de obra para su adecuación, así mismo, requiere la presencia de operadores para su manejo y verificación del sistema, también incrementa la presencia de plagas y enfermedades al humedecer tanto hojas como el tronco de la planta.

Los sistemas de riego con microaspersores aporta un adecuado recurso a la planta, sin embargo, la carencia de un manejo apropiado trae consigo problemas de salinización en el sistema radicular, característica química a la cual el aguacate presenta una alta sensibilidad

afectando considerablemente su desarrollo (Alarcón et al., 2012), además ocasiona humedad en el tronco lo cual puede traer consigo problemas fitosanitarios.

El sistema de riego por goteo genera un aporte adecuado al cultivo de aguacate, el cual al presentar un uso tecnificado incrementa los niveles de producción del cultivo, generando una alta eficiencia del recurso hídrico y disminuye su demanda, también, reduce la mano de obra al evitar el crecimiento de maleza conexas al cultivo y la presencia de plagas y enfermedades, además, requiere una menor presión en el sistema en comparación a los sistemas de aspersión y microaspersión, posicionándolo como el sistema más adecuado para el cultivo.

### **Impacto socioeconómico y ambiental del mal uso agua de irrigación en la agricultura convencional**

La creciente de la demanda alimentaria es una de los principales problemas del sector agrícola, según la FAO (2013), se prevé para el año 2050 un aumento considerable de la población requiriendo un 70% de la producción alimentaria registrada para el año 2009, aumentando respectivamente las necesidades de riego. El crecimiento demográfico y económico implica una mayor demanda del recurso, relacionada no solo con necesidades agrícolas sino a los demás servicios como el consumo doméstico, industrial entre otros, los cuales, al aumentar sus actividades, aumentan la contaminación en el recurso.

Problemas como la escasez del recurso hídrico ya son una realidad enfrentada constantemente tanto en zonas áridas como en áreas con precipitaciones abundantes (Daccache et., 2012). Para Colombia, la distribución del recurso es desigual y particularmente en las áreas hidrográficas Magdalena – Cauca y Caribe, donde se encuentra asentada cerca del 80% de la población, pero esta solo contiene el 21% de la oferta hídrica total, sumado a esto es considerada como una de las zonas de mayor producción agrícola demarcando aún más la problemática

(FAO, 2015; IDEAM, 2018), lo cual posiciona a la escasez hídrica como una de las principales problemáticas ambientales que presenta no solo el país sino el mundo en general.

El sector agrícola emplea un gran porcentaje de la demanda hídrica total, requiriendo que el 46% de las áreas cultivables del mundo demanden irrigación (Valipour, 2013), generando una huella hídrica considerable, recurso el cual en ciertas ocasiones es despilfarrado y con un uso poco significativo.

La agricultura de regadío ocasiona una alta extracción de recursos, ocasionando pérdidas de biodiversidad particularmente en humedales (FAO, 2002), además gran parte de los recursos hídricos son desperdiciados mediante los diferentes métodos o sistemas de riego empleados, según la FAO (s.f), se llega a desperdiciar cerca de un 60% del agua captada, del cual un 25% se pierde en la aplicación en el terreno, por evaporación improductiva, escurrimiento, un 15% en los canales de distribución debido a filtraciones, escapes, y un 15% acorde al sistema de riego empleado, es decir tan solo un 45% del agua extraída llega directamente a los cultivos.

Aspectos como las filtraciones ocasionan deterioros de la calidad del agua y suelo, las filtraciones profundas generan movimientos de sales del suelo hasta áreas profundas donde la planta no puede alcanzarlas, así mismo se puede generar la filtración de productos fitosanitarios afectando aguas subterráneas. Por otra parte, el excesivo uso de riego puede erosionar el suelo, eliminando las capas fértiles del suelo, además el arrastre de sedimentos puede contaminar fuentes hídricas y sus estructuras, estos efectos traen consigo la degradación de los suelos agrícolas como de su entorno (Iberf, 2019).

Además, el exceso de agua en los sistemas de riego puede ocasionar problemas de anegamiento, reduciendo la productividad de los cultivos considerablemente; los productos químicos empleados en estas prácticas contaminan tanto la escorrentía superficial como aguas

subterráneas, caso de ello es el potasio y nitrógeno aplicado mediante fertilizantes, el cual puede ser lixiviado y producir la proliferación de algas y eutrofización de los cuerpos de aguas, las aguas eutróficas generan problemas de taponamiento en los sistemas de riego afectando la vida útil del sistema (FAO, 2002; Tartabull y Betancourt, 2016).

Sumado a esto el cambio climático ha ocasionado variaciones en los patrones de lluvia y humedad del aire, con excesos de precipitaciones ocasionando daños en los cultivos y en la fertilidad del suelo, particularmente a finales del ciclo productivo el daño puede ser elevado (Ala metal., 2012)

Todos estos efectos en la agricultura, traen consigo problemas sociales y económicos, muchos países presentan la obligación de pagar por el agua consumida a nivel agrícola y a su vez la contaminación ocasionada al medio (FAO, 1993), por ende el mal uso del riego y el derroche del recurso ocasiona un incremento en la producción agrícola además de afectar el entorno y la seguridad alimentaria.

Cada uno de estos factores ocasiona un gran riesgo en la seguridad alimentaria, el valor creciente del agua, su escasez y calidad del recurso, divisa al agua como un recurso estratégico, intensificando la frecuencia de conflictos tanto a nivel local, regional como internacional, presentando que en la actualidad este recurso considere ser tratado como un bien económico.

Se requiere que los sistemas agrícolas optimicen el rendimiento de los productos, en función de un menor consumo de aguas y nutrientes, minimizando la producción de gases de efecto invernadero y degradación ambiental mediante la pérdida de nutrientes y plaguicidas. (Clough, 2011). Los gobiernos y el sector privado incluyendo los agricultores son agentes claves para la adopción de prácticas sostenibles y la adecuada gestión de tierra y agua, necesarias para

contrarrestar y mitigar estos impactos, siendo el conocimiento una de las principales herramientas para emplear practicas adecuadas (FAO, 2011).



## Conclusiones

Cada uno de los sistemas de riego encontrados a nuestra disposición pueden ser muy eficaces en el momento de su función, pero no los más eficientes con respecto al recurso hídrico y sus ecosistemas, siendo este el objetivo del trabajo, encontrar el sistema de riego más eficiente con el recurso hídrico.

La calidad del agua de riego en los sistemas agrícolas afecta la planificación y el sistema de regadío, considerando que gran parte de los nutrientes para las plantas se encuentran en el suelo en forma de sales que disueltas por el agua pueden ser absorbidas, determinando que cuando la concentración de sales solubles en el suelo es normal no suelen existir problemas para que el cultivo se desarrolle correctamente, sin embargo, cuando es excesiva el crecimiento puede verse afectado.

En sistemas de irrigación, el uso de aguas de riego salinas supone el riesgo de salinizar el suelo y en muchos casos provocar una disminución en la producción del cultivo, además otros problemas importantes que pueden ocasionarse son toxicidad para las plantas, infiltración del agua en el suelo y obturaciones en sistemas de riego localizado.

Para el cultivo de aguacate parámetros como conductividad eléctrica, total de sólidos en solución, sodio, cloruros, boro y la relación absorción sodio en la calidad del agua resultan ser primordiales en su medición, puesto que al sobrepasar los límites presentan una variabilidad de efectos sobre el cultivo, perturbando su crecimiento, desarrollo y producción.

La implementación de un sistema de irrigación es necesaria para el manejo integrado del cultivo, el agua y suelo, además, la definición del sistema a implementar está ligada a factores edafoclimáticos de la zona, el cultivo el cual va a ser tratado y la demanda hídrica requerida.

Las investigaciones realizadas por diversos autores revelaron que el sistema por goteo o localizado resulta ser el método más efectivo para el cultivo de aguacate, en términos de producción y eficiencia de riego, así mismo una lámina de agua elevada no garantiza una mayor producción, siendo esencial la evaluación de la zona del cultivo para determinar cantidad, durabilidad y definición de las áreas en las cuales implementar el sistema.

El cultivo de aguacate en Colombia presenta un área de expansión propicia para su desarrollo principalmente en la región Andina, siendo sustancial una mayor apropiación y manejo integrado de los recursos, teniendo en cuenta lo anterior un adecuado sistema de riego proporciona estos requerimientos y a su vez aumenta los niveles de producción y una mayor generación de ingresos para los productores.

El manejo integral del recurso hídrico, es una necesidad que requiere una atención primordial, este recurso presenta altos problemas de escasez, un aumento constante de la demanda hídrica y consecuentemente diversas afectaciones a nivel económico, social y ambiental, siendo la seguridad alimentaria una de las principales actividades afectadas y al ser la agricultura el principal sector con mayor porcentaje de requerimientos hídricos es ineludible implementar prácticas, técnicas y tecnologías que permitan un adecuado y uso eficiente del agua.

## **Recomendaciones**

Para el cultivo de aguacate o cualquier frutal es importante implementar un sistema de riego por goteo, el cual adapte el resultado obtenido del análisis del recurso hídrico y la evaluación de parámetros edafoclimáticos de la zona, lo cual permite un aumento de la productividad del cultivo, aumento en la generación de ingresos y genera una mayor apropiación de los recursos.

El manuscrito “Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en zonas productoras de Colombia”, investigación desarrollada por Dorado et al. (2017), resulta ser un insumo relevante para los productores respecto a la definición de los sistemas de riego en el país, estableciendo una metodología práctica para la implementación del sistema de goteo en el cultivo de aguacate en el país

## Referencias

- Alam, M.M., Siwar, C., Toriman, M.E., Molla, R.I. y Talib, B. (2012). Climate change induced adaptation by paddy farmers in Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(2), 173-186.
- Andriani, J. (2009). Impacto del agua de riego sobre las propiedades químicas del suelo. *Inta ee Oliveros*
- ANT. (2018). Programa de ahorro y uso eficiente del agua. Agencia Nacional de Tierras.
- Arango, J. (2002). Aspectos fundamentales de los sistemas de riego. Universidad Nacional de Colombia.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO irrigation and drainage paper.
- Barrientos, A. F. y López, L. (1998). Historia y genética del aguacate. Centro de Investigaciones científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México [cictamex].
- Bender, G. S. (1988). Avocado Research; a Progress report. *California Grower*, 12(7): 21-25
- Bernal, J. E. (2016). Estudios ecofisiológicos en aguacate cv. Hass en diferentes ambientes como alternativa productiva en Colombia (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Betancourt, C., Tartabull, T., y Labaut, Y. (2017). El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista científica Agroecosistemas*, 5 (2), 40-54. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

- Bonet, C. y Ricardo M. (2011). Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 19-23.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542011000300003&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000300003&lng=es&tlng=es)
- Branson, R. L. y Gustafson, C. D. (1972) Irrigation water--a major salt contributor to avocado orchards. *California Avocado Society Yearbook* 55 56-60.
- Cadena, M. (2018). Gestión del agua para riego en prácticas de agricultura desde la complejidad ambiental. (Tesis de postgrado). Fundación Universidad de América. Bogotá D.C, Colombia.
- Cardona, A. O. (25 de julio 2018). Las ventajas de los sistemas de riego más usados en el mundo para los cultivos. *Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/tecnologia/cuales-son-los-tipos-de-sistemas-de-riego-para-los-cultivos-2751849#>
- Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Carvajal, A. L. e Ibáñez, S. V. (2015). Evaluación de cinco técnicas de riego presurizado para el manejo y aprovechamiento eficiente del agua en el Municipio de Subachoque, Cundinamarca (Tesis de pregrado). Corporación universitaria Minuto de Dios, Bogotá, Colombia.

- Castellón, J.J., Bernal, R., Hernández, M.L. (2014). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*. 19(1). 39-50.  
<https://www.redalyc.org/pdf/467/46750924004.pdf>
- CEDRSSA. (2014). El agua, uso racional y eficiente. Centro de Estudio para el Desarrollo Rural Sostenible y la Soberanía Alimentaria.
- CLAC. (2017). Manual de Uso Sostenible del agua por productores de comercio justo. Coordinadora Latinoamericana y del Caribe de Pequeños Productores y Trabajadores de Comercio Justo.
- Clough, T. (2011). *New Zealand Journal of Agricultura Research*. Taylor & Francis Gropu 54:4, 217-219. <https://doi.org/10.1080/00288233.2011.632353>
- Colombia. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia.
- Congreso de Colombia. (2020). Última actualización de la ley 1731 del 2014.  
[http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1731\\_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1731_2014.html)
- Daccache, A., Keay, C., Jones, R.J.A., Weatherhead, E.K., Stalham, M.A., y Knox, J.W. (2012). Climate change and land suitability for potato production in England and Wales: impacts and adaptation. *Journal of Agricultural Science*, 150(2), 161–177.
- DANE. (2016). 3er Censo Nacional Agropecuario. Hay campo para todos. Tomo 2. Resultados. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

- DANE. (2020). Riego Cultivos frutales. [Archivo Excel]. Encuesta nacional agropecuaria (ENA). Históricos. Periodo 2019-I Semestre. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://n9.cl/doq6a>
- Decreto 1090. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República de Colombia 28 de junio de 2018.
- Decreto 1541. Ministerio de Agricultura. República de Colombia. 26 de julio de 1978.
- Demin, P. E. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Díaz, J. E. (2006). Riego por gravedad. Universidad del Valle.
- Domingo, R. (2017). La calidad agronómica de las aguas de riego. Apuntes de la asignatura: Bases de la Producción Vegetal. <https://georgiusm.files.wordpress.com/2017/12/tema-8-calidad-agronc3b3mica-del-agua-de-riego.pdf>
- Dorado, D., Grajales, L. C., Reyes, H. M., y Rebolledo, A. (2015). Uso eficiente del agua en la producción de aguacate Hass. *Suelos Ecuatoriales*, 45(1): 31-35.
- Dorado, D., Grajales, L. C., y Rebolledo, A. (2017). Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en zonas productoras de Colombia. Mosquera, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. [Corpoica].
- Durand, B.J. y Du Plessis, S.F. (1990). Irrigation of Avocado Orchards Farming in South África. 2p (Avocados F. 1.).

- Echeverría, R. J. (2020). Requerimiento hídrico del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana en etapa de vivero bajo condiciones controladas en Tolúviejo, Colombia. (Tesis de posgrado). Universidad de Córdoba.
- FAO. (1993). Los problemas del agua y la agricultura. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje – 55.
- FAO. (2002). Agua y cultivos. Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO (2002b). El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. Dirección de Producción y Protección Vegetal, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2004). Política de desarrollo agrícola. Conceptos y principios. Norton, R y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Mundi-Prensa.
- FAO. (2014). Building a common vision for sustainable food and agriculture, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.



- FAO. (2015). Perfil de País – Colombia. AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2015b). Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles. Principios y Enfoques. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2016). Evaluación de los Recursos Hídricos Renovables. FAO: Global Water Information System. [http:// www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm)
- FAO (s.f.). Mal manejo del riego: amenaza para los suelos, el agua y la seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/FOCUS/S/SpecIPr/spro13-s.htm>
- García, A (2012). Criterios modernos para la evaluación de calidad de agua para riego (Primera parte). IPNI Canadá. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- González, L. (2016). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. *Mente y Materia*, 4(1), 12-13.
- Gregory, P.J. (2012). Soils and food security: challenges and opportunities. En Hester, R.E., & Harrison, R.M. (Eds.). *Soils and Food Security*. <http://dx.doi.org/10.1039/9781849735438>
- Gustafson, C. (1982). Management of drip irrigation systems (part 1). *Avocado Grower* 6(12). 55-56, 58.

- GWP. (6 de septiembre de 2017). Bienvenida Colombia a GWP. Global Water Partnership.  
<https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/EN-ACCION/GWP-en-las-noticias/2017/bienvenida-colombia-a-gwp/>
- Iberf. (4 de julio de 2019). Impactos ambientales de la agricultura de regadío.  
<https://agro.iberf.es/impactos-ambientales-agricultura-regadio/>
- IICA. (2013). Agua, alimento para La Tierra. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://www.redinnovagro.in/documentosinnov/agua,alimento.pdf>
- IICA (2015). Innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura: documento para ser presentado por la Dirección General del IICA ante la Junta Interamericana de Agricultura (JIA). Interamericano de Cooperación para la Agricultura. [https://www.redinnovagro.in/pdfs/gestion\\_del\\_agua.pdf](https://www.redinnovagro.in/pdfs/gestion_del_agua.pdf)
- IDEAM. (2010). Promedios climatológicos 1981-2010 [Archivo Excel]. Clima. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.  
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>
- IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Intagri. (2018). El cultivo de Aguacate en Latinoamérica: Parte I. México, Colombia y Perú. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. <https://n9.cl/8v7cb>
- Kalpna, R., y Fanish, A. (2014). Microirrigation and fertigation to maize and millates. *Agricultural Reviews*, 35 (2), 103-112.

- Kadasiddappa, M.M., et al. (2017). Effect of irrigation (drip/ surface) on sunflower growth, seed and oil yield, nutrient uptake and water use efficiency. *Agricultural Reviews*, 38(2), 152-158.
- Lamz, A. y González, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362013000400005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005)
- Loboa, J., Ramírez, S., y Díaz, J. (2011). Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en Capas. *Revista de la Escuela Integral de Antioquia*, 16, 29-41.
- Marín, A. V. (1996). Diseño e implementación de riego tecnificado en un huerto de Paltos y cítricos en la localidad de Mallarauco. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Chile.
- Martínez, M. A. (2013). Tecnologías para el uso sostenible del agua: una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático. Asociación mundial para el agua, capítulo Centroamérica (GWP) y Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO).
- Metroflor. (2018). Origen y calidad de agua para riego. Metroflor La actualidad técnica de la floricultura colombiana. <http://www.metroflorcolombia.com/origen-y-calidad-de-agua-para-riego/>
- MINAGRI, (2015). Manuel del Cálculo de Eficiencia para Sistema de Riego. Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego.

[https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Cadena de aguacate, indicadores e instrumentos. Ministerio de agricultura, gobierno de Colombia.

[https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/A1232-Bullets%20aguacate%20Septiembre\\_.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/A1232-Bullets%20aguacate%20Septiembre_.pdf)

Montgomery, L. J. (s.f). Planificación de sistemas de riego y almacenamiento de agua. The world's largest avocados exporter. Camposol.

[http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Seminario\\_Internacional\\_Aguacate\\_HASS/Planificacion\\_sistemas\\_riego\\_almacenamiento\\_agua.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Seminario_Internacional_Aguacate_HASS/Planificacion_sistemas_riego_almacenamiento_agua.pdf)

Olvera, M. D., Bahena, G., Alpuche, O. y García, F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. *Ambiente y Desarrollo*, 18 (35), 23-36.

<http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.trea>

Oster, J. D. (1994). Irrigation with poor quality water. *Agric. Agricultural Water Management*, 25(3), 271-297.

Pangare, V., Pangare, G., Shah, V., Neupane, B., y Rao, P. (2006). Global perspectives on integrated water resources management. Academic Foundation.y World Water Institute.

Pérez, L., Rodríguez, J. A., Camacho, E., y López, R. (2009). Gestión sostenible del agua de riego. *Analistas Económicos de Andalucía*.

- Perfetti, J.J., Balcázar, A., Hernández, A., y Leibovich, J. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Fedesarrollo, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Incoder, Finagro, Banco Agrario.
- Perfetti, J.J, Bravo, B., García, A., Pantoja, J., Delgado, M., Blanco, J., Jara, R., Moraga, C., Paredes, G., Naranjo, J., y González, L. (2019). Adecuación de tierras y el desarrollo de la agricultura colombiana: políticas e instituciones. Fedesarrollo.
- Prat, N. (2017). Andanzas y desventuras de un ecólogo en los juzgados del Reyno. Milenio.  
[http://www.ub.edu/fem/docs/divulgacio/NPrat\\_calidad\\_agua.pdf](http://www.ub.edu/fem/docs/divulgacio/NPrat_calidad_agua.pdf)
- Quintero, J.F., y Vivas, J.J. (2017) Análisis del agua de riego y cambios en parámetros de un suelo salino para el cultivo de caña de azúcar en el Municipio de Cerrito (Valle del cauca). (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Rodríguez. M. (2003). Guía técnica: Cultivo del Aguacate. Centro Nacional de Tecnología agropecuaria forestal – CENTA.
- Romero, T. y Vargas, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. Ingeniería hidráulica y ambiental, 38 (3), 88-100  
<http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha08317.pdf>
- Saha, U., Leticia S., Butcher S., Hawkins G., Porter W y Lessl J. (2015). Irrigation water quality for agricultura. UGA. Extension Bulletin 1448.
- Salazar, R., Rojano, A., y López, I. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Tecnología y Ciencias del Agua. 5(2), 177-183.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222014000200012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000200012&lng=es&tlng=es).

Sarabia, I. F., Cisneros, R., Aceves, J., Durán, H. M., y Castro, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27 (2) 103-113 <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n2/v27n2a2.pdf>

Sela, G. (2016). La calidad del agua de riego. *Smart Fertilizer Software*. <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>

Shalhevet, J. (1999). Salinity and water management in avocado. *Proceedings of Avocado Brainstorming. Salinity Management*. Riverside, CA. Hofshi Foundation. 84- 91.

Silungwe, F.R., Mahoo, H.F., y Kashaigili, J.J. (2010). Evaluation of water productivity for maize under drip irrigation. *Second RUFORUM Biennial Meeting*. Sokoine University of Agriculture, Tanzania.

Sistemas de Riego. (2016). *Sistemas de Riego. Agrícola, goteo, automático. Novedades agrícolas*. <https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego>

Tartabul, T., y Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego, principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Agroecosistemas*, 4(1), 47- <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/75/108>.

Umbría, I., Trezza, R., y Jégat, H. (2009). *Uso, Manejo y Conservación del Agua un Problema de Todos*. *Academia*, 8(14) <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/29775/articulo2.pdf;jsessionid=E AFA2132378D6588638DD55B8430AB28?sequence=1>

- UPRA. (2018). Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.
- Valipour, M. (2013). Necessity of Irrigated and Rainfed Agriculture in the World. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 9, e001.
- Varughese, A., y Habeeburrahman, P.V. (2015). Fertigation and plastic mulching in tomato and brinjal-A review. *Agricultural Reviews*, 36 (3), 246-249.
- Water Monographies. (2015). Agua y Desarrollo Sostenible. AQUAE Fundacion – WCCE.  
[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM\\_IIIESP.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf)
- Whiley et al. (1987). Effect of root temperatures on growth of two avocado rootstock cultivare. Australia, Maroochy Horticultural Research Station ( Report N° 5).
- Wirtgen, J. (2006). Recursos Hídricos. Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. GreenFacts.  
<https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/>
- WWAP. (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO.
- Yenesew, M., y Tilahun, K. (2009). Yield and water use efficiency of deficit irrigated maize in semi-arid region of Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9(8), 50-57. <https://www.ajol.info/index.php/ajfand/article/view/48403>