



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL

Crecimiento verde y agricultura
climáticamente inteligente en el cultivo de

aguacate

(*Persea americana*)



AGROSAVIA
EDITORIAL

Crecimiento verde y agricultura climáticamente inteligente en el cultivo de aguacate (*Persea americana*)

Autores:

Diana Lucia Correa Moreno, Alejandro Jaramillo Laverde, Luis Carlos Grajales Guzmán y Martha Marina Bolaños-Benavides

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. Centro de Investigación Tibaitatá, kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Citación sugerida: Correa Moreno, D. L., Jaramillo Laverde, A., Grajales Guzmán, L. C., & Bolaños-Benavides, M. M. (2022). *Crecimiento verde y agricultura climáticamente inteligente en el cultivo de aguacate (Persea americana)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.

Parte de la información que se presenta en esta publicación se obtuvo de las parcelas de integración del cultivo de aguacate del proyecto “Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático - Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA)”, componente 2: Desarrollo de sistemas de producción resilientes a los impactos de eventos climáticos extremos. Convenio 002 de 2013, financiado por el Fondo Adaptación y ejecutado por AGROSAVIA; de los principales resultados de investigación desarrollados y publicados por investigadores de AGROSAVIA, correspondiente en el programa Manejo integrado del cultivo de aguacate (*Persea americana*) var. Hass para incrementar la calidad y el rendimiento en zonas productoras de Colombia, Convenio 1790, financiado por Colciencias mediante el contrato rc 0196-2012; así como de las Ofertas Tecnológicas (OT) generadas por AGROSAVIA y sus aliados que fueron financiados con recursos públicos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia.

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Dirección editorial

Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición de contenidos

Valentina Ramírez-Valencia

Corrección de estilo

Felipe Solano Fitzgerald

Realización gráfica e ilustración

María Cristina Rueda Traslaviña y Wilson Martínez Montoya

Fotografía

Diana Lucia Correa, Alejandro Jaramillo, Alejandra Angarita, Luis Carlos Grajales,

Sebastián Polo, Ana María Trejos.



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

CONTENIDO

Introducción

Descripción general del sistema productivo

1. Tecnologías orientadas al crecimiento verde en cultivos de aguacate (*Persea americana*)

1.1 Prácticas para la protección del capital natural como base para el desarrollo de las actividades productivas.

1.1.1 Conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal

1.2 Prácticas para maximizar la eficiencia en el uso de los recursos en las actividades productivas.

1.2.1 Uso eficiente del recurso hídrico para irrigación del cultivo.

1.2.2 Manejo eficiente de la fertilización en cultivos de aguacate.

1.2.3 Manejo integrado de plagas (MIP)

1.3 Fortalecer la adaptación a la variabilidad y al cambio climático.

1.3.1 Plan de manejo agroclimático integrado (PMAI) para el cultivo de aguacate.

Consideraciones finales

Referencias

Glosario

AGRADECIMIENTOS

Los autores y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, agradecen:

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación con recursos públicos de esta obra.

A la Dirección de Planeación y Cooperación Institucional; Dirección de Investigación y Desarrollo y al Departamento de Producción Intensiva Sostenible de AGROSAVIA, por priorizar este sistema productivo en el análisis de estrategias para implementar las políticas de Crecimiento Verde.

A los investigadores, profesionales de apoyo y asistentes de investigación, participantes en el proyecto “Reducción del riesgo y adaptación al cambio climático – MAPA (Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática), financiado con recursos del Fondo Adaptación” y contrapartida de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)” por su contribución conceptual; y en especial a los agricultores y equipo técnico del proyecto MAPA de los Centros de investigación Nataima, La Suiza y Palmira de AGROSAVIA, que apoyaron actividades de validación de opciones tecnológicas en las parcelas de integración de cultivos de aguacate en los departamentos de Tolima, Santander y Cauca.



INTRODUCCIÓN

El crecimiento verde tiene como objetivo fomentar el desarrollo económico asegurando que los bienes naturales continúen proporcionando recursos y servicios ambientales de los cuales depende nuestro bienestar. Para lograrlo, debe catalizarse inversión en innovación como base del crecimiento sostenido y apertura a nuevas oportunidades económicas (OCDE, 2011); por lo tanto, el crecimiento verde no se concibe como un reemplazo del desarrollo sostenible, sino que debe considerarse un complemento de éste.

A diferencia del desarrollo sostenible, el alcance del crecimiento verde es más estrecho e implica la aplicación de políticas que pueden ayudar a obtener un avance concreto y mensurable en la interacción de la economía y el medio ambiente. Brinda un enfoque fuerte en el fomento de las condiciones necesarias para la innovación, la inversión y la competencia que pueden hacer surgir nuevas fuentes de crecimiento económico, consistentes con los ecosistemas adaptables (OCDE, 2011).

El crecimiento Verde promueve un modelo de desarrollo económico sostenible que busca generar un bienestar económico y social de todos los ciudadanos de las generaciones actuales y futuras, afrontando de manera simultánea tres grandes retos (Alarcón, 2016):

- Generar la creación de novedosas y modernas economías que se basen en tecnologías limpias.
- Garantizar la conservación y uso sostenible de los recursos naturales.
- Fomentar el desarrollo y reducción de la pobreza.

La economía del país se basa en el uso intensivo de los recursos naturales y depende en gran parte de ellos para su desarrollo, esta situación incrementa la vulnerabilidad a amenazas ambientales y al cambio climático, por lo tanto, es fundamental armonizar las necesidades de corto plazo con el apoyo de planes a largo plazo que logren evitar costos ambientales que pueden ser irreversibles (Alarcón, 2016).

En este marco, Colombia cuenta con la política de crecimiento verde (CONPES 3934, 2018), la cual incorpora como elemento transversal el cambio climático y sus acciones contribuyen a la mitigación y adaptación del cambio climático. Entre sus objetivos se incluyen:

1. Generar condiciones que promuevan nuevas oportunidades económicas basadas en la riqueza del capital natural;
2. Fortalecer los mecanismos y los instrumentos para optimizar el uso de recursos naturales y energía en la producción y en el consumo;
3. Desarrollar lineamientos para constituir capital humano para el Crecimiento Verde;
4. Fortalecer las capacidades de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) para el Crecimiento Verde y;
5. Mejorar la coordinación interinstitucional, la gestión de la información y el financiamiento para la implementación de la Política de Crecimiento Verde a largo plazo.

Este manual se plantea como contribución de Agrosavia para la presentación de tecnologías que permiten mejorar el desempeño del sector agropecuario, para la gestión eficiente de recursos naturales, fortalecer la adaptación a la variabilidad y el cambio climático y motivar la transición hacia una economía sostenible.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO

El origen del aguacate se registra entre Centroamérica y la zona norte de Suramérica y su domesticación se dio entre México y Guatemala (Galindo-Tovar, et al., 2013). Pertenece a la familia Lauraceae, del género *Persea* con más de 85 especies, distribuidas en todo el continente americano, siendo la especie *P. americana* la de mayor distribución a nivel mundial (Barrientos-Priego, 2010).

A nivel mundial, Colombia es el segundo productor de aguacate con una producción de 876.754 t/año, detrás de México, principal productor de aguacate en el mundo (2.393.849 t/año) y seguido por República Dominicana (676.373 t/año) (FAOSTAT, 2020).

En Colombia, el área total establecida para el 2020 fue de 87.791 ha y se proyectó para el 2021 un incremento de 4.908 ha, lo que implica un área total sembrada de 92.699 ha (DANE, 2019; SIOC-MADR 2021). En cuanto a rendimiento, el promedio alcanzado para el 2020 fue de 10 t/ha, siendo el departamento de Caldas el de mayor rendimiento (11 t/ha), pero el que mayor aporta a la producción nacional es Antioquia con un 23%, seguido por los departamentos de Caldas y Tolima que representan el 30% de la producción nacional (DANE, 2019; SIOC-MADR, 2021). Aproximadamente el 34% del total de área sembrada de aguacate en el país corresponde a aguacates de la variedad Hass y el 76% restante corresponde a aguacates criollos y aguacates tipo papelillo como: Lorena, Choquette, Booth 8 y Trinidad, concentrados principalmente en la Región Andina del país (SIOC-MADR, 2021).

El aguacate se adapta desde 0 a 2500 m.s.n.m., dependiendo de la variedad, lo que favorece su distribución en gran parte de pisos térmicos existentes en Colombia, (Ríos-Castaño, et al., 2005). Así mismo, para el establecimiento del cultivo se requiere precipitaciones medias anuales entre 1000 y 2000 mm distribuidos uniformemente en el año, temperaturas entre 15 °C y 30 °C y humedad relativa entre 75 y 80%. En cuanto a suelos es preferible establecer el cultivo de aguacate en suelos con profundidad efectiva mayor a 80 cm, con pH ligeramente ácido a neutro (5.5 – 7), contenidos medios de materia orgánica y bajo riesgo a la salinidad; se requiere además suelos bien drenados, con textura franca o ligera, por lo tanto, en suelos con alto contenido de arcillas se debe propender por mejorar la aireación del suelo y la construcción de drenajes (Bartolli, 2008).

En las diferentes zonas de producción de aguacate del país, tales como: Antioquia, Caldas, Santander, Tolima, entre otras, se han establecido diferentes flujos de crecimiento del cultivo, teniendo en cuenta las características edafoclimáticas y las variedades establecidas en cada región (Bernal y Díaz, 2020). En este sentido, los flujos de floración de la cosecha principal ocurren entre los meses de febrero y mayo, regulado por la época de déficit hídrico en las zonas de producción y la cosecha sucede entre los meses de octubre a enero (Jaramillo et al., 2016). En el caso de que el ciclo productivo coincida con fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, los flujos fenológicos se ven afectados llegando a retrasarse la cosecha entre 4 a 8 semanas, lo que hace importante tener el conocimiento necesario para realizar manejo climáticamente inteligente del cultivo que permite disminuir los efectos de la variabilidad climática sobre el comportamiento productivo del aguacate en Colombia.

1. Tecnologías orientadas al crecimiento verde en cultivos de aguacate (*Persea americana*)

El crecimiento verde es un enfoque que busca fomentar la producción y desarrollo económico, al mismo tiempo que asegura que los bienes naturales continúen proporcionando recursos y servicios ambientales de los cuales depende el bienestar de las personas (OCDE, 2011). Este enfoque que busca disminuir el impacto que las actividades económicas generan sobre el ambiente, se basa en la gestión eficiente de los recursos naturales y la sostenibilidad a largo plazo.

Las tecnologías orientadas al crecimiento verde conciernen a recursos tecnológicos o procedimientos de manejo para contribuir a la solución de dificultades o al mejoramiento en procesos de desarrollo, producción, distribución y consumo de bienes y servicios buscando beneficios técnicos y ambientales. La OCDE las denomina innovación verde o eco innovación y su característica fundamental es que son innovaciones que reducen o eliminan el impacto ambiental de la tecnología disponible o sistema en el que se encuentren, a través del incremento en la eficiencia en el uso de recursos, mejoras en el desempeño y reducción de residuos (BID, 2019).

La producción sostenible de cultivos exige prácticas agrícolas que hagan uso de semillas de buena calidad y materiales de propagación de variedades bien adaptadas, el cultivo de una amplia gama de especies y variedades de cultivos (en asociación, mediante el intercalado o la rotación), el control de plagas a través del manejo integrado de plagas, y la adopción de la agricultura de conservación y la mecanización sostenible para mantener suelos saludables y gestionar el agua eficientemente, a fin de lograr la mayor productividad posible por unidad de insumo dentro de la capacidad de carga del ecosistema (FAO, 2018).

En este sentido, las estrategias de crecimiento verde deben ser lo bastante flexibles como para aprovechar las nuevas tecnologías y las oportunidades, así como capaces de abandonar un enfoque si ya se cuenta con uno mejor. Sin embargo, se considera que cambiar los patrones actuales de crecimiento, los hábitos de consumo, la tecnología y la infraestructura es un proyecto a largo plazo que implica vivir durante algún tiempo con las consecuencias de las decisiones tomadas en el pasado (OCDE, 2011).

1.1 Prácticas para la protección del capital natural como base para el desarrollo de las actividades productivas.

El capital natural engloba todos aquellos procesos e interacciones en un ecosistema que determinan su integridad y resiliencia ecológica, así como los numerosos bienes y servicios para el bienestar humano que la naturaleza genera (Baggethun y de Groot, 2007). Teniendo en cuenta que los riesgos para el desarrollo van en aumento a medida que el progreso económico continúa erosionando el capital natural, y que cada vez es más evidente una mayor escasez de agua, un creciente estrangulamiento de los recursos, una mayor contaminación, cambio climático y una pérdida irreversible de la biodiversidad, el crecimiento verde se hace necesario para disminuir el impacto de estos factores sobre la sostenibilidad de los ecosistemas (OCDE, 2011).

A nivel mundial son varios los esfuerzos y políticas que buscan contribuir a detener el deterioro de los ecosistemas y su capital natural, y que constituyen la base para generación de estrategias para abordar el crecimiento verde, asociado a los desafíos y problemáticas locales identificadas. Ejemplo de ello ha sido el programa de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, siglas en inglés), base de muchas políticas ambientales, dado

que permitió mostrar la importancia que tienen la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas (SE) para el bienestar humano y la necesidad imperativa de adoptar las políticas y acciones pertinentes para contener la degradación de la biodiversidad y de los servicios de los ecosistemas (MEA, 2005).

Esta valoración permitió definir los servicios ecosistémicos, como los bienes o beneficios que las personas obtienen de la naturaleza y clasificarlos de acuerdo a funciones naturales o característica de los bienes suministrados por el capital natural. En términos generales, se establecieron grandes grupos de SE entre los que se incluyen: 1. servicios de provisión como alimentos o agua; 2. de regulación como control del clima, inundaciones o enfermedades; 3. culturales como recreación; o 4. de apoyo como el ciclo de nutrientes (Moros *et. al*, 2020).

Colombia en esta misma dirección, reconoce en la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), el carácter estratégico de la biodiversidad como fuente principal, base y garantía del suministro de servicios ecosistémicos (MAVDS, 2012). Establece, además, entre las estrategias en el mediano y largo plazo la implementación del pago por servicios ambientales (PSA), por su estrecha relación con los SE, como alternativa para la valoración y conservación de bienes y servicios, que los ecosistemas a nivel nacional están en capacidad de suministrar a las comunidades que los rodean y en el ámbito regional.

Los PSA constituyen una de las herramientas contempladas en el marco de crecimiento verde y están definidos como una transacción voluntaria, entre usuarios y proveedores de un servicio ecosistémico, condicional al cumplimiento de unas reglas acordadas para la gestión de tales servicios ecosistémicos, los cuales generan servicios fuera del sitio donde se producen (Wunder, 2015).

Con el fin de promover el cambio hacia el crecimiento verde como una estrategia de desarrollo económico, basado en la gestión eficiente de los recursos naturales y la sostenibilidad a largo plazo, la política de crecimiento verde considera el aprovechamiento del capital natural en concordancia con el principio 2 de la política de crecimiento verde, que considera *Generar nuevas fuentes de crecimiento económico a partir del capital natural que provee bienes y servicios ambientales, que permitan diversificar y dinamizar la economía nacional. A este principio se articula la línea de acción 3. Apalancar recursos económicos desde los sectores público y privado para impulsar la bioeconomía en Colombia*, con el fin de garantizar un aumento en los recursos disponibles para el desarrollo del sector de la bioeconomía en Colombia, apoyado por instituciones como Minciencias, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, y Bancóldex entre otros (DNP, 2018).

Teniendo en cuenta la importancia que representa el suelo para la provisión de servicios ecosistémicos, en este apartado se hace referencia a la conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal, una de las prácticas que favorecen la protección del suelo como capital natural, y que deben implementarse a nivel de zonas de cultivo de aguacate, en aras de permitir la sostenibilidad ambiental y económica en las regiones productoras en nuestro país, en el mediano y en el largo plazo.

1.1.1 Conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal

Conservar el suelo significa utilizar prácticas de protección, estabilización y mejoramiento, de forma que se controle la degradación física, química y biológica del suelo, a la vez que permite el desarrollo de cultivos e incremento de cosechas. Con este fin, se deben usar prácticas de manejo y conservación orientadas a evitar pérdidas y deterioro, basadas en principios de uso eficiente de los recursos suelo y agua, que se deben aplicar en el cultivo de

aguacate.

Considerando que el suelo es el soporte de muchos de los servicios ecosistémicos y biodiversidad del planeta, sobre el cual se ejerce una alta presión para la producción de alimentos, que ha conllevado a la degradación de tierras fértiles en diferentes latitudes, se convierte en foco de atención para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, en sintonía con el crecimiento verde y los objetivos de desarrollo sostenible.

En este contexto, muchos de los servicios de regulación y aprovisionamiento mediados por el suelo, como la producción de alimentos y la purificación del agua, son de relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas (Weigeit et al., 2015).

El ODS 15 busca detener la pérdida de biodiversidad y esforzarse por lograr una neutralidad en la degradación de la tierra; mientras que el ODS 2 tiene como propósito acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible, siendo uno de los indicadores para este objetivo “el porcentaje de tierras agrícolas bajo una agricultura productiva y sostenible”, considerando que el uso de la tierra es insostenible si se mantienen tasas inaceptables de erosión (FAO, 2019).

Algunos efectos de la erosión sobre las funciones y servicios ecosistémicos que provee el suelo son descritos por FAO (2019). Como por ejemplo, efecto en el ciclaje de nutrientes, a través de la pérdida de materiales orgánicos que se depositan en la superficie del suelo; efecto sobre la regulación en el suministro de agua, dado por la disminución en la capacidad del suelo para la infiltración y almacenamiento de agua en superficie; y efecto en la regulación del clima, debido a la traslocación o remoción de carbono orgánico del suelo a otras formas de paisaje y a un posible aumento en las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

Como parte de las practicas recomendadas para la protección y conservación de suelos, el manejo de coberturas vegetales vivas o muertas, consiste en permitir el crecimiento de las especies de plantas acompañantes al cultivo o la incorporación de residuos orgánicos en la superficie. Estas coberturas vegetales ayudan a regular la temperatura y humedad del suelo, y generan ambientes que promueven el incremento de la diversidad de micro, meso y macrobiota ya que son una importante fuente de materia orgánica (Brunel & Seguel, 2011).

Estas prácticas están orientadas a la agricultura de conservación, en concordancia con acciones promovidas por el crecimiento verde, el cual es un sistema de prácticas agronómicas que incluye labranza reducida o no labranza, cobertura orgánica permanente mediante la acumulación de residuos de cultivos, y rotaciones de cultivos, incluidos los cultivos de cobertura (Palm et al. 2014).

En este sentido, el crecimiento verde se apoya a nivel nacional en la Política para la gestión sostenible del suelo (GIAS), a través de la cual se definen los lineamientos para su uso sostenible relacionados con: 1) promover la investigación, innovación y transferencia de tecnología para el conocimiento de los suelos, su conservación, recuperación, uso y manejo sostenible; 2) articular instrumentos normativos relacionados con la gestión del suelo y; 3) adelantar procesos de monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos” (MADS, 2016).

¿Qué hacer para aplicar la conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal en el cultivo de aguacate?

Paso 1. Conocer el territorio donde se ubican los cultivos:

Es necesario conocer el entorno de la finca, con el fin de identificar las bondades y/o

limitantes del relieve, suelos y clima para el sistema de producción de aguacate. Así mismo, se requiere reconocer las zonas aptas para el cultivo de aguacate en la región y las áreas de mayor riesgo climático que favorecen procesos de erosión y pérdida del suelo (figura 1).

Para consultas referentes a las condiciones climáticas y de aptitud de la zona donde se encuentra establecido el cultivo puede consultar información de instituciones como el IGAC, IDEAM y UPRA (<https://geoportal.igac.gov.co/>; <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>; <https://sipra.upra.gov.co/>)

Paso 2. Implementación de actividades en el cultivo para el manejo y conservación de suelos:

Estas actividades se deben implementar desde el establecimiento de los cultivos de aguacate,

¿Cuáles son los aportes de la conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal al crecimiento verde?

Contribuye a mantener la calidad y potencial productivo del suelo a través del manejo sostenible del recurso, favorece el almacenamiento de biomasa en el suelo y humedad en la zona de raíces de la planta y disminuye la pérdida del suelo por erosión hídrica y eólica.

considerando acciones que permitan la protección y sostenimiento en el tiempo de las propiedades del suelo, como por ejemplo el diseño o arreglo de siembra del cultivo siguiendo curvas a nivel según la pendiente, obras de adecuación del terreno y canales de drenaje, establecimiento de barreras vivas y franjas de cultivos, manejo de coberturas en el cultivo y mantenimiento de la fertilidad del suelo, etc. (figura 1).

Permitir la dispersión de arvenses nobles entre surcos del cultivo, y promover el crecimiento e incorporación de abonos verdes en el suelo, constituyen dos mecanismos para mantener el

suelo con protección en la superficie. Entre la arvenses nobles que se han reportado en el país, especialmente en ambientes húmedos en donde el cultivo de aguacate se adapta, se cuentan: Kudzu (*Pueraria phaseoloides*), Desmodio (*Desmodium ovalifolium*), Calopo (*Calapogonium sp*), Frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*), Canavalia (*Canavalia ensiformis*), maní forrajero (*Arachis pintoi*), botoncillo (*Richardia scabra*), golondrina (*Drymaria cordata*), siempreviva (*Commelina diffusa*), hierba de coneja (*Panicum trichoides*), hierba de sapo (*Hyptis atrorubens*), entre otras.

Los abonos verdes son plantas anuales o perennes, con raíces y follaje denso, de porte bajo, rápido crecimiento, que no interfieren con el desarrollo y producción del cultivo, y que se cultivan con el propósito de cubrir el suelo, ofrecer protección y reducir la erosión (Anderson, 1997; Rivera, 2004; Gómez, 1990). Por su parte, las coberturas vegetales muertas (restos de podas y arvenses, hojas y otros restos vegetales), ricas en celulosa también juegan un papel importante en el manejo de enfermedades como las pudriciones

radicales en aguacate, debido a que favorecen la actividad de enzimas que degradan la celulosa que se encuentra en los materiales vegetales de la cobertura tipo mulch, y en la pared celular de patógenos como *Phytophthora cinnamomi*, frecuente en cultivos de aguacate (Quiroga, 2014).

1. Primer paso



Reconocer las zonas aptas para el cultivo de aguacate en la región y las áreas de mayor riesgo climático que favorecen procesos de erosión y pérdida del suelo.

2. Segundo paso



Siembra de plantas en contornos siguiendo curvas a nivel según pendiente y profundidad efectiva del suelo, y manejo de coberturas en el cultivo.

3. Tercer paso



Indicadores visuales de degradación y calidad del suelo: zonas de acumulación de suelo erosionado y afloramiento de roca, verificación de color, profundidad efectiva y presencia de horizonte A; pruebas de pH para estimar fertilidad del suelo.

Figura 1. Estrategias de manejo y conservación de suelos en el cultivo. Paso 1. Conocer el territorio donde se ubican los cultivos. Paso 2. Implementación de actividades de manejo y conservación. Paso 3. Verificación y monitoreo de indicadores de degradación y calidad del suelo. Elaboración propia. Diagrama: Diana Lucia Correa. Fotos: Diana Lucia Correa, Alejandra Angarita, Wilson Trujillo, Luis Carlos Grajales.

Jaramillo- Bonilla et al., (2016) utilizaron para cultivos de aguacate Lorena y Choquette bajo condiciones de Fresno (Tolima), manejo manual de las arvenses presentes en el cultivo para permitir el desarrollo de plantas de porte bajo como acompañantes al cultivo, mediante cortes no inferiores a 15 cm para mantener la capa vegetal y no dejar el suelo descubierto. Esta práctica permitió el aumento en biomasa vegetal en fresco, de aproximadamente 4, 4 kg. m⁻², y el aumento en diversidad de plantas acompañantes en 8%.

Paso 3. Verificación y monitoreo constante de indicadores de degradación y calidad del suelo en el área de cultivo y zonas aledañas:

Los indicadores de degradación y calidad del suelo, son propiedades que permiten identificar si se tiene un suelo sano y fértil, o si por el contrario ha perdido su calidad y se encuentra en proceso de degradación. Estas características pueden ser observadas a simple vista, o estar representadas por variables físicas, químicas o biológicas que se determinan en laboratorio o directamente en el campo, y que se pueden manifestar en microzonas de pérdida del suelo por lluvias, formación de surcos, afloramiento de rocas en el terreno, pérdida de la capa vegetal y horizonte orgánico, disminución de la fertilidad y ausencia de macrofauna del suelo entre otras (Figura 1).

Para el reconocimiento de estos indicadores en campo se recomienda la utilización de guías de indicadores de calidad del suelo, que han sido generadas por diferentes instituciones para su aplicación en diferentes zonas.

(https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051284.pdf;

<https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>)

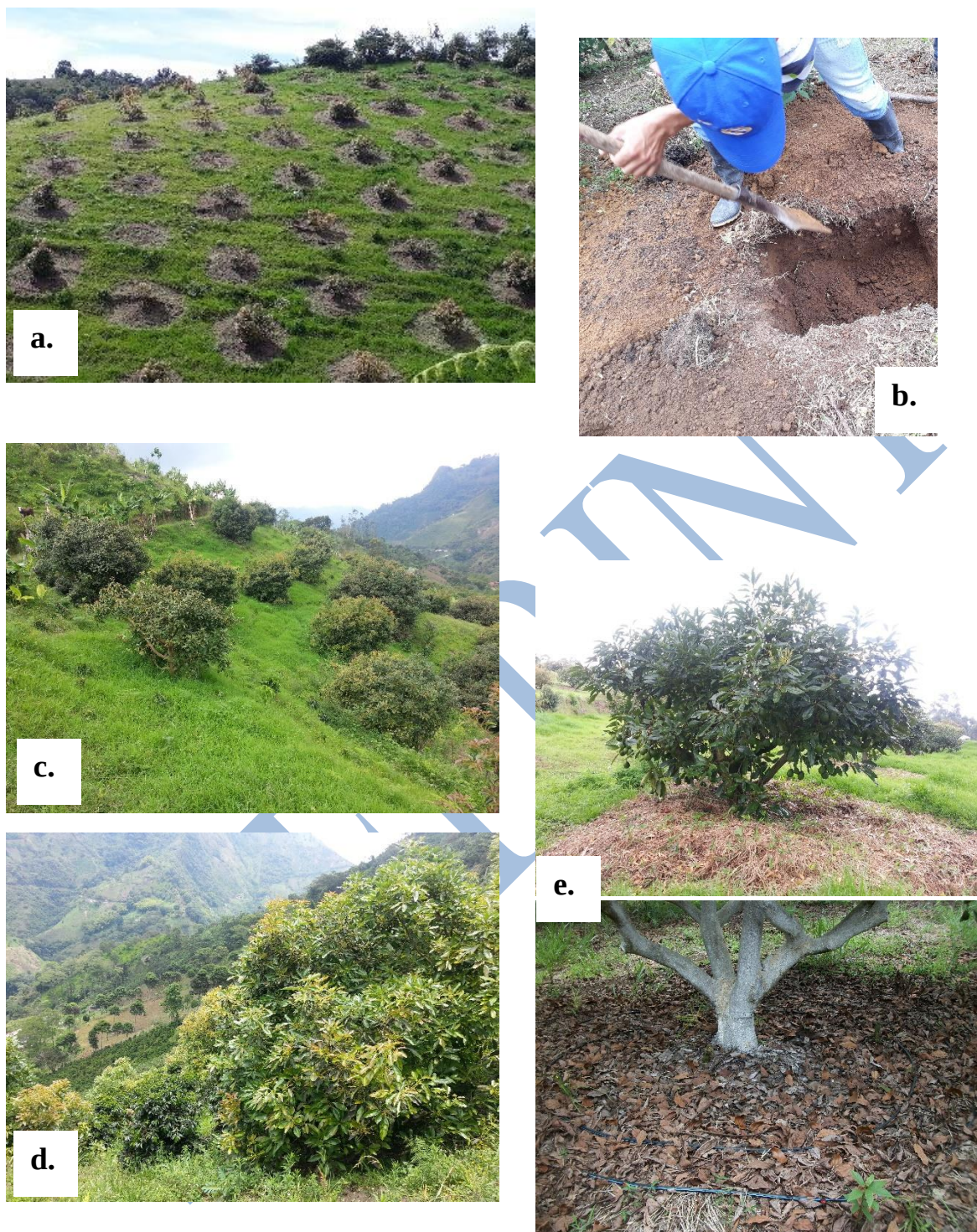


Figura 2. Actividades para conservación de suelos en el cultivo. a y b. Trazado y ahoyado para siembra según pendiente y profundidad efectiva del suelo; c. manejo de plantas asociadas; d. Cultivos asociados; e. Utilización de coberturas del suelo (hojarasca). Elaboración propia. Diagrama: Diana Lucia Correa. Fotos: Diana Lucia Correa Moreno, Luis Carlos Grajales Guzmán.

¿Qué se requiere para la conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal en el cultivo?

- ✓ Diseñar un plan de acción para la conservación de suelos y manejo de aguas en el cultivo, según condiciones topográficas y climáticas donde se establece el cultivo.
- ✓ Implementar obras complementarias para manejo de escorrentía superficial, como canales de drenaje, acequias de ladera, establecimiento de barreras vivas y franjas de cultivos; así como labores del cultivo tales como el trazado y ahoyado para siembra según pendiente y profundidad efectiva del suelo, manejo de plantas y cultivos asociados, y la utilización de coberturas del suelo (figura 2).
- ✓ Realizar el reconocimiento e inventario de plantas acompañantes del cultivo en la región, no invasivas para el cultivo, que se puedan dispersar entre surcos para favorecer la cobertura y protección del suelo.
- ✓ Identificar y proteger áreas aledañas a fuentes hídricas y canales de drenaje cercanas al cultivo, para evitar procesos erosivos, remoción masal e inundaciones que se acrecientan en épocas de mayor precipitación tanto en zonas de montaña como en zonas planas.

¿Qué beneficios y co-beneficios aporta la práctica de conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal?

Los beneficios de esta práctica están articulados con la línea estratégica 1. *Definir un esquema de gobernanza que permita coordinar las estrategias y acciones alrededor de la bioeconomía* (DNP, 2018), en la cual se busca la articulación y coordinación necesaria entre los actores involucrados, que garantice un liderazgo para el desarrollo de la bioeconomía y el desarrollo sostenible, basado en la riqueza del capital natural como el recurso suelo a nivel

regional.

Beneficios:

Protege el suelo del sol, la lluvia y del viento y beneficia a la actividad biológica factor clave en la fertilidad.

Contribuye a la reducción de gases efecto invernadero.

Favorece la captura de carbono y acumulación de biomasa en el suelo.

Co-beneficios

Conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad.

Aumento en productividad de áreas agrícolas.

Regulación del clima y ciclo hidrológico.

¿Cómo contribuye la conservación de suelos y manejo de cobertura vegetal en el cultivo a reducir la vulnerabilidad al cambio climático?

El buen manejo de la cobertura del suelo permite la capacidad de adaptación del cultivo bajo una condición de déficit de humedad en el suelo permanente o temporal, esto repercute en árboles con buen desarrollo y por consiguiente aumento en la productividad con frutos de mejor calidad.

1.2 Prácticas para maximizar la eficiencia en el uso de los recursos en las actividades productivas.

Los patrones insostenibles de consumo y producción están sobrecargando los recursos de la tierra, amenazando no solo el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) sino también el bienestar humano. Así mismo, han dado origen a las tres crisis ambientales: cambio climático, pérdida de biodiversidad y contaminación (ONU, 2021).

El ODS2 indica que es necesario asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos (AECID, 2018).

Por lo tanto, los diferentes sectores productivos como el agropecuario, deben promover la intensificación sostenible de la producción, basados en el consumo y producción responsables, que se ha constituido en tema primordial a nivel global, para atención al uso ineficiente de recursos y procesos, en los encadenamientos productivos.

En este sentido, el crecimiento verde debe basarse en la utilización de prácticas que permitan maximizar el uso de recursos naturales en actividades productivas, contribuyendo también a que se generen patrones de consumo y producción responsables. En aplicación de estas políticas, se deben priorizar sistemas de producción que permitan incrementar la productividad y diversidad agrícola, mejorar las condiciones del suelo y la eficiencia de utilización de los nutrientes y el agua, prestar servicios ambientales como la regulación del

clima y el agua, reducir las emisiones de CO₂ y N₂O y ser resilientes a fenómenos climáticos de corto y largo plazo (IICA, 2016).

A nivel mundial se tienen experiencias que han mostrado su efectividad en el uso eficiente de recursos, las cuales se enmarcan entre otros tópicos, en la gestión integral de los recursos hídricos, gestión del suelo y del territorio, aprovechamiento de recursos fitogenéticos, prácticas de manejo sostenible y la utilización de sistemas integrados de producción y tecnologías para uso del agua (<https://www.fao.org/3/i3442s/i3442s.pdf>

; https://www.aecid.es/Centro-Documentacion/Documentos/Publicaciones%20AECID/Agricultura_resiliente.pdf;
https://repositorio.iica.int/handle/11324/3046?locale-attribute=pt_BR).

La AECID (2018), al respecto relaciona varias de las practicas asociados a estos tópicos, muchas de las cuales tienen un alto potencial para aplicación en sistemas de producción de aguacate. Entre estas se encuentran:

1. Gestión integral de los recursos hídricos: conservación y protección de cuecas, siembra y cosecha de agua (barreras de tierra, metálicos, reservorios revestidos de geomembrana, aljibes para la cosecha del agua de lluvia recogida en el techo, presas pequeñas, etc.), y sistemas de riego eficientes.
2. Gestión del suelo y del territorio: ordenamiento territorial, siembra directa, levantamiento de surcos en curvas a nivel, incorporación de rastrojos de los cultivos, incremento del contenido de materia orgánica de los suelos, fertilización balanceada, prácticas de aplicación eficiente de fertilizantes, y el uso de prácticas de conservación para frenar la erosión de los suelos.

3. Prácticas de manejo sostenible: uso de variedades adaptadas, diversificación, combinación y asociación de cultivos, técnicas que favorezcan la resiliencia, manejo integrado de plagas y enfermedades, utilización bioinsumos.

Estas acciones son la base de lineamientos de la política pública de crecimiento verde asociados al uso eficiente de recursos naturales tal como se contempla en el principio 1. *Maximizar la eficiencia en el uso de los recursos en las actividades productivas, para competitividad en los mercados nacionales e internacionales*, que busca implementar lineamientos que permitan mejorar el desempeño del sector agropecuario y generar condiciones para consolidar la productividad de la tierra.

En esta sección se hace descripción de algunas prácticas correspondientes a la gestión del recurso hídrico, gestión del suelo y manejo sostenible del cultivo, las cuales han sido validadas a nivel de sistemas de producción de aguacate en diferentes lugares del país, y que permiten abordar los tópicos relacionados con el uso eficiente de recursos y la producción sostenible y responsable, en el marco de la política de crecimiento verde.

1.2.1 Uso eficiente del recurso hídrico para irrigación del cultivo.

El uso eficiente del recurso hídrico para irrigación del cultivo, hace referencia al aporte de agua a través de sistemas de riego, basados en el conocimiento del consumo o requerimientos hídricos del cultivo, mediante el cual se aplica la cantidad de agua necesaria, en el momento oportuno y con la frecuencia apropiada. De esta forma se genera un principio de sostenibilidad del recurso y de adaptación del cultivo bajo una condición de déficit hídrico temporal o permanente, considerado limitante en cultivos de aguacate en diferentes regiones productoras del país (Jaramillo et al, 2016).

En el esquema de crecimiento verde, uno de los ejes principales lo constituye, la eficiencia en el uso del agua en el sector productivo, entre ellos el agrícola, mediante la integración de tecnologías que permitan, entre otras, mejorar el índice de productividad del agua (DNP, 2018). Este índice determina la relación entre la producción neta de los cultivos y la cantidad de agua consumida para obtener esa producción (Molden et al., 2009), además permite comprender mejor cómo bajo distintos escenarios agroclimáticos y prácticas de manejo, se afecta la relación entre la producción agrícola y el consumo de agua (Perry et al., 2009).

Este tipo de prácticas, en conjunto contribuyen a mejorar la gestión del agua en el sector agropecuario con base en los mecanismos de información, como pilar de la política de crecimiento verde (DNP, 2018). Por lo tanto, tiene aportes considerables en el uso eficiente del agua en la dinámica de transformación insumo-producto, gestión del recurso hídrico para el incremento de zonas productivas agrícolas y coberturas vegetales, y para disminuir el impacto del cambio climático mediante el manejo de información meteorológica.

¿Cuáles son los aportes del uso eficiente del recurso hídrico mediante irrigación del cultivo al crecimiento verde?

El uso eficiente del agua en la dinámica de transformación insumo-producto, gestión del recurso hídrico para el incremento de zonas productivas agrícolas y coberturas vegetales, contribuye a disminuir el impacto del cambio climático mediante el manejo de información meteorológica.

¿Qué hacer para mejorar el uso eficiente del recurso hídrico mediante irrigación del cultivo de aguacate?

Para mejorar el uso eficiente del recurso hídrico para el riego en el cultivo de aguacate, es necesario implementar un sistema de riego adecuado, de acuerdo con las características del cultivo, del suelo, del clima y disponibilidad de agua, con el cual sea posible realizar un manejo sostenible del agua y a su vez, se aumente la productividad y calidad del cultivo. En este sentido, es fundamental considerar dos aspectos importantes para la implementación de un sistema de riego eficiente: 1). Diseño agronómico del riego y 2). Diseño hidráulico del sistema de riego.

1) Factores para el diseño agronómico de sistema de riego del cultivo:

En el diseño agronómico se relaciona todas las condiciones o características de sitio y del cultivo necesarias para determinar cuándo y cómo regar. Para ello se utiliza la metodología de balance hídrico de acuerdo con variables climáticas como: precipitación, evapotranspiración, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa; las características específicas del suelo como: textura (arcillosa, arenosa, franco) y capacidad de retención de humedad; condiciones de la planta como el requerimiento de agua de la especie, o la cantidad

de agua usada por la planta, para sus procesos fisiológicos, definido a partir del coeficiente del cultivo (K_c), que para el caso de aguacate en fase de producción se estima en 0.75 (Allen et al., 2006; Dorado et al., 2017) (Fig. 4).

Para ilustrar mejor como se aplica el balance hídrico para establecer un programa de riego, en la tabla 1 se muestra las variables a tener en cuenta y el cálculo del balance de agua diario. También se puede consultar el manual de requerimientos hídricos de aguacate en Colombia desarrollado por Dorado et al (2017) en el cual se detalla, paso a paso la metodología para programación de riego en el cultivo de aguacate <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13331>.

Tabla 1. Variables y cálculo del balance hídrico diario para decisión de aplicación de riego complementario en cultivos de aguacate (ejemplo práctico).

Balance hídrico diario											
					Entradas	Diferencia	Riego a aplicar				
Día				Precipitación	Necesidades de Riego						
	Eto (mm.dia- ¹)	Kc	ETc (mm.dia- ¹)	Pe (mm.dia- ¹)	RR (mm.dia- ¹)	(ETc-Pe)	Riego (si/no)	Ea	RRn (mm)	Volumen de agua (L)	Tiempo (min)
1	6	0,75	4,5	0	12,2		Sí	0,9	4	16,2	6,0
2	4,5	0,75	3,3	1	4,3		Sí	0,9	2,1	8,5	3,0
3	4,2	0,75	3,1	5	6,4		No	0,9	0	0	0,0
4	5,8	0,75	4,3	0	4,3		Sí	0,9	15,6	15,6	6,0
5	4,1	0,75	3	2	7,1		Sí	0,9	3,8	3,8	2,0

E_{To} : Evapotranspiración de referencia. $E_{To}=E_v \cdot K_p$

K_c = coeficiente de cultivo, para aguacate se estima en 0,75 en etapa de producción.

E_{Tc} : Evapotranspiración del cultivo (mm.dia⁻¹). $E_{Tc}=E_{To} \cdot K_c$

P_e : Precipitación efectiva (mm. dia⁻¹)

RR_n = Requerimiento de riego neto (mm.dia⁻¹). RR/E_a

E_a = Eficiencia de aplicación del sistema de riego (0.9 para goteo)

La precipitación efectiva es aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Puede calcularse a través del programa Cropwat 8.0 FAO (descarga gratis a través de <https://cropwat.informer.com/Descargar-gratis/>).

La Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ET_c) se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo libre de enfermedades, con adecuada fertilización y que se desarrolla en parcelas bajo condiciones óptimas de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas presentes (Allen et al., 2006).

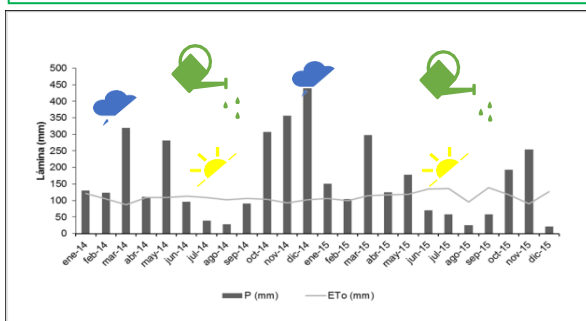
Evapotranspiración de referencia (ET₀) es la tasa de evaporación de un cultivo de referencia, sin restricción de agua, determinada por el método Penman-Monteith FAO 56 (Allen et al., 2006).

2) Factores para el diseño hidráulico del sistema de riego:

Consiste en establecer las principales características del sistema de riego a instalar, basado en el diseño agronómico establecido, que permita entregar el agua al cultivo de manera adecuada en la zona de raíces, además de disminuir las pérdidas por escorrentía, percolación y evaporación.

Con el diseño hidráulico es posible definir, la energía requerida para extraer el agua desde la fuente (aljibe, pozo, lago, río), el tamaño y tipo de tubería que conduce el agua desde la fuente de agua hasta la planta mediante una distribución uniforme, el caudal necesario para suplir los requerimientos de agua del cultivo, y el tipo de riego más conveniente de acuerdo con las condiciones del sitio y el cultivo (Liotta et al., 2015; Carrazón-Alocén, 2007).

1. Factores para el diseño agronómico de sistema de riego del cultivo



Calcular el balance hídrico de la zona: Diferencia entre precipitación y evapotranspiración de referencia.



Reconocimiento de condiciones del suelo: profundidad, textura, drenaje etc.

2. Factores para implementar el diseño hidráulico del sistema de riego



Instalación de dispositivos de bombeo y conducción de agua en el lote.



Selección de sistema de riego: aspersores o goteros.

3. Identificación de estados de desarrollo de la planta de mayor demanda de agua



Desarrollo floral (Estados 518 a 711).
Tres meses después de cosecha



Crecimiento y llenado de frutos (Estado 712 a 719). tres a seis meses después de floración

Figura 3. Factores considerados para el uso eficiente del recurso hídrico mediante irrigación en cultivos de Aguacate. 1. Factores para el diseño agronómico de sistema de riego del cultivo; 2. Factores para el diseño hidráulico del sistema de riego; 3. Identificación de estados de desarrollo de la planta de mayor demanda de agua. Diagrama: Diana Lucia Correa, Luis Carlos Grajales. Fotos: Luis Carlos Grajales Guzmán, Sebastián Polo. Fuente: Los autores. Escala de estados fenológicos: Alcaraz et al., 2013.

Para el cultivo de aguacate, es recomendable implementar un sistema de riego por goteo debido a su alta eficiencia de aplicación (90%) en comparación a otros sistemas de riego como aspersión o riego por gravedad. Además, permite disminuir el consumo de agua, debido al sistema de distribución de agua a través de tubería cerrada y aplicación del agua directamente en el área de raíces, mediante emisores de riego localizado de bajo caudal (goteros) y alta frecuencia (Antúnez et al., 2010) (Fig. 3b, Fig. 4).

En condiciones del Tambo (Cauca), se utilizó sistema de riego por goteo y la metodología de balance hídrico diario para determinar la lámina y frecuencia de riego en un cultivo de aguacate hass (Jaramillo et al., 2016). De esta manera se estimó un volumen de aplicación de agua de 24 L. árbol⁻¹, el cual se aplicó mediante diseño de sistema de riego por goteo localizado de alta frecuencia (RLAF) con periodos entre riego de 2 días; se instalaron 2 módulos de riego con tubería principal de 2" y secundaria de 1 ½"; mientras que su distribución se realizó en tubería de 16 mm, y en cada árbol se instaló doble anillo de riego, compuesto por 13 goteros de 8 L. h⁻¹ permitiendo aplicar agua directamente en la zona de raíces.

3) Identificación de estados de desarrollo de la planta de mayor demanda de agua:

Para esto se requiere definir los momentos de aplicación de riego acorde con las necesidades hídricas del cultivo durante el ciclo productivo. Los estados de desarrollo de floración, cuajado y llenado de frutos son considerados de mayor demanda de agua durante la fase de producción; estos estados se identifican por medio de la evaluación directa en los árboles, mediante escala de observación referente (Alcaraz et al., 2013), para determinar del estado predominante (Fig. 3c).

4. Monitorear la humedad del suelo:

Esta medición permite ajustar la lámina de riego para evitar la aplicación en exceso de agua o riego insuficiente (Dorado et al., 2017). Por lo tanto, se puede utilizar el método gravimétrico para estimar la humedad por diferencia de peso del suelo húmedo y seco en estufa (Carabalí et al., 2019. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35026>), o utilizar equipos como tensiómetros, higrómetros y sensores que facilitan la estimación de humedad del suelo, directamente en el campo (Fig. 4c). Se estima que el uso de sensores en los sistemas de riego podría generar un ahorro de un 50% en el uso de agua en la agricultura (FAO, 2021).

¿Qué se requiere para la implementación del uso eficiente del recurso hídrico mediante irrigación en cultivos de aguacate?

✓ Consultar registros diarios de datos meteorológicos como: precipitación, humedad relativa, temperatura, velocidad del viento y radiación solar; de la estación climática más cercana al sitio del cultivo para la aplicación del balance hídrico. En Colombia se puede consultar como fuentes de información climatológica instituciones como el IDEAM, CENICAFE, CENICAÑA y las corporaciones autónomas regionales (CAR) entre otras entidades (<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>; <https://www.cenicana.org/meteoportal/>; <https://agroclima.cenicafe.org/home>).



a. Dispositivos de bombeo y conducción de agua en el lote.



b. Técnica de distribución de agua: Doble anillo de manguera por árbol.



c. Goteros instalados en las líneas de distribución de agua en la zona de raíces de los árboles y sensores de humedad del suelo.

Figura 4. Componentes del sistema de riego por goteo en cultivos de Aguacate. a. Sistema de bombeo y conducción de agua; b. Técnica de distribución de agua; c. Goteros auto compensados para riego localizado y sensores de humedad del suelo. Diagrama: Diana Lucia Correa. Fotos: Luis Carlos Grajales, Diana Dorado y Alejandro Jaramillo. Fuente: Los autores.

Para conocer el comportamiento histórico del régimen hídrico en una región, es necesario analizar registros de datos climáticos como precipitación y evaporación de al menos 30 años. Para calcular el balance hídrico diario con el fin de determinar la programación de riego en el cultivo se requiere la consulta de datos diarios.

✓ Caracterizar el suelo donde está establecido el cultivo para seleccionar el sistema de riego acorde al tipo de suelo. Para esto se deben determinar variables como la textura del suelo que puede ser franca, arenosa o arcillosa, y que puede ser determinada al tacto al suelo o mediante análisis de laboratorio , así como estimar el contenido de humedad que puede almacenar el suelo y el movimiento del agua a través de sus horizontes (lento o rápido) que puede ser observado a través de pruebas de infiltración sencillas como las descritas por USDA (1999) (https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051284.pdf.; <https://www.fao.org/3/i8864es/i8864ES.pdf>). Para la caracterización de suelos se puede acceder a servicios de análisis de laboratorio certificados a nivel nacional para determinaciones físicas que permitan orientar la aplicación del riego (<https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/agrologia/laboratorio-nacional-de-suelos>; <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/servicios-de-laboratorio/quimica-analitica>)

¿Cuáles son los beneficios y co-beneficios de mejorar la eficiencia en el uso del agua de riego en cultivos de aguacate?

Los beneficios de esta práctica están articulados a la línea de acción 21: *formular estrategias*

entre el sector público, privado, academia y banca para la financiación y desarrollo de proyectos enfocados a la gestión integral del recurso hídrico (GIRH), que buscan facilitar mediante el apoyo de instituciones como las CARs, Agrosavia, el ICA y del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la formulación e implementación de proyectos de uso eficiente del agua y la transferencia de buenas prácticas, así como el conocimiento de la oferta de agua y las tecnologías para mejorar la calidad y la gestión de la demanda (DNP, 2018, 2019).

Beneficios:

Incremento de zonas productivas agrícolas en regiones con baja disponibilidad hídrica. Regula los periodos de producción durante el año.

Contribuye a la adaptación del cultivo a condiciones de estrés por déficit de humedad en el suelo.

Co-beneficios:

Incrementa la productividad del agua en el cultivo.

Aporta a mejorar la producción del cultivo.

¿Cómo contribuye el uso eficiente del recurso hídrico mediante irrigación a reducir la vulnerabilidad al cambio climático?

El manejo y uso eficiente del riego disminuye la vulnerabilidad del cultivo al cambio climático mediante el uso racional del agua, lo que permite la producción en zonas con disponibilidad hídrica limitada presentadas por condiciones de variabilidad climática o en zonas secas, sin afectar la producción durante el año.

1.2.2 Manejo eficiente de la fertilización en cultivos de aguacate.

Una adecuada nutrición del cultivo puede lograrse mediante el manejo eficiente de la fertilización a través del diseño de un plan de fertilización integrada, considerando las demandas nutricionales del cultivo, la disponibilidad de nutrientes o fertilidad del suelo y el estado de desarrollo de las plantas, para mejorar su desarrollo y rendimiento, y como estrategia para reducir la vulnerabilidad de éste a estrés abiótico causado por condiciones climáticas adversas (Jaramillo et al., 2016).

El uso eficiente de nutrientes del suelo y fuentes fertilizantes bajo criterios técnicos de decisión favorecen el aumento de áreas de cultivos, la acumulación de biomasa y aporte de carbono por coberturas vegetales al suelo, y la estabilidad de la producción bajo condiciones restrictivas de fertilidad y disponibilidad de agua, que se reflejan en mejores ingresos para los agricultores. Optimizar la fertilización contribuye a disminuir la vulnerabilidad al cambio climático al generarse menos gases efecto invernadero y contaminantes al suelo, como producto del uso racional y aprovechamiento eficiente de fertilizantes y fuentes nitrogenadas de acuerdo con disponibilidad en el suelo y requerimientos del cultivo.

Estas acciones en conjunto contribuyen a incorporar los enfoques de manejo sostenible de la tierra y prácticas agroecológicas en el desarrollo de nuevas ofertas tecnológicas y en programas de fortalecimiento de sistemas productivos agropecuarios sostenibles que adoptan buenas prácticas agropecuarias, como pilar de la política de crecimiento verde (DNP, 2018).

¿Cuáles son los aportes del manejo eficiente de la fertilización al crecimiento verde?

El uso eficiente de nutrientes del suelo y fuentes fertilizantes bajo criterios técnicos de decisión favorecen el aumento de áreas de cultivos, la acumulación de biomasa y aporte de carbono por coberturas vegetales al suelo, y la estabilidad de la producción bajo condiciones restrictivas de fertilidad y disponibilidad de agua, que se reflejan en mejores ingresos para los agricultores.

¿Qué hacer para el manejo eficiente de la fertilización en el cultivo?

1. Diseñar un plan de fertilización basado en el balance de nutrientes:

Consiste en generar un plan de fertilización basado en los requerimientos del cultivo, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y condiciones de edáficas y climáticas de la zona, para aplicar la cantidad requerida, en el momento oportuno, con la frecuencia necesaria y seleccionar la fuente de nutrientes adecuada, de síntesis química, origen orgánico o un biofertilizante y el método de aplicación (edáfica o foliar) (fig. 5). Para esto es indispensable considerar los siguientes aspectos:

- Conocer los requerimientos nutricionales del cultivo: Consiste en la consulta de demanda de nutrientes de la planta para lograr una producción estimada, lo que evita pérdidas o afectación al ambiente por uso excesivo de fertilizantes. Los requerimientos de nutrientes dependen también de la edad del cultivo, variedad cultivada y rendimiento esperado según variedad, estimándose una fluctuación en rendimiento entre 5,9 – 16 t.ha⁻¹ (SIEMBRA,

2020).

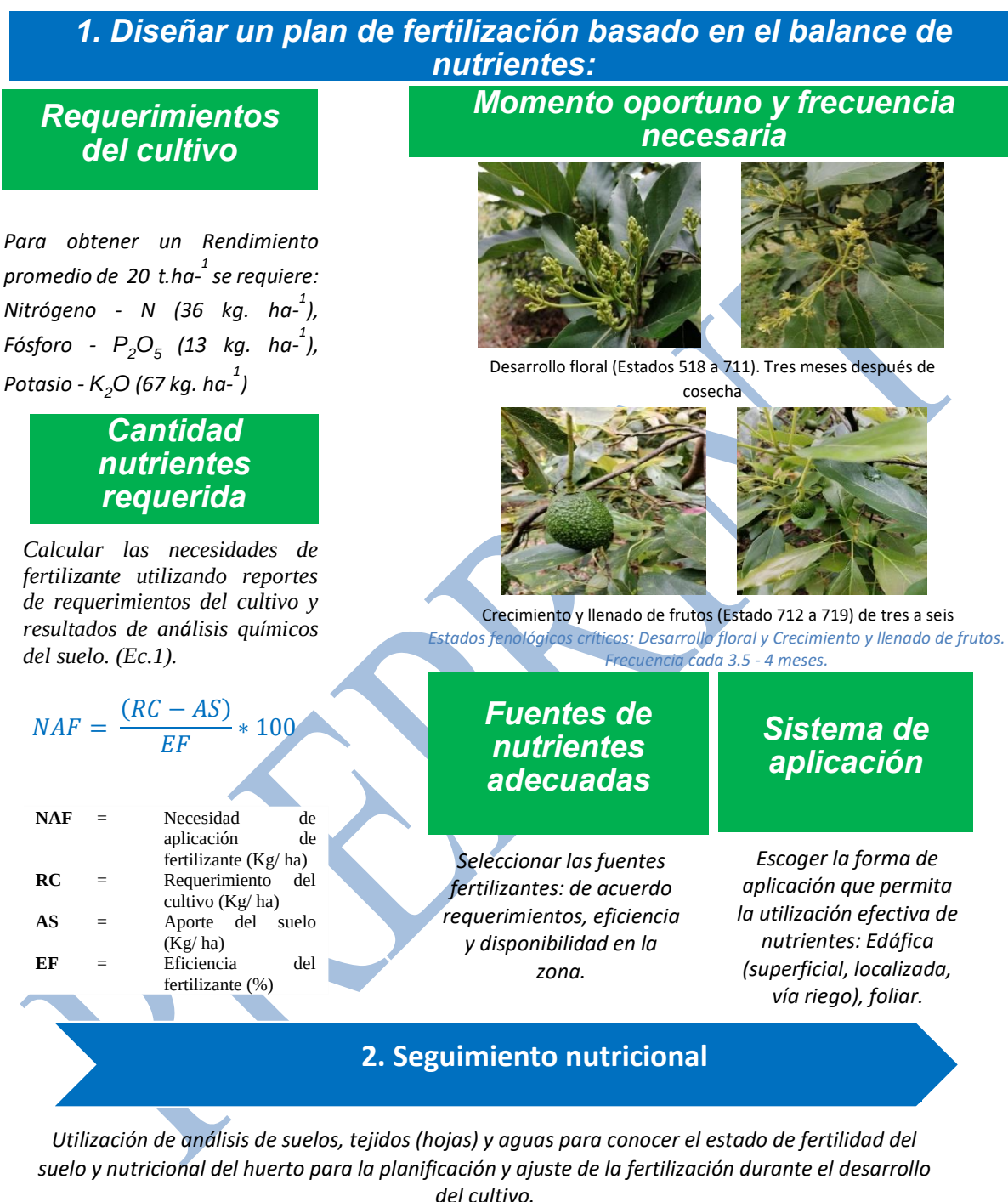


Figura 5. Factores para el manejo eficiente de la fertilización en cultivos de Aguacate: 1. Diseñar un plan de fertilización basado en el balance de nutrientes: :Requerimientos del cultivo; Cantidad nutrientes requerida; Momento oportuno y frecuencia; Fuente de nutrientes; Sistema de aplicación; y 2. Seguimiento nutricional. Elaboración propia. Diagrama: Diana Lucia Correa Moreno. Fotos: Alejandro Jaramillo, Luis Carlos Grajales.

Tabla 2. Extracción de nutrientes reportada en las variedades de aguacate bajo condiciones de zonas productoras de México.

Extracción de nutrientes en variedades de aguacate					
Nutrientes	gramos por 100 kg de fruta fresca				
	Hass	Choquette	Hall	Booth-8	Promedio
N ₂	257	151	145	185	184,5
P ₂ O ₅	103	69,2	49,9	58,2	70,1
K ₂ O	469	302	296	271	334,5
Ca	8,4	8,7	6,5	10,4	8,5
Mg	29,5	16,3	16,5	22,3	21,2
S	34,5	19,2	18,4	22,6	23,7
Zn	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3
B	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3

Modificado de Salazar y Lazcano (2001).

Para una producción promedio de 20 t.ha⁻¹ en aguacate se estima una cantidad aproximada de 36 kg. ha⁻¹ de N; 13 kg. ha⁻¹ de P₂O₅ y 67 kg. ha⁻¹ de K₂O, que fluctúa de acuerdo a la variedad cultivada como lo muestran algunos autores (Tabla 2) (Salazar & Lazcano, 2001).

- **Estimar la cantidad nutrientes a aplicar:** Se debe establecer la diferencia entre el aporte del suelo y los requerimientos de la planta para conocer la cantidad de elementos que se deben aplicar al suelo para la nutrición del cultivo de aguacate. Los requerimientos del cultivo y el contenido de nutrientes en el suelo se pueden consultar en reportes o investigaciones previas y en análisis químicos de muestras de suelo obtenidas en el sitio en donde se ha establecido el cultivo.

Rebolledo y Dorado., 2017, proponen el índice de balance de nutrientes como un método que permite estimar la cantidad de nutrientes a aplicar en el cultivo de aguacate

(<https://pdfs.semanticscholar.org/78d0/512efae97879d1c07cea19bae2526afd8488.pdf>).

Para mayor información respecto al muestreo de suelos y análisis de laboratorio para fertilidad, puede consultar en la página de Agrosavia orientaciones al respecto en los siguientes enlaces: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35028>; <https://youtu.be/6d2mR8MKbzc>; <https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/servicios-de-laboratorio/quimica-analitica>

- **Determinar el momento oportuno y frecuencia de fertilización:**

Es importante definir para el cultivo de aguacate el momento oportuno y frecuencia de fertilización, que permitirá la nutrición adecuada de las plantas. En este sentido se deben identificar los estados de desarrollo de la planta con mayor demanda de nutrientes de acuerdo con la edad y etapa del cultivo (establecimiento o producción), y a estados fenológicos nombrados según escala BBCH propuesta por Alcaraz et al. (2013), que para el caso del aguacate corresponden a desarrollo floral (Estados 518 a 711 - tres meses después de cosecha), crecimiento y llenado de frutos (Estado 712 a 719 - tres a seis meses después de floración) (figura 5). En aguacate en función de la variedad y las características de clima y suelo, se considera una frecuencia para la aplicación de fertilizantes entre 3.5 – 4 meses al año.

- **Selección de fuentes de nutrientes idóneas y forma de aplicación :** La selección de la fuente de nutrientes debe basarse en los requerimientos de la especie, características del suelo, eficiencia en la absorción del nutriente y abastecimiento en la zona del cultivo. Esta decisión permite reducir las pérdidas de productos o nutrientes por lixiviación o volatilización de compuestos en condiciones de suelos o ambientales no adecuadas, que

contribuyen a la generación de gases efecto invernadero hacia la atmosfera o a la contaminación de fuentes hídricas.

La forma de aplicación debe ser edáfica o dirigida a la zona de raíces ya que es la principal forma de absorción de nutrientes de las plantas; el porcentaje absorbido por la planta es diferente según el nutriente: Nitrógeno (50%), Fósforo (10%) y Potasio (40%), lo que influye en las pérdidas o acumulación de estos elementos en la zona de raíces. Esta aplicación depende del tipo de suelo y condiciones climáticas, y puede ser superficial, localizada, o a través del riego (fertirriego). La fertilización foliar o en las hojas de los árboles, debe usarse como complemento a la fertilización edáfica, siendo muy utilizada para la corrección de algunos síntomas de deficiencias como por ejemplo de elementos menores.

2. Realizar seguimiento nutricional del cultivo:

Periódicamente es conveniente el monitoreo del estado de fertilidad del suelo y condición nutricional del cultivo para programación de la fertilización y detección de síntomas de deficiencias nutricionales. Para esto deben realizarse observación de deficiencias en campo, y mediante la utilización de análisis de suelos, tejidos y aguas que se realizan en laboratorio, como herramientas que usa el asistente técnico para la toma de decisiones, y para la planificación y ajuste de la fertilización durante el desarrollo del cultivo (fig. 5).

¿Qué se requiere para el manejo eficiente de la fertilización en cultivos de aguacate?

- ✓ Utilización de análisis de suelos, tejidos (hojas) y aguas para conocer el estado nutricional del suelo y el huerto para la planificación y ajuste de la fertilización durante el establecimiento y desarrollo del cultivo.
- ✓ Asesoría de un asistente técnico para interpretación de los análisis de suelos y

tejidos.

- ✓ Alternar aplicaciones de fertilización foliar con énfasis en nutrientes como Nitrógeno (N) y Boro (B) (Rebolledo y Dorado, 2017), especialmente en épocas de déficit hídrico para asegurar el balance nutricional de la planta durante estos períodos.
- ✓ Aportar materia orgánica habilitada en el área bajo la copa del árbol para mejorar propiedades físicas (porosidad, aireación, estructura y retención de humedad) y biológicas (actividad y biomasa microbiana) del suelo que ayudan a la disponibilidad y absorción de los nutrientes. Además, el aporte de abonos orgánicos de buena calidad en cultivos de aguacate, favorece la proliferación de raíces de absorción muy necesarias en este cultivo que carece de pelos absorbentes en su raíz.
- ✓ Planificar la frecuencia de aplicaciones de los fertilizantes edáficos de acuerdo con el periodo de lluvias o las épocas de riego y según la fenología de los árboles de aguacate, para una mayor efectividad.

¿Qué beneficios y co-beneficios aporta el manejo eficiente de la fertilización en el cultivo de aguacate?

Los beneficios de esta práctica están articulados a la línea de acción 16. *Desarrollo de una estrategia orientada a la financiación de proyectos agropecuarios sostenibles*, que busca apalancar actividades agropecuarias que incluyan criterios de crecimiento verde como el uso eficiente del agua y del suelo, el uso de fertilizantes orgánicos, y el desarrollo de actividades como la agroecología, entre otros. (DNP, 2018).

Beneficios:

Mejora de los rendimientos del cultivo a partir de un uso eficiente de los diferentes tipos de fertilizantes.

Permite la conservación de los recursos agua y suelo ante la reducción del uso de fertilizantes.

Disminuye la emisión de gases efecto invernadero.

Co-beneficios:

Reduce la dependencia de fertilizantes de síntesis química.

Favorece la acumulación de biomasa y carbono en el suelo.

Estimula la mayor presencia de raíces absorbentes y mejor sanidad del sistema de raíces.

¿Cómo contribuye a reducir la vulnerabilidad al cambio climático?

Optimizar la fertilización contribuye a disminuir la vulnerabilidad al cambio climático al generarse menos gases efecto invernadero y contaminantes al suelo, como producto del uso racional y aprovechamiento eficiente de fertilizantes y fuentes nitrogenadas de acuerdo con disponibilidad en el suelo y requerimientos del cultivo.

1.2.2 Manejo integrado de plagas (MIP) en el cultivo de aguacate.

El MIP consiste en una serie de acciones que permiten la toma de decisiones sobre el manejo y control integrado de plagas (insectos, enfermedades y arvenses), que permiten disminuir la incidencia o aumento de poblaciones de estas en el cultivo. Para su efectiva aplicación se consideran cuatro etapas básicas: 1. Determinar umbrales de acción; 2. Monitorear e identificar plagas; 3. Prevención; y 4. Control (ICA, 2012). Este manejo en el cultivo de aguacate debe hacer parte de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), como estrategia de largo

plazo para la protección de las plantas y el logro de la inocuidad de los productos agroalimentarios, la productividad y sostenibilidad de la producción (Asohofrucol, 2009).

La Política de Crecimiento Verde, establece que las buenas prácticas agropecuarias son un conjunto de conocimientos de manejo recomendadas para la producción, que incluyen desde la actividad primaria hasta el transporte y empaque. Con esto se busca asegurar la inocuidad, la calidad de producto, evitar la degradación de los recursos naturales, y por ende lograr la sustentabilidad y sostenibilidad de los sistemas productivos (DNP, 2018).

El MIP contribuye a disminuir las necesidades de plaguicidas, aumentar la resiliencia ecológica de agroecosistemas y mantener el equilibrio natural entre poblaciones de insectos y fitopatógenos asociados a cultivos mediante el control integrado (cultural, biológico, etológico, legal y químico). Estas acciones en conjunto contribuyen a implementar lineamientos que permitan mejorar el desempeño del sector agropecuario y la conformación de una red de unidades productivas modelo que incorporen en los sistemas de producción las buenas prácticas y tecnologías verdes, como pilar de la política de crecimiento verde (DNP, 2018).

¿Cuáles son sus aportes al crecimiento verde?

Contribuye a disminuir las necesidades de plaguicidas, aumentar la resiliencia ecológica de agroecosistemas y mantener el equilibrio natural entre poblaciones de insectos y fitopatógenos asociados a cultivos mediante el control integrado (Cultural, químico y biológico).

¿Qué hacer para la aplicación del MIP en el cultivo de aguacate?

1. Programar e implementar acciones preventivas:

El MIP inicia con la aplicación de medidas de prevención, que incluyen decisiones de planificación sobre la ubicación del cultivo, selección de material de siembra y prácticas de manejo que influyen en la nutrición y en consecuencia en su sanidad (Fig. 6). Las condiciones climáticas y edáficas del sitio en el que se encuentra establecido el cultivo, determina la incidencia de plagas y enfermedades asociados a periodos de déficit hídrico o exceso de humedad del suelo, por lo que se debe considerar estos aspectos para la implementación de medidas de manejo en el cultivo.

2. Diagnóstico oportuno y correcto de problemas fitosanitarios:

Para lograr un control sostenible de las plagas asociadas al cultivo de aguacate, el MIP requiere que se realice la identificación correcta de los daños o síntomas causados por insectos o microorganismos en estados fenológicos de la planta de mayor susceptibilidad; el diagnóstico errado del agente causante de los daños o síntomas puede derivar en una mala práctica de manejo como el uso excesivo de plaguicidas afectando el ambiente.

En la identificación de agentes causales, se debe reconocer el estado fenológico en el cual se manifiestan afectaciones a la planta; revisar el tipo de daño o síntoma que se presenta, como, por ejemplo, falta de desarrollo de los tejidos, necrosis, pudriciones, apariencia anormal, entre otros; y observar signos externos como aparición de micelio y esporas, generación de exudados y residuos de excrementos de insectos en la planta, etc (Fig. 6).



Figura 6. Manejo integrado de plagas (MIP) en el cultivo de Aguacate. 1. Medidas preventivas; 2. Diagnóstico de problemas fitosanitarios ; 3. Control integrado. 4. Seguimiento y monitoreo. Elaboración propia. Diagrama: Diana Lucía Correa. Fotos: Alejandra Angarita, Alejandro Jaramillo, Ana María Trejos, Diana Lucía Correa.

Algunas de las enfermedades y plagas hacia las cuales se dirige mayor atención en el cultivo de aguacate, se han reportado en daños ocasionados a raíces, frutos, y tallos principalmente (Tabla 3). En la actualidad se presentan como limitantes para el cultivo de aguacate hass, insectos perforadores identificados como plagas cuarentenarias para exportación, entre los que se encuentran la polilla de la semilla del aguacate, *Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Elachistidae) y los picudos *Heilipus lauri* Bohemann y *Heilipus trifasciatus* (Coleoptera: Curculionidae) (ICA, 2014; Carabalí, 2014 a, 2014b, 2021).

Tabla 3. Principales plagas de importancia económica en el cultivo de aguacate reportadas para Colombia.

Enfermedades (agente causal)	Plagas
Pudrición de la raíz (<i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands).	Pasador del fruto (<i>Stenoma catenifer</i> Walsingham).
Marchitamiento de la planta de aguacate (<i>Verticillium albo atrum</i> Reinke and Berthier).	Barrenador de la semilla (<i>Heilipus</i> spp.).
Roña (<i>Sphaceloma perseae</i> Jenkins).	Barrenador de las ramas del aguacate (<i>Copturomimus perseae</i> Hustache).
Mancha angular del fruto (<i>Cercospora purpurea</i> Cooke).	Escama (<i>Coccus viridis</i> Green).
Pudrición del fruto por Rhizopus (<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.: Fr.) Vuill).	Escamas articuladas (<i>Abgrallaspis cyanophylli</i> , Signoret; <i>Acutaspis scutiformis</i> , Cockerell; <i>Aspidiotus destructor</i> Signoret; <i>Clavaspis herculeana</i> , Doane & Hadden; <i>Melanaspis</i> sp.; <i>Hemiberlesia palmarum</i> , Cockerell; <i>Pseudaonidia trilobitiformis</i> Green; <i>Pseudischnaspis acephala</i> , Ferris; <i>Pseudoparlatoria parlatorioides</i> , Comstock; <i>Selenaspis articulatus</i> , Morgan).
Pudrición del fruto (<i>Dothiorella</i> sp. Sacc).	Hormiga arriera (<i>Atta cephalotes</i>).
Muerte descendente de ramas y brotes, antracnosis del fruto (<i>Glomerella cingulata</i> (Stoneman) Spauld & Schrenk).	Trips (<i>Thrips palmi</i> Karny, <i>Selenothrips rubrocinctus</i> Giard, <i>Heliothrips haemorrhoidalis</i> Bouché).
Secamiento descendente, necrosis del injerto, pudrición del fruto (<i>Lasiodiplodia theobromae</i> (Pat.) Griffiths and Maubl).	Monalonion (<i>Monalonion veleziangeli</i> Carvalho y Costa).
Pudrición de raíces, muerte de plántulas (<i>Cylindrocladium</i> sp. Morgan).	Chinches (<i>Antiteuchus tripterus</i> , Fabricius; <i>A. pallens</i> Stal; <i>A. piceus</i> , Palisot de Beauvois).
Nematodos (<i>Helicotylenchus</i> sp.).	Picudo del aguacate (<i>Compsus</i> sp.).
	Mosca del ovario (<i>Bruggmanniella perseae</i>).

Modificado de ICA, 2012.

Para más información sobre las principales plagas que afectan el cultivo de aguacate, pueden

consultarse investigaciones y documentos realizados por Agrosavia, ICA y otras instituciones a nivel nacional

(<https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/162/142/1115-1>;
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/1981>;
[https://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/-](https://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/-;);
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404913>); <https://youtu.be/BxW-nhgoPM>;)

3. Control y manejo integrado de plagas:

El manejo de las principales plagas incluye prácticas encaminadas a disminuir la cantidad de inóculo o las poblaciones de insectos y arvenses presentes en el cultivo, con el fin de evitar y prevenir su dispersión. El manejo debe incluir varios métodos como el uso de material con características genéticas, sanitarias y fisiológicas ideales, prácticas culturales como fertilización y manejo de drenajes, podas y distancias de siembra adecuadas y controles químicos y biológicos (Jaramillo, 2021) (Fig. 6).

La utilización del MIP busca la combinación de medidas culturales, biológicas, biotecnológicas y químicas, de modo que la utilización de productos fitosanitarios químicos, se limite al mínimo necesario para mantener la población de la plaga, en niveles inferiores a los que producirían daños o pérdidas inaceptables desde un punto de vista económico (Torrado, 2005).

En concordancia al problema identificado y al nivel o umbral de daño económico, se pueden utilizar diferentes métodos de control:

- Control cultural: Consiste en la realización de prácticas agronómicas requeridas por el cultivo desde el establecimiento y durante la etapa de producción.

- Control biológico: Comprende la utilización de enemigos naturales o productos a base de extractos vegetales para disminuir las poblaciones de insectos plaga y el ataque de agentes patógenos. ICA (2012), reporta el uso de enemigos naturales para control de perforadores del fruto como *Cotesia (Apanteles) spp.*, *Dolichogenidea sp.*, *Hypomicrogaster sp.*, *Chelonus sp.*, *Hymenochaonia sp.*, *Trichogramma sp.* y *Macrocentrus sp.*
- Control químico: En un esquema de manejo integrado de plagas, el control químico se considera como la última opción, una vez se hayan abordado las medidas de manejo cultural, preventivo y biológico.

El control de insectos perforadores en cultivos de aguacate ha sido en diferentes regiones del país, se ha fundamentado en planes de control químico con insecticidas de manera periódica o mensual, representando en promedio 12 aplicaciones al año. En la mayoría de los casos este control se realiza de manera preventiva, sin establecer un nivel de daño en el cultivo, lo que ocasiona además afectación en la fauna asociada al cultivo, como visitantes florales y polinizadores que contribuyen a la productividad del cultivo.

Siendo la polinización considerada como servicio ecosistémico estratégico en razón al papel clave que desempeña para la conservación de la diversidad biológica, el mantenimiento de la estructura y función de los ecosistemas, la producción de alimentos y la economía mundial, los polinizadores y controladores biológicos, deben ser reconocidos en los diferentes agroecosistemas a fin de utilizar medidas que permitan su conservación y sostenibilidad. En concordancia con los objetivos de crecimiento verde, la iniciativa colombiana de polinizadores (Minambiente, 2018), tiene por finalidad fomentar y orientar la gestión del servicio ecosistémico de la polinización y la conservación de los polinizadores en el país, destacando la importancia de los diferentes grupos biológicos que prestan este

servicio (abejas y otros insectos, aves y mamíferos) <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Iniciativa-Colombiana-de-Polinizadores.pdf>.

Dado que la importancia de este servicio ecosistémico es poco conocida por la sociedad y así mismo se desconocen las amenazas y la vulnerabilidad en que se encuentra, es necesario además, aumentar el conocimiento con respecto al estado de los polinizadores en la región, siendo los mecanismos locales de control y monitores una buena herramienta para documentar su abundancia y distribución (Minambiente, 2018). Al respecto, Carabali et al. (2017), registraron los visitantes florales y polinizadores predominantes en las principales zonas productoras de aguacate hass de los departamentos de Antioquia, Tolima y Cauca, que permiten reconocer la necesidad de aplicar un MIP en el cultivo para asegurar su sostenibilidad ambiental y económica en el corto y largo plazo (<https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13146/67239.pdf?sequence=3&isAllowed=y>).

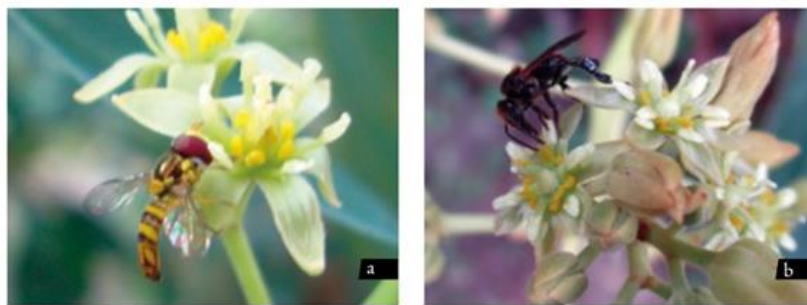


Figura 7. Insectos visitando las flores de aguacate en sus diferentes fases. a. Masculina; b. Femenina.



Visitadores florales y polinizadores presentes en cultivos de aguacate hass . Arriba. Insectos pertenecientes a los órdenes Diptera, Abajo: *A. mellifera* posada en una flor de *P. americana* cv. Hass. Fuente: Carabalí, (2017). <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13146/67239.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

4. Seguimiento y monitoreo durante todo el cultivo:

El monitoreo permite evaluar el nivel de incidencia de cada plaga, con el fin de obtener mediante observaciones a las plantas o toma de muestras en el cultivo, la información necesaria para aplicar el manejo requerido (Fig. 6). Este seguimineto y monitoreo, permitirá estimar el porcentaje de incidencia (enfermedades) o infestación (insectos plaga), para determinar el método de control más adecuado de acuerdo con los niveles encontrados.

Debe hacerse con una frecuencia semanal o quincenal, evaluando aleatoriamente mínimo el 10 % de los árboles de cada lote. Para esto se realiza recorrido en la zona de cultivo, en un patrón ya sea en X, Z o W, abarcando todo el lote sin tener en cuenta los bordes. La muestra

debe ser suficiente para proporcionar una estimación que pueda informar adecuadamente lo que se requiera saber con respecto a toda la población de plantas (Jaramillo, 2021; Castaño-Zapata, 1996).

Se sugiere iniciar el recorrido siempre por un punto de partida diferente en cada monitoreo, así como contar con los implementos mínimos para realizar esta acción tales como Planillas, elementos de protección personal, lupa, etc.

¿Qué se requiere para la implementación del MIP en el cultivo de aguacate?

- ✓ Diagnóstico oportuno y correcto de problemas fitosanitarios el cual se logra mediante el constante seguimiento al sistema productivo.

Investigaciones desarrolladas por Agrosavia desde hace varios años, han permitido establecer parámetros y protocolos de diagnóstico y manejo de plagas limitantes del cultivo de aguacate, basados en criterios de MIP disponibles para consulta de interesados, para lograr la sostenibilidad del sistema de producción e inocuidad de la fruta, en concordancia con lineamientos de la política de crecimiento verde (<https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/lineamientos-de-politica-de-crecimiento-verde>)

- ✓ Programar e implementar las acciones correctivas y/o preventivas en el momento oportuno.
- ✓ Asesoría de un asistente técnico o ingeniero agrónomo para el diagnóstico y control de plagas.

¿Qué beneficios y co-beneficios aporta la práctica de MIP en el cultivo de aguacate?

Los beneficios de esta práctica están articulados a la línea de acción la línea de acción 4. *Desarrollar el mercado de bioproductos y mejora de la competitividad en sectores relacionados con la bioeconomía*, que busca promover el desarrollo de la bioeconomía en la economía nacional, en sectores como bioenergía, biocosméticos, ingredientes naturales, salud y bioproductos agrícolas, entre otros aspectos vinculados a negocios verdes sostenibles. (DNP, 2018). En la cual entidades como El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el ICA y AGROSAVIA, aunarán esfuerzos para implementar estrategias orientadas al trabajo articulado en la cadena de valor, que estimulen la creación de empresas enfocadas al crecimiento verde, y el fortalecimiento de Sistemas Productivos agropecuarios Sostenibles incluyendo la Agricultura Campesina Familiar y Comunitaria (ACFC).

Beneficios:

Disminuye el uso de plaguicidas de síntesis química que afectan el medio ambiente.

Contribuye a la protección de insectos benéficos.

Contribuye a mejorar la inocuidad de la fruta para consumo.

Co-beneficios:

Aporta a la protección y restauración de ecosistemas fortaleciendo su resiliencia ante el cambio climático.

Mejora la estabilidad de la producción.

Se reduce la contaminación de suelos y aguas por residualidad de plaguicidas.

Facilita el cumplimiento de normas, estándares o sellos de calidad.

¿Cómo contribuye a reducir la vulnerabilidad al cambio climático?

Promoviendo la utilización de prácticas sostenibles para el control de plagas y enfermedades de los cultivos, aumento en producciones y rendimiento del cultivo, seguridad alimentaria y aumento y/o sostenibilidad de la producción.

1.3 Fortalecer la adaptación a la variabilidad y al cambio climático.

Para contribuir a la realización de los ODS en condiciones de clima cambiante, los sistemas de producción agrícola tienen que hacer frente simultáneamente a tres desafíos interrelacionados: aumentar la productividad y los ingresos agrícolas de manera sostenible; incrementar la resiliencia ante los efectos del cambio climático, y contribuir a atenuar el cambio climático, cuando sea posible (FAO, 2018). Mejorar la capacidad de adaptación de la agricultura al cambio climático, así como también potenciar el aumento de la resiliencia ante los fenómenos climatológicos, se convierte en una solución a las principales problemáticas que ocasiona el cambio climático en la población, especialmente en los sectores más vulnerables (AECID, 2018).

La agricultura climáticamente inteligente (CSA, siglas en inglés) constituye un enfoque que ayuda a orientar las acciones necesarias para transformar y reorientar los sistemas agrícolas a fin de apoyar de forma eficaz el desarrollo y garantizar la seguridad alimentaria en el contexto de un clima cambiante (FAO, 2021). Se trata de un enfoque innovador que busca impulsar la implementación de prácticas de adaptación y, siempre que sea posible, de mitigación a los efectos cada vez más impredecibles de las variaciones del clima sobre las actividades agropecuarias, desde una perspectiva de aumento de la productividad y de equidad social (IICA, 2022).

Las proyecciones indican que el cambio climático hará que aumente progresivamente la variabilidad interanual de los rendimientos de los cultivos en muchas regiones y, además, esto ocurrirá en un contexto de rápido crecimiento de la demanda, y de cambios en los patrones de consumo alimentario asociados a una mayor renta per cápita, con una tendencia a incrementar el consumo de alimentos con mayor huella de carbono y gases efecto invernadero (GEI) (AECID, 2018).

En Colombia, la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) entre otras políticas relacionadas (Ley 1931 de 2018 de cambio climático; la ley de acción climática 2169 de 2022 (https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/05/NDC_Libro_final_digital-1.pdf), destaca el valor de alternativas como las soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), la bioeconomía, la infraestructura sostenible y la agricultura climáticamente inteligente, para aplicación en la estrategia de crecimiento verde en el país, en especial en la adaptación de los sistemas de producción. Por lo tanto, se consideran medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción, reducir las emisiones de GEI, e incrementar la producción hasta un nivel suficiente que permita satisfacer una demanda creciente de alimentos y servicios ambientales en un clima con cambio constante (DNP, 2018; MADS, 2020; MADS, 2022; AECID, 2018).

En aproximación a experiencias enfocadas en la agricultura climáticamente inteligente y en la implementación de sistemas de producción resiliente en nuestro país a continuación, se presenta como alternativa para el fortalecimiento de la adaptación a la variabilidad y al cambio climático, el plan de manejo agroclimático integrado (PMAI). Este plan fue propuesto como concepto tecnológico en el área agropecuaria, y de aplicabilidad en varios sistemas de producción del país, desarrollado por el proyecto Reducción del Riesgo y

Adaptación al Cambio Climático - Modelos de Adaptación y Prevención Agroclimática (MAPA) ejecutado por Agrosavia, con la financiación de Fondo Adaptación, para atender la vulnerabilidad evidenciada por el sector agropecuario a partir de la ola invernal 2010.

Estas alternativas de desarrollo económico con amplio potencial en nuestro país por la riqueza y diversidad en nuestros recursos y de su capital natural, están articuladas con acciones del principio 5 de la política de crecimiento verde: *Fortalecer la mitigación y la adaptación al cambio climático de manera articulada con las iniciativas nacionales existentes en la materia*, que plantea la necesidad de conformar la red de unidades productivas modelo que incorporen en los sistemas de producción las buenas prácticas y tecnologías orientadas al crecimiento verde, diferenciadas por regiones.

1.3.1 Plan de manejo agroclimático integrado (PMAI) para el cultivo de aguacate.

El Plan de Manejo Agroclimático Integrado (PMAI) corresponde a una ruta de orientación para la planificación de labores a realizar en el cultivo, bajo condiciones climáticas limitantes identificadas, y que dan soporte a decisiones que los productores deben tomar, para enfrentar el efecto sobre los sistemas productivos y contribuir a la reducción de la vulnerabilidad en el mediano y largo plazo (Corpoica, 2017).

Este plan de manejo agroclimático incluye pautas para la gestión y utilización de la información climática y biofísica del territorio, y prácticas de manejo del cultivo sugeridas para lograr la adaptación o resiliencia de sistemas de producción a condiciones climáticas extremas como consecuencia de la variabilidad climática y el cambio climático. Para hacer frente a los retos del cambio climático, la población dedicada a la agricultura necesita tener

más y mejor información sobre los fenómenos climáticos, sobre la variabilidad climática, sobre el cambio climático y sobre sus causas y consecuencias (AECID, 2018).

La implementación del PMAI debe basarse en la zonificación agroclimática, para conocer a nivel regional y local, el comportamiento de variables climáticas durante el año, la probabilidad que se presenten eventos extremos o adversos, y las características de suelos y relieve que puedan afectar el desarrollo de cultivos como el aguacate, con amplia distribución de sus variedades en zonas planas y de ladera. La zonificación agroclimática del territorio constituye una estrategia de manejo del riesgo que guía la implementación de medidas de prevención y adaptación, y el aumento de áreas productivas bajo condiciones climáticas adversas (Brunini et al., 2010).

Estas acciones en conjunto contribuyen a implementar lineamientos para fortalecer las capacidades para el ordenamiento productivo agropecuario, la producción agropecuaria sostenible, y desarrollar modelos productivos que potencien la producción verde y una agricultura climáticamente inteligente, como pilar de la política de crecimiento verde (DNP, 2018).

¿Cómo aplicar el plan de manejo agroclimático integrado en el cultivo de aguacate?

1. Identificar las zonas aptas o de riesgo climático para el cultivo.

Un primer paso para la aplicación del PMAI, es conocer y analizar cuáles son las zonas aptas o idóneas a nivel territorial, para establecer y promover el desarrollo del cultivo, y disminuir el riesgo de pérdidas como consecuencia de las amenazas reconocidas o condiciones inadecuadas de suelos y relieve para el crecimiento de las plantas (Figura 7). Las características ambientales de Colombia permiten encontrar cultivos de aguacate en

producción desde zonas cálidas hasta zonas más templadas o frías (500 – 2200 m.s.n.m), lo que implica una amplia variedad de condiciones suelos, clima y de manejo agronómico que pueden modificar la expresión del material vegetal, reflejado en una alta heterogeneidad en producción y calidad del producto.

Para identificar las zonas aptas o con riesgo agroclimático para el cultivo, se requiere consultar información biofísica (clima, suelos y relieve) y de requerimientos del cultivo, en bases de datos y estaciones meteorológicas de instituciones oficiales, y mediante observación directa en campo. Esta información permite estimar las tendencias del clima local durante el año y la respuesta del cultivo frente a condiciones extremas que se puedan presentar y le generen estrés abiótico o biótico.

En el caso de aguacates de las variedades Lorena, choquette y hass, puede consultarse como referente para otras zonas productoras del país, el análisis realizado de riesgo agroclimático en los municipios de Fresno (Tolima), Landazuri (Santander), y El Tambo (Cauca) respectivamente, en el aplicativo del sistema experto MAPA desarrollada por Agrosavia (<http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/Inicio/>).

¿Cuáles son sus aportes al crecimiento verde?

La zonificación agroclimática del territorio constituye una estrategia de manejo del riesgo que guía la implementación de medidas de prevención y adaptación, y el aumento de áreas productivas bajo condiciones climáticas adversas (Brunini et al., 2010).

1. Identificar las zonas de adaptación agroclimática para el cultivo.

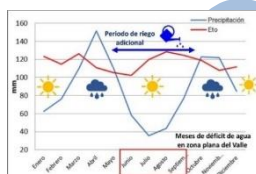
Identificar las zonas aptas para el cultivo en la región y el municipio:



a. Conocer las condiciones del clima en la zona del cultivo y su variación en el año.



b. Conocer los suelos y el relieve en la zona y los requerimientos del cultivo.



c. Comparar los requerimientos de la planta con las condiciones de suelos y clima de la zona, para generar alertas por riesgo agroclimático y tomar decisiones de manejo del cultivo.

2. Integración de opciones tecnológicas para manejo del cultivo.



Recursos genéticos:
Materiales tolerantes a estrés hídrico y problemas fitosanitarios derivados de eventos climáticos.

Gestión del recurso hídrico:
Sistemas de riego y drenaje.
Reservorios.
Cosecha de agua.



Gestión del recurso suelo:
Coberturas.
Conservación de suelos.
Abonos orgánicos.

Prácticas de manejo:
Manejo de la fertilización.
Manejo de plagas y enfermedades.
Nutrición y Sanidad animal.



Figura 8. Factores que integran el plan de manejo agroclimático en el cultivo de Aguacate. 1. Identificación de zonas de adaptación agroclimática para el cultivo; 2. Integración de opciones tecnológicas para manejo del cultivo; Diagrama: Diana Lucia Correa Moreno. Fotos: Alejandro Jaramillo, Diana Lucia Correa. Fuente: Jaramillo et al., 2016.

2. Integración de opciones tecnológicas de adaptación para manejo del cultivo:

Corresponde a la aplicación integral de tecnologías enfocadas en la gestión del suelo, gestión del agua, material de siembra y prácticas de manejo agronómico, para atención de limitantes del cultivo y aumentar la capacidad de adaptación frente a anomalías climáticas o condiciones desfavorables en el territorio (Figura 7).

Estas prácticas permiten mejorar su capacidad de adaptación frente a eventos climáticos extremos como precipitaciones que exceden los promedios normales multianuales o en caso contrario de déficit hídrico por disminución de lluvias prolongadas y altas temperaturas.

Existen muchas opciones para la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos en los distintos sistemas de cultivo. La idoneidad de estas opciones dependerá de los tipos específicos de estrés a los que se enfrenta el sistema, los mecanismos de resistencia y adaptación de los agricultores y el grado en que cada factor climático afecta los rendimientos (FAO, 2018).

En esta dirección, se sugiere integrar prácticas como las detalladas en este manuscrito, las cuales han sido validadas en cultivos de aguacate, tales como uso eficiente del recurso hídrico para irrigación del cultivo para la gestión del agua; conservación de suelos, manejo de cobertura vegetal, manejo eficiente de la fertilización y utilización de balance de nutrientes, aplicación de materia orgánica, para gestión del suelo; y prácticas de manejo sostenible del cultivo como el manejo integrado de plagas y nutrición del cultivo. Estas prácticas, entre otras que pueden estar disponibles para el manejo del cultivo, hacen parte del enfoque de crecimiento verde y contribuyen de acuerdo con indicadores estimados de productividad y sostenibilidad, a lograr un sector productivo y sostenible, en línea con otras políticas públicas

del país como la bioeconomía.

A nivel de opciones tecnológicas enfocadas a la adaptación del cultivo, se tienen experiencias de referencia, lideradas por Agrosavia en zonas productoras de aguacate en los departamentos de Cauca, Santander, Tolima y Antioquia (Jaramillo et al., 2016; Gutiérrez et al., 2016; Jaramillo- Bonilla et al., 2016; Dorado-Guerra et al., 2017; Rebolledo-Roa et al., 2016.). Estas experiencias se basaron en la identificación de amenazas climáticas para el cultivo en las diferentes zonas, y se seleccionaron mediante consenso con agricultores y asistentes técnicos, algunas prácticas para validación en campo, que pueden ayudar a disminuir la vulnerabilidad del cultivo frente a condiciones climáticas limitantes, como resultante del análisis de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

<http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/Inicio/>

Acorde a limitantes identificadas por estrés hídrico (exceso o déficit), en sistemas de producción de variedades Lorena, choquette y hass, se validaron en zonas productoras del país, prácticas como: plan de fertilización integrada y riego por goteo (caso 1); plan de fertilización integrada y riego por aspersión. (caso 2); establecimiento de cobertura vegetal y manejo integrado de fertilidad de suelo (caso 3); y manejo eficiente del riego y fertilización basada en índice de balance de nutrientes (caso 4) (Fig. 9 – 12). Estas prácticas fueron complementadas con otras dirigidas al manejo fitosanitario y conservación del suelo, como el manejo de plagas y enfermedades y aplicaciones de materia orgánica al cultivo.

Caso 1. Aguacate Hass, en fase de producción, en el municipio de El Tambo (Cauca - Colombia):

Escenario climático de evaluación: Déficit hídrico

Prácticas validadas: Plan de fertilización integrada + riego por goteo.

Manejo tradicional del cultivo: Fertilización sin criterio técnico – Sin Riego.



¿Qué se hizo?:

Se instaló un sistema de riego por goteo y se utilizó la metodología de balance hídrico diario para determinar la lámina y frecuencia de riego. Para determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc) se utilizó coeficiente del cultivo (Kc) de 0.78, que se emplea para árboles en etapa productiva. Se registró las variables climáticas de la estación climática instalada en la finca y de estaciones referentes estimándose un volumen de aplicación de 24 L. árbol⁻¹. El volumen de agua requerido por el cultivo se aplicó mediante un sistema de riego por goteo localizado de alta frecuencia (RLAF) con periodos entre riego de 2 días. Se instalaron 2 módulos de riego con tubería principal de 2" y secundaria de 1 ½". La distribución de la red de riego se realizó en tubería de 16 mm y en cada árbol se instaló doble anillo de riego, compuesto por 13 goteros de 8 L .h⁻¹ permitiendo aplicar agua directamente en la zona de raíces, con una eficiencia de aplicación del 90%.

Considerando el balance entre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, el estado nutricional de los árboles, las propiedades físicas y biológicas del suelo y el clima de la zona, se ajustó un plan de fertilización para suplir los requerimientos de nutrientes tomando como base un rendimiento de fruto de 15 t.ha⁻¹ (N (122 Kg.ha⁻¹), P₂O₅ (31 Kg.ha⁻¹), K₂O (154 Kg.ha⁻¹ (Salazar, 2002)). Se utilizaron fuentes de síntesis química (dosis. planta. año⁻¹) (DAP (18-46-0) (928 g); Cloruro de potasio (0-0-60) (2047 g); Nitrabor (825 g); Sulfato de magnesio (942 g); Quelato de manganeso (5 g); Quelato de boro (15 g), más elementos menores y aplicación de materia orgánica (50 kg) como enmienda orgánica. El plan nutricional se fraccionó en tres momentos de aplicación durante el ciclo productivo, iniciando previo a la floración (cada tres meses). Las fuentes de fertilizantes se incorporaron al suelo en la zona de gotera del árbol, donde se encuentra instalado el anillo exterior de riego para garantizar la humedad requerida para la absorción de la totalidad de los nutrientes (Jaramillo-Laverde, et al.,2016).

Indicadores de contribución a Crecimiento Verde



% Aumento en frutos de calidad

extra correspondiente a un

56,7% del total de la producción obtenida, con menos fertilizantes y agua en el cultivo.



63,3 mm. Bajo este esquema se logró obtener frutos de mayor tamaño.

Contenido de humedad del suelo, por encima de la lámina aprovechable durante épocas de déficit hídrico.

Figura 7. Caso 1. Validación de tecnologías que contribuyen a crecimiento verde en el cultivo de Aguacate hass (*Persea americana*) en El Tambo (Cauca – Colombia). Diagrama: Diana Lucía Correa Moreno. Fotos: Diana Dorado Guerra, Luis Carlos Grajales Guzmán. Fuente: Jaramillo et al., 2016.

Caso 2. Aguacate Lorena y choquette, en fase de producción, en el municipio de Landázuri (Santander – Colombia):

Escenario climático de evaluación: Déficit hídrico

Prácticas validadas: Plan de fertilización integrada + riego por aspersión.

Manejo tradicional del cultivo: Fertilización sin criterio técnico – Sin Riego.





Figura 8. Caso 2. Validación de tecnologías que contribuyen a crecimiento verde en el cultivo de Aguacate Lorena y Choquette, en etapa productiva, en el municipio de Landázuri (Santander – Colombia). Diagrama: Diana Lucía Correa Moreno. Fotos: Luis Carlos Grajales. Fuente: Gutiérrez et al., 2016.

Caso 3. Aguacate Lorena y Choquette en fase de producción en el municipio de Fresno (Tolima - Colombia):

Escenario climático de evaluación: Déficit hídrico

Prácticas validadas: Establecimiento de cobertura vegetal + Manejo integrado de fertilidad de suelo.

Manejo tradicional del cultivo: Control de malezas a ras de piso y fertilización sin criterio técnico.



¿Qué se hizo?:

Se implementó un sistema de manejo de las arvenses acompañantes del cultivo de aguacate realizando controles mecánicos, manejando la altura de las plantas a 15 cm del suelo y se aprovecharon los residuos de la poda como "mulch" disponiéndola en el plato del árbol. Considerando un manejo integrado de la fertilización, utilizando la técnica de balance de nutrientes como criterio de decisión, se estableció un plan de fertilización adaptado a las condiciones edafoclimáticas de la ubicación del huerto de aguacate. La aplicación de la fertilización se fraccionó en dos momentos en el año y se utilizaron fuentes de síntesis química (dosis . planta. aplicación-1): 10-30-10 (320 g); Sulfato de calcio (480 g); Borato de sodio decahidratado (32 g); Sulfato de magnesio (190 g); Sulfato de Zinc (96 g); 14-4-23 (800), más elementos menores y aplicación de lombricompost (15 kg) y micorriza (500 g) (Jaramillo-Bonilla, et al., 2016).

Indicadores de contribución a Crecimiento Verde



8 % más diversidad de especies vegetales como cobertura.

4,4 kg. m⁻² aumento. de materia vegetal sobre el suelo.

Aumento tamaño:

3,4% Aguacate Lorena.

7,1% Aguacate Choquette.

26% aumento de la producción en comparación a fertilización tradicional.

Figura 9. Caso 3. Validación de tecnologías que contribuyen a crecimiento verde en el cultivo de Aguacate Lorena y Choquette, en etapa productiva, el municipio de Fresno (Tolima - Colombia). Diagrama: Diana Lucía Correa Moreno. Fotos: Luis Carlos Grajales, Harold Rodriguez. Fuente: Jaramillo- Bonilla et al., 2016.

Caso 4. Aguacate Hass en fase de producción en los municipios de Rionegro (Antioquia), Morales (Cauca) y Herveo (Tolima):

Escenario climático de evaluación: Déficit hídrico

Prácticas validadas: Manejo eficiente del riego + Fertilización basada en índice de balance de nutrientes ..

Manejo tradicional del cultivo: Fertilización sin criterio técnico – Sin Riego.



¿Qué se hizo?:

Se implementó la práctica de manejo eficiente del riego utilizando un sistema de riego por goteo en doble anillo con 10 goteros cada uno de 8 l/h y la metodología de balance hídrico diario para determinar la lámina de riego ($L1 = 0.5$, $L2 = 0.75$ y $L3 = 1.0$ de la ET_o) y la frecuencia de riego apropiadas (Grajales-Guzmán, 2017; Dorado, et al., 2017). Se obtuvieron diámetros de frutos mayores con $L1$ y $L2$ en comparación con $L3$, y rendimientos de 16,9 y 19,2 t/ha respectivamente. Se aplicaron 57,5, 74,8 y 116,9 $m^3/ha/ciclo$ productivo correspondiente a $L1$, $L2$ y $L3$ respectivamente, significando un ahorro de agua del 49% para $L1$ y 36% para $L2$. Se realizó fertilización utilizando el índice de balance de nutrientes (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2003) como criterio para la definición de planes de fertilización, a partir de los análisis de suelo, los contenidos de nutrientes extraídos por la cosecha y la eficiencia de la aplicación de cada nutriente (Rebolledo-Roa y Dorado-Guerra, 2017).

Indicadores de contribución a Crecimiento Verde



50% aumento de la producción. en comparación a fertilización tradicional.

29 $kg. m^{-3}$ índice de productividad del agua (EUA).

36% Disminución, en el consumo de agua.

Figura 10. Caso 3. Validación de tecnologías que contribuyen a crecimiento verde en el cultivo de Aguacate Hass en etapa productiva en los municipios de Rionegro (Antioquia), Morales (Cauca) y Herveo (Tolima). Diagrama: Diana Lucía Correa Moreno. Fotos: Luis Carlos Grajales. Fuente: Dorado-Guerra et al., 2017; Rebolledo-Roa et al., 2016.

A partir de la validación en campo y según la variedad en evaluación se obtuvieron entre otros indicadores: 56,7% de frutos de calidad extra obtenida, con menos fertilizantes y agua en el cultivo en aguacate hass; aumento en tamaño de frutos para las variedades Lorena (3,4%) y Choquette (7,1%); y 36% menos consumo de agua en hass, alcanzando un índice de eficiencia de uso del agua (EUA) de 29.8 kg. m⁻³ utilizando riego por goteo (Fig. 9 – 11).

https://www.researchgate.net/publication/330486054_Manual_de_Notas_de_Aprendizaje/links/5c423d0592851c22a37fa4d5/download;

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13331>

3. Seguimiento y monitoreo a variables climáticas y de desarrollo del cultivo a nivel local:

Teniendo en cuenta la amplia heterogeneidad en condiciones de clima y relieve, de las áreas productoras de aguacate, se recomienda el seguimiento y monitoreo de variables climáticas y fisiológicas a nivel local y en el sitio de cultivo. Como ejemplo, se puede realizar seguimiento a la precipitación y humedad relativa con la ayuda de pluviómetros, higrómetros o estaciones meteorológicas instaladas en el sitio, así como identificación de síntomas de la planta en respuesta a estrés hídrico o nutricional, y a problemas fitosanitarios, que permitan establecer ajustes a las prácticas que se han seleccionado para ayudar a disminuir la vulnerabilidad del cultivo frente a condiciones climáticas limitantes.

¿Qué se requiere para la implementación de un plan de manejo agroclimático en el cultivo de aguacate?

- ✓ Disponer de registros de clima y características edáficas y relieve para análisis de características particulares del territorio y su comportamiento a través del año; así mismo,

se debe conocer los requerimientos ambientales del cultivo para identificar zonas o épocas de mayor riesgo para su desarrollo. Esta información se puede consultar en instituciones como IGAC, El IDEAM, Ministerio de Agricultura y Corporaciones autónomas regionales – CARs (<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>; <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>; <https://sipra.upra.gov.co>; <https://www.agronet.gov.co/agroclima/Paginas/default.aspx>; <http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/SEMapa/Inicio/>).

- ✓ Selección de prácticas de manejo del cultivo de acuerdo con requerimientos para su desarrollo, oferta biofísica del territorio y escenarios climáticos limitantes como exceso o déficit de precipitaciones.
- ✓ Asesoría de un asistente técnico o ingeniero agrónomo para orientar la toma de decisiones y recomendaciones para manejo del cultivo.

¿Qué beneficios y co-beneficios aporta la implementación del plan de manejo agroclimático en el cultivo de aguacate?

Los beneficios de este plan de manejo para el sistema de producción de aguacate están articulados con la línea de acción 15. *Gestión y transferencia de tecnología para la producción agropecuaria sostenible*, que desarrollará modelos productivos que potencien el crecimiento verde y una agricultura climáticamente inteligente, en respuesta a la limitante identificada en el sistema de extensión agropecuaria a nivel del país, el cual no incorpora elementos de gestión ambiental y del riesgo frente a la variabilidad climática y cambio climático (DNP, 2019).

Beneficios:

Manejo eficiente y sostenible de los recursos naturales en el marco de la sostenibilidad ambiental de los sistemas productivos.

Reduce la vulnerabilidad del sistema productivo ante condiciones climáticas extremas.

Reducción en gases efecto invernadero.

Co-beneficios:

Mayor acceso y oportunidad mercados.

Implementación de sistemas productivos integrales.

Generación de empleo y oportunidades para comunidades vulnerables.

¿Cómo contribuye a reducir la vulnerabilidad al cambio climático?

Este plan permite reducir la vulnerabilidad del cultivo promoviendo la utilización de prácticas de manejo sostenibles para favorecer su desarrollo y producción, bajo una condición de estrés de humedad en el suelo permanente o temporal. Contribuye al aumento en producciones y rendimiento del cultivo, seguridad alimentaria y aumento y/o sostenibilidad de la producción.

Consideraciones finales

En el marco de la política de crecimiento verde (CONPES 3934), las recomendaciones tecnológicas relacionadas con el establecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana*) bajo los lineamientos de conservación de suelos, manejo de coberturas vegetales, uso eficiente del riego, manejo de plagas y enfermedades y la adaptación a la variabilidad y cambio climático, son las estrategias sugeridas para optimizar el uso de los recursos naturales y fortalecer la adaptación a la variabilidad y el cambio climático.

La promoción e inclusión dentro del cultivo de aguacate de tecnologías sostenibles, integrando conceptos de agricultura climáticamente inteligente, permite mejorar la capacidad de adaptación del cultivo, mejorar la calidad de vida de los productores y aporta a la seguridad alimentaria de los territorios.

Las principales oportunidades de bionegocios que se generan del cultivo de aguacate bajo los criterios sugeridos, se encaminan en el aumento de la competitividad de los productores y la rentabilidad de la producción. Adicionalmente se estimula la actividad extensionista, la transferencia de tecnología y la investigación.

Actualmente, el país enfrenta nuevos retos ambientales que buscan equilibrar los recursos naturales con el desarrollo económico. Dadas las condiciones agronómicas con las que se cultivan actualmente los aguacates en el país se resalta la necesidad de potencializar la productividad mediante la implementación de tecnologías con enfoque de crecimiento verde. Al involucrar distintos sectores y territorios, la Política de Crecimiento Verde —como muchas políticas públicas— requiere altos niveles de empoderamiento o, por lo menos, de

colaboración y cocreación. Por lo tanto, se necesita implementar iniciativas empresariales y comunitarias que solo es posible concretar con cooperación, solidaridad y corresponsabilidad. Asimismo, es importante delegar tareas a los distintos actores de la sociedad que conocen y cuidan los territorios y las principales actividades relacionadas con los recursos y los ecosistemas ambientales.

Finalmente, teniendo en cuenta que en Colombia hay distintos niveles de cuidado y relación con los recursos naturales, ambientales y ecosistémicos, es fundamental contar con la cooperación de distintos actores en los diversos territorios. Por esta razón, la ciudadanía debe estar informada, capacitada y empoderada frente a los objetivos de la política, al ser esta sujeto de construcción colectiva.

Referencias

- [AECID] Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. 2018. Lecciones aprendidas sobre agricultura resiliente al cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y al derecho a la alimentación en américa latina y el caribe. Madrid. 105 p. https://www.aecid.es/Centro-Documentacion/Documentos/Publicaciones%20AECID/Agricultura_resiliente.pdf
- Alcaraz M., Thorp T., Hormaza J. 2013. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Sci Hort.* 164:434-439.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio riego y drenaje No. 56. Roma, Italia.
- Antúñez, A., Mora, D., Felmer, S. 2010. Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. INIA Tierra adentro, INIA Rayentué, Región de O'Higgins, Chile.
- [ASOHOFRUCOL] Asociación hortifrutícola de Colombia. 2009. Guía Ambiental Hortifrutícola de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá - Colombia. 92 p.
- [ASOHOFRUCOL] Asociación hortifrutícola de Colombia. 2019. Balance del sector hortifrutícola 2019.
- Barrientos Priego, A. F. 2010. El aguacate. CONABIO. *Biodiversitas*, 88:1-7.
- Bartoli JA. 2008. Manual técnico del cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* L.). La Lima, Honduras: Fundación Hondureña de Investigación.
- Bernal, J. A., & Díaz, C. A. (Comps.). (2020). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate (2.^a Ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.
- Brunel, N., Seguel, O. 2011. Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur*, 39(1), 1-12. doi:10.4206/agrosur.2011. v39n1-01.
- Castaño-Zapata, J. (1996). Estimación de enfermedades en plantas y sistemas de muestreo. *Fitopatología colombiana*, 20 (2), 59-68.

- Carabalí Muñoz, A., Caicedo Vallejo A., y Holguín C. 2021. Guía para el reconocimiento y manejo de las principales plagas de aguacate cv. Hass en Colombia. AGROSAVIA. Mosquera (Colombia). 136p. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404913>
- Carabali M. A., Pinchao, T. S., Lamprea, R. I., Peña, M, JF., Carabali, B. D. 2017. Insectos Polinizadores del aguacate *Persea americana* cv. Hass en Colombia. Corporación colombiana de Investigacion Agropecuaria-Corpoica. 96 pp.
- Carabalí M. A. 2014. Barrenador grande de la semilla de aguacate *Heilipus lauri*. En Actualización tecnológica en el cultivo de aguacate y buenas prácticas agrícolas. Pp.229-234. Corpoica. ISBN 978-958-8711-50-8.
- Carabalí M. A. 2014. Polilla de la semilla de aguacate *Stenoma catenifer*. En Actualización tecnológica en el cultivo de aguacate y buenas prácticas agrícolas. Pp.234-238. Corpoica. ISBN 978-958-8711-50-8.
- Carrazón-Alocén. 2007. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego, Serie: Tecnologías. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Honduras.
- Cenicaña. (2017). Manual de reconocimiento de arvenses en el cultivo de la caña de azúcar. Cenicaña. Cali (Colombia). 168p.
- [DNP] Departamento Nacional de Planeación. 2018. CONPES 3934. Concejo Nacional de política económica y social. Política de crecimiento verde. República de Colombia.
- [CORPOICA]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. 2017. Modelos de prevención y adaptación agroclimática - MAPA. Boletín técnico. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Fondo de Adaptación. Bogotá (Colombia). 24p. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34920>.
- [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2019. Evaluaciones agropecuarias municipales (EVA 2019). Boletín técnico. Bogotá: DANE.
- Dorado-Guerra, D., Grajales-Guzmán, L. C., Rebolledo-Roa, A. 2017. Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (*Persea americana*) variedad Hass en zonas productoras de Colombia. Mosquera, Colombia: [Corpoica] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/14/12/115->

[1?inline=1](#)

- [FAO] Food and Agriculture Organization of United Nations. 2013. El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. 11-12 p. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of United Nations. 2004. Mejoramiento de la calidad e inocuidad de Las frutas y hortalizas frescas. Un enfoque Práctico. Manual para multiplicadores. Roma.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of United Nations. 2019. Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Rome. 100 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of United Nations. 2021. Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe - Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas. 148p. <https://doi.org/10.4060/cb4415es>.
- [FAOSTAT] Food and Agriculture Organization of United Nations. 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es>
- Galindo Tovar, M. E., Lee Espinosa, H. E., Murguía González, J; Leyva Ovalle, O. R; Landero Torres, I. (2013). Domesticación y distribución geográfica de *Persea americana* Mill. en la época precolombina. Revista de Geografía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo Texcoco, México núm. 50-51, pp. 65-70.
- Gómez A., A. 1990. Las malezas nobles previenen la erosión. Avances Técnicos CENICAFE. No 151. 1- 4.
- Gómez-Aristizabal, A. (1990). Las barreas vivas conservan los suelos con cultivos de Café, Avances técnicos, CENICAFE, No. 152, ISSN 0120-0178, p:129-134.
- Grajales-Guzmán, L. C. (2017). Uso racional del agua de riego en cultivos de aguacate Hass (*Persea americana*) en tres zonas productoras de Colombia. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Gutiérrez, J., Figueredo, L., Zabala, A., Londoño, W., Bolaños, M., Rodríguez, G. 2016. Plan de manejo agroclimático integrado del sistema de aguacate (*Persea americana* Mill) municipio de Landázuri, Santander.
- Hodges, T. 1991. Introduction in Predicting Crop Phenology. CRC Press. Boca Raton, FL.

- [ICA] Instituto Colombia Agropecuario. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* Mill), medidas para la temporada invernal.
- [ICA] Instituto Colombia Agropecuario. 2014. Distribución de especies cuarentenarias del aguacate Hass en el oriente de Antioquia y en el norte del Tolima en Colombia. Bogotá: ICA.
- Jaramillo, A. 2021. Enfermedades. En: Plagas y enfermedades de la guayaba (*Psidium guajava*) en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Mosquera (Colombia). 156p
- Jaramillo-Bonilla, S., Navarro, K., Rivera, J. J., Bolaños, M., Gómez, J., Castelblanco, L., Melo, W., Acosta, J., Aguirre, C., Rodríguez, G. 2016. Plan de manejo agroclimático integrado del sistema de aguacate (*Persea americana* Mill) municipio de Fresno, Tolima.
- Jaramillo, A., Arredondo, S., Trejos, A. M., Trujillo, W., Mora, D., Correa-Moreno, D. L., Bolaños, M. M., Rodríguez, G. 2016. Plan de manejo agroclimático integrado del sistema de aguacate (*Persea americana* Mill) municipio de El Tambo, Cauca.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., Olguín, A. 2015. Manual de capacitación: riego por goteo. INTA-Argentina, 1ra Edición especial 22 pp.
- Lowery, B., Arshad, M.A., Lal, R. and Hickey, W. J. (1996). Soil water parameters and soil quality. P.143-157. In: J.W. Doran and A. J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Ivancovich, A., Botta, G., Ploper, D.A., Laguna, I., Annone, J.G. (1998). IV Curso de diagnóstico y manejo de enfermedades de soja. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. EEA INTA Pergamino. 54 p.
- [MAVDS] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2012. Editor: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- [MAVDS] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2018. Iniciativa colombiana de polinizadores / eds.: Moreno Villamil, Rodrigo; Vélez Velandia, Danny; Gómez Hoyos, Antonio José; Higuera Díaz, Diego; Carvajal González, Jessica; López Vargas, Claudia Marcela; Melo, Daniel. --- Bogotá, D. C.: Colombia. 60 p
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-being:

- Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A., Kinje, J. 2009. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, Vol. 97, pp: 528–535
- Moros, L., Matallana, J., Beltrán, M.F. 2020. Pagos por servicios ambientales y objetivos de desarrollo sostenible en américa latina: ¿hacia dónde deben orientarse?. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina (CODS). Boletín No 6. 39 p. Bogotá - Colombia
- [SIOC- MADR] Ministerio de agricultura y desarrollo rural. 2021. Consejo Nacional del Aguacate, indicadores e instrumentos. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. Bogotá: MADR.
- [OCDE] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. 2014. Evaluaciones del desempeño ambiental: Colombia 2014: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264208292-en>.
- [ONU] Organización de las Naciones Unidas. 2021. Consumo y Producción Sostenible para una recuperación resiliente e inclusiva en América Latina y el Caribe: Lanzamiento regional de GO4SDGs . Boletín. 4 p.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L. & Grace, P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187: 87-105.
- Pernalete, Z., Piña, F., Suárez, M., Ferrer, A., Aiello, C. (2008). Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. *Bioagro*, 20(1), 3-10.
- Perry, C., Steduto, P., Allen G, R., Burt, C. M. 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*, Vol. 96, pp: 1517 – 1524.
- Quiroga-Rojas, L. F. 2014. Efecto de la aplicación de Fungicidas y bagazo de caña sobre la actividad biológica y bioquímica de la rizosfera de aguacate (*Persea americana*). Tesis de Maestría en Ciencias/Magister Universidad del Valle – Univalle.

- Rebolledo-Roa, A., Dorado-Guerra, D. Y. 2017. Criterios para la definición de planes de fertilización en el cultivo de aguacate Hass con un enfoque tecnificado. Mosquera, Colombia: [Corpoica] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. 116 p.
- Ríos-Castaño, D., Corrales-Medina, D. M., Daza-Gómez, G. J., & Aristizábal-Gallo, A. (2005). Aguacate: Variedades y patrones importantes para Colombia. Palmira, Colombia: Feriva.
- Salazar, S., and I. Lazcano. (2001). Identifying fruit mineral removal differences in four avocado cultivars. *Better Crops International* 15(1): 28-31.
- Salazar-García, S. and Lazcano-Ferrat, I. 2003. La fertilización en “sitio específico” incrementa los rendimientos y el tamaño de la fruta del aguacate en México. *Actas del V Congreso Mundial del Aguacate*. Granada-Málaga, España. 19 al 24 de Octubre 2003. Vol. I:373-377.
- Shaxson, F., Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, boletín de suelos de la FAO No. 79. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, Italia.
- Sumbali, G., Johri, B. M. (2005). *The Fungi*. Alpha Science International, pp. 298.
- Torrado- Pacheco, A. 2005. Buenas prácticas agrícolas sistema de aseguramiento de la inocuidad de los alimentos. Bogotá. ICA. Produmedios. 16p.
- [USDA] Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.
- Ureña, Zumbado, J. D. 2009. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en el Cultivo de Aguacate. Consultado en. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-9896.pdf>
- Weigelt, J., Müller, A., Janetschek, H. & Töpfer, K. 2015. Land and soil governance towards a transformational post-2015 development agenda: an overview. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15: 57-65.
- Wunder, S. (2015). Revisiting the concept of payments for environmental services. *Ecological Economics*, 117, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.08.016>.

Glosario

Afectación: acción y efecto de afectar o hecho de resultar afectado, en los distintos sentidos

del verbo afectar (producir alteración o daño, y en lenguaje jurídico o administrativo, destinar) (RAE).

Agricultura climáticamente inteligente: Agricultura que integra las tres dimensiones del desarrollo sostenible (económica, social y medioambiental), abordando de forma conjunta la seguridad alimentaria y los retos climáticos, y se basa en tres pilares fundamentales: incrementar de forma sostenible la productividad y los ingresos agrícolas; adaptar y desarrollar resiliencia al cambio climático; y reducir y/o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero donde sea posible.

Agricultura resiliente al cambio climático: Es aquella forma de plantear la agricultura que, gracias a estrategias de adaptación, de diversificación, de prevención y gestión de riesgos, y de aprovechamiento de la biodiversidad, puede hacer frente a la variabilidad del clima en temperaturas y precipitaciones y a los fenómenos climáticos extremos, aguantando los shocks externos y reorganizándose para poder cumplir la función de garantizar la seguridad alimentaria de la población.

Arvenses: Especies vegetales presentes en los ecosistemas agrícolas que compiten por agua y nutrientes con las plantas en cultivo (Cenicaña, 2017).

Bagazo de caña: es un material lignocelulósico constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Se obtiene como subproducto o residuo en los centrales azucareros después de la extracción del jugo de caña de azúcar (Pernalet et al., 2008).

Balance hídrico: Nivel de equilibrio entre entradas y salidas de agua al interior de una región hidrológica bien definida, teniendo en cuenta las variaciones efectivas de la acumulación y el comportamiento de la oferta de agua. Se aplica también para establecer el balance de aguas en procesos agrícolas e industriales (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Tesauro ambiental para Colombia). (Disponible en: <http://bibliovirtual.minambiente.gov.co/documentos/tesauro/naveg.htm>)

Barreras vivas: son cultivos o plantas de larga duración, sembrados en hileras tupidas o alta densidad, de porte entre 30 a 50 cm, dispuestas en curvas de nivel principalmente en las laderas, con el propósito de controlar la erosión (Gómez-Aristizabal, 1990).

Coefficiente del cultivo (Kc): integra las diferencias entre la evaporación del agua desde el suelo y la transpiración del cultivo de referencia con respecto a un cultivo en particular y de este modo estimar el consumo de agua de un cultivo (Allen et al., 2006).

Déficit de humedad: es la disminución de la humedad del suelo en períodos de tiempo, que puede afectar el desarrollo de las plantas (Shaxson & Barber, 2005)

Incidencia: se refiere a la cantidad de unidades vegetales (plantas, hojas, frutos, etc.) que están afectados por una plaga o enfermedad en una población cualquiera y se expresa como porcentaje de la población total evaluada (Ivancovich, et al., 1998).

Edáfico(as): perteneciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a las plantas.

Edafoclimáticas: Relativo al suelo y al clima (<https://diccionario.raing.es/es/lema/edafoclim%C3%A1tico>).

Evaporación: es el proceso por el cual el agua se convierte en vapor de agua y se remueve de la superficie (Allen et al., 2006).

Evapotranspiración (ET): es la unión de los procesos de evaporación y transpiración, dado que ocurren simultáneamente y no es posible diferenciar la ocurrencia de los dos (Allen et

al., 2006).

Fenología: el estudio de los eventos biológicos de las plantas que se presentan de manera periódica (por ejemplo: inducción floral, flujos de crecimiento vegetativo, floración, crecimiento del fruto, cuajado, abscisión, etc.), relacionados con el clima y, especialmente, con los cambios estacionales a los que se encuentran sometidas las plantas (Rebolledo & Dorado, 2017).

Flujos fenológicos: fenómenos biológicos vinculados a ciertos ritmos periódicos tales como la brotación, floración, y fructificación, entre otros asociados con el ambiente en que ocurren (Hodges, 1991).

Higrómetro: Un higrómetro o higrógrafo es un instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad del aire o de otros gases. En meteorología es un instrumento usado para medir el contenido de humedad en la atmósfera.

Infiltración: Proceso de penetración del agua en el suelo, la que depende del tipo de suelo, la estructura del suelo y del contenido de agua en el suelo (Lewery et al., 1996).

Inocuidad: es la garantía de que los alimentos no causarán perjuicio o daño al consumidor, cuando sean preparados e ingeridos de acuerdo con su uso previsto. (FAO, 2004).

Mulch: es una capa de materia orgánica suelta, como paja, hierba cortada, hojas y otros materiales similares, que se utiliza para cubrir el suelo que rodea las plantas, o que se coloca entre las hileras de plantas para proteger el suelo. (Disponible en: www.potalfruticola.com).

Oomiceto: son un grupo de protistas filamentosos pertenecientes al grupo de los pseudohongos. El nombre significa "hongos huevo" y se refiere al oogonio, estructura grande y esférica que contiene los gametos femeninos.

Percolación: se refiere al movimiento del agua dentro del suelo (www.edafologia.net).

Recursos fitogenéticos: definen como el material genético o la diversidad genética

correspondiente al reino vegetal, que se considera poseedora de un valor para el presente y el futuro. Se incluyen los siguientes tipos: variedades de especies cultivadas (tanto tradicionales como comerciales), especies silvestres o asilvestradas afines a las cultivadas o con un valor actual o potencial, y materiales obtenidos en trabajos de mejora genética.

Resiliencia: El IPCC define la resiliencia como la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa, respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación

Sostenibilidad hídrica: se refiere al aprovechamiento del recurso hídrico garantizando la provisión de agua para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, mediante la aplicación de buenas prácticas que determinen la sostenibilidad del recurso y con el menor impacto tanto ambientales como económicos (Global Water Partnership; Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Tesoro ambiental para Colombia). (<https://www.gwp.org/en/Website-Information/Glossary/?az=w>)

Textura del suelo: se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en el suelo. La textura es uno de los más estables atributos del suelo pudiendo sólo ser modificada ligeramente por cultivación y otras prácticas que causan la mezcla de las diferentes capas del suelo (USDA, 1999).

Tensiómetro: El tensiómetro agrícola es un sensor utilizado en la agricultura para medir el esfuerzo que las raíces deben realizar para extraer la humedad del suelo.

Transpiración: La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera (Allen et al., 2006).