



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA
PARA EL CULTIVO DE PALTA”**

Trabajo de Investigación para optar el grado académico de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:
Ynés de Fátima Juárez Laguna

Asesor:
Luis Abraham Gomero Osorio

Lima – Perú
2019

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°189-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 27 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua para el cultivo de palta**, presentado por:

- **Juárez Laguna Ynés de Fátima**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua para el cultivo de palta** con N° de registro de la carrera: **026-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE PALTA

Ynés de Fátima Juárez Laguna y Luis Abraham Gomero Osorio

Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Ingeniería Ambiental

fatima980905@gmail.com

RESUMEN

Uno de los principales efectos del cambio climático es la escasez del agua en las cuencas, no sólo en cantidad sino además en calidad, esto está alterando los ciclos productivos de los cultivos aledaños a las cuencas hidrográficas o las que dependen del agua de estas, especialmente en la costa del país, región desértica de baja disponibilidad hídrica. Sin embargo, es una gran zona productora y de exportación de palta. El objetivo del artículo fue determinar los impactos que genera el cambio climático en la disponibilidad de agua para el desarrollo adecuado del cultivo de palta. El palto es un cultivo que requiere de cantidades específicas de agua y esta demanda varía de acuerdo a la etapa de crecimiento, la cantidad de agua disponible se ve alterada por la variación del ciclo hidrológico, generada por el cambio climático. La variabilidad de la cantidad de agua para riego resulta perjudicial para el cultivo, tanto para el fruto como para el árbol, afectando las siguientes temporadas agrícolas y a la economía peruana por el gran aporte en el Producto Bruto Interno (PBI) nacional y en la generación de empleo. Por lo cual es importante determinar el requerimiento hídrico del cultivo en diversos escenarios hídricos para tomar medidas y evitar pérdidas económicas.

Palabras clave: cambio climático, recurso hídrico, agricultura, palta, requerimiento hídrico del cultivo.

ABSTRACT

One of the main effects of climate change is the scarcity of water in the basins, not only in quantity but also in quality, this is altering the production cycles of crops near watersheds or those that depend on water from them, especially on the coast of the country, a desert region with low water availability. However, it is a large avocado producing and exporting area. The objective of the article was to determine the impacts that climate change generates on the availability of water for the adequate development of avocado cultivation. The avocado is a crop that requires specific amounts of water and this demand varies according to the stage of growth, the amount of water available is altered by the variation of the hydrological cycle, generated by climate change. The variability of the quantity of water for irrigation is detrimental to the crop, for the fruit and for the tree, affecting the following agricultural seasons and the Peruvian economy for the great contribution in the national Gross Domestic Product (GDP) and in the generation of employment. Therefore, it is important to determine the water requirement of the crop in various water scenarios to take measures and avoid economic losses.

Keywords: climate change, water resource, agriculture, avocado, water requirement of crop.

CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es un proceso complejo, cerrado y dinámico por el cual, se da el movimiento del agua por la Tierra en diferentes estados. (Maderey y Jiménez, 2005). Comprende diversas etapas como la precipitación, filtración, evaporación, condensación del agua y su interrelación (Pulido, 2014):

- **Precipitación:** Es la caída del agua sobre la superficie terrestre, esta puede ser en estado líquido como las lluvias o sólido como la nieve o granizo. Este proceso se da por la sobresaturación de masas de aire caliente que se elevan por diferencia de densidad, con respecto a las masas de aire frío.
- **Temperatura del aire:** A nivel del suelo, esta medida es muy importante, ya que va a influenciar directamente en la evaporación del agua.
- **Evaporación y transpiración:** Es el cambio físico de estado del agua líquida a vapor. Además, se considera el paso de agua sólida a gaseosa, procesos denominado sublimación. La transpiración se define como la evaporación por parte de los procesos biológicos de las plantas. Estos dos términos se suelen medir en conjunto bajo la denominación de “evapotranspiración”, ya que el cálculo por separado es muy complejo.
- **Escorrentía:** Es el agua proveniente de la precipitación que no se evapora ni se infiltra, sino que fluye por la superficie del terreno.
- **Infiltración:** Es el proceso por el cual, el agua precipitada que no se ha evaporado ni escurrido, se introduce en el suelo y subsuelo. Esto se puede ver afectado por las condiciones del terreno, superficie y ambientales, como: compactación, pendiente, textura, estructura y temperatura.

Aproximadamente el 70% del territorio mundial se encuentra cubierto de agua, esto equivale a 1.386 millones de kilómetros cúbicos, lo cual comprende todo tipo de agua en sus diversos estados. Más del 97% de esta agua, es agua salada, inutilizable por el hombre, quedando solo el 3% de agua dulce, de la cual, aproximadamente el 68.7% del agua dulce se encuentra en los glaciares y nieve y el 30.1% es agua subterránea y el 0.8% compone el permafrost. quedando tan solo como porcentaje potencial utilizable el 0.4%, el cual comprende el agua que se encuentra en la superficie como ríos y lagos, además del agua atmosférica (Blanco de la Torre, 2017).

DISPONIBILIDAD HÍDRICA

América Latina y el Caribe, es una zona que posee gran cantidad de recursos hídricos, concentrando aproximadamente el 30% de recursos mundiales. Sin embargo, la distribución en toda la región es heterogénea; zonas que son la base de la actividad económica como México, República Dominicana, Chile y Perú se ubican en áreas con baja disponibilidad hídrica (Peña, 2016).

El agua disponible en un área se define como la función entre el volumen promedio almacenado en la zona, el agua que se va a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración, además se toma en cuenta la variabilidad de la disponibilidad de agua por diferencia de época seca y húmeda (Morejón et al., 2015).

Las zonas de alta disponibilidad hídrica como cauces de los ríos y cuencas hidrográficas han sido siempre los lugares para oportunos para el establecimiento de las poblaciones, ya que con el uso de esta fuente sustentaban sus actividades agropecuarias y el desarrollo humano. Actualmente, estas zonas son las más perjudicadas por el cambio climático, problema a nivel global que pone en riesgo la disponibilidad del agua e influye

en la sobreexplotación del recurso (Burstein, 2018). Además, la demanda por el recurso y la variabilidad de la disponibilidad del agua producida por el cambio climático, genera crisis hídrica y conflictos por la escasez del recurso, ya que todos los involucrados esperan tener el control y acceso al agua (Damonte y Lynch, 2016).

Una cuenca hidrográfica es entendida como un sistema de drenaje natural ya que vierte sus aguas al mar o alimenta a un río. Una cuenca hidrográfica se encuentra limitada por la línea divisoria de aguas y se divide por zonas: alta, media y baja. En el Perú, en la zona alta se observa muy poca población y mínima actividad de pastoreo; en la zona media, hay mayor población y las actividades dependen de las condiciones ambientales y variabilidad climatológica; en la zona baja, se desarrolla la agricultura intensiva en los valles. (Ramos y Vergara, 2017). El ciclo hidrológico y su dinámica, explican la distribución y comportamiento de una cuenca hidrológica (Coral, García, y Leal, 2015).

El relieve peruano es el principal factor de modificación y variabilidad de características y comportamiento de los recursos hídricos (Paredes y Guerrero, 2013).

La disponibilidad hídrica de una cuenca se define como la cantidad de agua precipitada menos el volumen de agua que regresa a la atmósfera en forma de evaporación o transpiración; que será demandada en uno o varios puntos de la cuenca para diversos usos (Carchi, 2015; Díaz, 2017). Además, la disponibilidad se encuentra en función de la variabilidad hídrica de épocas lluviosas o de sequías, esta diferencia por temporadas, brinda diversos escenarios de disponibilidad hídrica para su respectivo análisis en el balance hídrico (Morejón et al., 2015).

BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico de una cuenca se define como la expresión cuantitativa de la cantidad de agua que posee una cuenca con respecto al tiempo (Espinoza, 1989), tiene como finalidad evaluar de manera cuantitativa los recursos hídricos (Calle, 2017) y los cambios producidos por la influencia del hombre y sus actividades. Para determinar el balance hídrico de una cuenca, se aplica el principio de conservación de masas o ecuación de la continuidad, la cual indica que la diferenciación de volumen de agua depositada determinará las entradas y salidas de agua de la cuenca (Sokolov, Chapman, y Heras, 1981).

La ecuación de balance hídrico es la siguiente (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura - UNESCO, 2006):

$$dV/dt=E-S$$

Donde:

dV = variación de volumen

dt = intervalo de tiempo

E = entradas de agua

S = salidas de agua

El balance hídrico de la cuenca del río Huaura indica un déficit en el caudal del agua de 4.11 Millones de Metros Cúbicos (MMC) en los meses de setiembre y octubre; de enero a abril, la cuenca presenta un exceso en el caudal. Así mismo, según el balance realizado, se obtuvo que los años 1991-1992 fueron los más secos, mientras que los años 1918-1919, 1929-1930 y 1923-1924 fueron los más abundantes de caudal (Aguirre Nuñez, 1998).

El volumen de agua disponible de la cuenca abarcará diversas necesidades a lo largo de esta. El uso varía de acuerdo a las actividades de la zona, estas podrán ser de tipo económicas como producción, minería, agricultura, pesca y electricidad; o de protección y conservación de ecosistemas (Collado, 1998). En el caso de la cuenca del río Huaura, el uso de agua es principalmente para la agricultura del valle.

El agua, el suelo y el clima, componentes del balance hídrico, intervienen en el crecimiento y producción de cultivos (Sánchez, Villaseñor, Espinoza, y Cuenca, 2017). Por lo cual es muy importante estudiar y monitorear el balance hídrico de las cuencas para mantener las condiciones adecuadas para los cultivos de la zona.

AGUA Y AGRICULTURA

La actividad agrícola aumenta la competencia existente por el agua dulce con otras actividades como industria y agua para consumo humano, ya que dicha actividad, demanda más del 70% del agua disponible, generando la escasez por una inadecuada distribución del recurso hídrico (Gaspari, Diaz, Delgado, y Senistera, 2015).

La costa peruana es una zona desértica y de disponibilidad hídrica baja, por lo cual, para el aprovechamiento del agua y suelo, es imprescindible aplicar prácticas adecuadas de riego en cantidad y tiempos apropiados al cultivo y a los factores climáticos, ya que, si se aplica más o menos agua de la requerida por el cultivo, se podría alterar las propiedades del suelo o disminuir la producción del cultivo. El requerimiento hídrico del cultivo se determina mediante la evapotranspiración de referencia (ET_o) y el coeficiente del cultivo (K_c) (García, Huahuachampi y Soto, 2017).

La producción agrícola del valle Huaura se basa principalmente en los cultivos de maíz, alfalfa, camote, caña de azúcar, mandarina, naranja y palta, con más de 15 000 toneladas

al año. El cultivo de palta, contaba en el año 2014 con 234 ha. de superficie sembrada en la provincia de Huaura, con un rendimiento promedio de 14 365 kg/ha (Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI, 2014).

CULTIVO DE PALTA

La palta o aguacate (*Persea americana*) es un cultivo originario de América, principalmente de México y Guatemala. Con el intercambio comercial entre civilizaciones nativas, la palta llegó a Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú. El cultivo de palta alrededor del mundo ha ido en constante aumento, desde los años 2000 al 2012 se ha observado un crecimiento exponencial de 43% de hectáreas de cultivo de palta. Actualmente, los países con que poseen grandes extensiones de terreno para la cosecha de palta son los siguientes: México, Chile, Colombia, Estados Unidos, Indonesia y Perú, superando las 20,000 ha (Galantini, Armando, Urrego, y Castro, 2015)

En el Perú, las zonas de mayor producción de palta son Ancash, Arequipa, Ayacucho, Ica, La Libertad, Lima, Moquegua y Tacna, abarcando la costa del país, zona desértica y de bajo déficit hídrico. Sin embargo, esto no impide la producción y desarrollo de este cultivo en sus diversas variedades, asentándose en el territorio peruano en 17,500 ha (Anyosa, 2013).

La exportación peruana de palta se dirige principalmente hacia Europa, Estados Unidos, Canadá y Chile. Desde el 2000, hacia el 2015 se ha incrementado la exportación en 140,421 kg/año, y se considera que esta cifra seguirá aumentando hacia los próximos años por el aprovechamiento de nuevas tierras por parte de las empresas productoras de palta en el Perú (Velásquez, Zegarra, y Daga, 2015).

El cultivo de palta para exportación consume grandes cantidades de agua durante todo su ciclo y principalmente los campos de cultivo son regados con agua proveniente de fuente superficial., Aproximadamente es necesario 715 l. para la exportación de 1kg. de palta (Pegram et al., 2015). Lo cual nos demuestra que la importancia mundial de este cultivo, pone gran peso en la relación y control del agua, especialmente en la producción de palta en zonas desérticas (Carr, 2013).

El manejo de riego, principalmente la provisión requerida por el cultivo es uno de los componentes más importantes dentro de la producción de palta. Por ejemplo, uno de las etapas más críticas para el uso adecuado de agua es en la primavera e inicios del verano, ya que, durante este periodo, el árbol despliega el sistema radicular y se da una gran demanda de nutrientes, por lo que, si hay deficiencia hídrica, el crecimiento de brotes y frutos será limitado y lento; y si hay exceso de agua, los frutos pueden presentar desórdenes internos (Ferreyra y Selles, 2017; Torres, 2017).

La temporada del Niño Costero es una gran problemática para los productores de palta, ya que la variación de las condiciones climáticas como el aumento de temperatura, y fuertes precipitaciones impactan en las plantaciones alterando las etapas de crecimiento del cultivo (Romero, 2017).

- **Requerimiento hídrico del cultivo**

Existen diversos métodos para calcular el requerimiento hídrico de los cultivos, uno de ellos es CROPWAT, un software libre y sencillo desarrollado por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO (Saravanan y Saravanan, 2014) el cual permite estimar la demanda de agua del cultivo y planificar el riego en base a datos de clima, suelo y cultivo (Martin. Smith, 1992). La exigencia de datos es baja, por lo cual este modelo ha sido

aplicado para determinar huella hídrica de cultivos y programación de riego en diversos países en vía de desarrollo (Morillas, Durán, Suárez, y Johnson, 2018).

Este programa factible ayuda al ingeniero de irrigación y al agrónomo para determinar y calcular los estándares en el plan y la organización del riego (Martin. Smith, 1992) Entre sus funciones está el cálculo de evapotranspiración, requerimiento hídrico del cultivo y el programa de riego del cultivo. Así mismo, por medio de un balance hídrico, se pueden representar diversos escenarios de abastecimiento de agua, se puede evaluar, además, reducciones de rendimiento, eficiencia de riego y precipitación; incluye también la programación, métodos y evaluación de medidas de riego, efectos de producción bajo condiciones de sequías y secano (M Smith, Kivumbi, y Heng, 2002).

- a) Análisis de suelo: El suelo es un sistema vivo y dinámico, soporte de organismos vivos y fuente de trabajo; funciona por medio de equilibrio y la interrelación de sus componentes químicos, físicos y biológicos (Moreno, González, y Egido, 2015).
 - i. Textura: El suelo está compuesto por elementos inorgánicos como la arena, limo y arcilla; los cuales van a determinar la textura del suelo según su porcentaje presente (Novillo et al., 2018). La textura del suelo adecuada para el cultivo de palta debe ser franco. Sin embargo, se desarrolla en suelos franco-arenosos y arenosos-francos (Rendón, Artunduaga, Ramírez, Quiroz, y Leiva, 2011).
 - ii. Humedad aprovechable (HA): Es la lámina de agua comprendida entre la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP); esta variable tiene una proporción directa con la productividad de los

cultivos. La humedad aprovechable varía en relación al tipo de suelo y prácticas agrícolas adoptadas, por lo cual es específica para cada zona agrícola (Salcedo et al., 2007).

- iii. Agotamiento inicial de la humedad del suelo: Es el porcentaje de humedad en el suelo al comienzo del periodo del cultivo. A Capacidad de Campo el porcentaje del agotamiento inicial de la humedad será 0%, mientras que a Punto de Marchitez Permanente será 100% (Lozano y Cortés, 2016).

b) Análisis de cultivo

- i. Ciclo del cultivo: En el ciclo de cultivo de la palta se diferencian tres etapas. La primera etapa inicia en la primavera, con el desarrollo de los brotes, los cuales en el otoño formarán yemas florales; la segunda etapa inicia en la siguiente primavera con la floración, se polinizan las flores y los frutos cuajan durante la primavera y el verano y crecen durante el otoño e invierno; en la tercera y última etapa se da el crecimiento máximo de la palta durante la primavera y el verano listo para su cosecha (Torres, 2017).
- ii. Coeficiente del cultivo (kc): Varía en relación a las etapas de crecimiento del cultivo, además, depende del agua disponible en el suelo, condiciones meteorológicas y fenología de plantas (Salgado y Bozzolo, 1997), el coeficiente tiene relación con el porcentaje de cubrimiento del cultivo, por lo cual es importante su determinación en zonas agrícolas para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos. En el caso de la palta, es un cultivo perenne que mantiene la canopia en toda la temporada, haciendo

el coeficiente de cultivo constante en todo el ciclo (Gardiazabal, Magdahl, Mena, y Wihelmy, 2003; Selles van Sch y Ferreyra, 2013).

El coeficiente de cultivo se encuentra en función de la evapotranspiración de referencia (ETc) y la evapotranspiración del cultivo (ETo), se puede expresar de la siguiente manera (García Villanueva et al., 2017):

$$Kc=ETc/ETo$$

- iii. Profundidad de raíces: Los flujos de crecimiento de las raíces del palto ocurren durante la primavera y el otoño, diversos factores como la textura, compactación, porosidad y humedad influyen en el desarrollo de las raíces del cultivo (Salazar, Rocha, Ibarra, y Bárcenas, 2015). El árbol de la palta tiene un sistema radicular superficial, aproximadamente el 80% de las raíces se encuentran entre los 40 y 60 cm. de la superficie del suelo. La absorción del agua se da principalmente en los primeros 40 cm. del suelo, por lo cual, es importante mantener esta zona al nivel adecuado de humedad (Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIA, 2004).
- iv. Factor de reducción de rendimiento (ky): Es un valor adimensional y se entiende como el factor de sensibilidad del cultivo frente a la escasez del agua (González, Cisneros y Montilla, 2017). Esta variable varía de acuerdo a la etapa del cultivo, de la fase inicial a la fase de término, el rango de ky va de 0.85 a 1.2 (Ovalle, 2012).
- v. Altura de cultivo: El árbol de la palta puede llegar incluso hasta los 12 m. de altura, pero se recomienda para el adecuado control de los cultivos, estos no deben exceder de los 6m. Por lo cual, es importante realizar las podas estratégicamente (Incacutipa, 2015).

- vi. Factor de agotamiento hídrico (p): Se define como el promedio del total de agua disponible en el suelo, este valor es específico de cada cultivo, ya que depende del tamaño de las raíces y de la ETC. FAO indica que se puede considerar un $p=0.5$ como estándar para diversos cultivos (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018)

c) Análisis meteorológico

- i. Temperatura: Define la cuantía de calor que presenta el aire de la atmósfera (Bohigues, 2014). Es el calor captado por los cuerpos, depende del flujo de entradas y salidas de calor de la capa gaseosa.

La temperatura media diaria es la semisuma de los datos de temperatura máxima y temperatura mínima tomados un mismo día. La temperatura media mensual se define como el promedio de las temperaturas medias calculadas en un mes. La temperatura atmosférica se debe medir siempre bajo sombra y a 1.5m del suelo (Reyes, 2016).

- ii. Humedad: Es la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera, la humedad se mide de dos formas: humedad absoluta y humedad relativa.

La humedad absoluta refleja el vapor de agua comprendido en un volumen específico de aire, sus unidades son g. de vapor/m³ de aire. La humedad relativa indica la cantidad de vapor presente en el aire, en relación al punto de saturación, se mide en porcentaje y es proporcionalmente indirecta a la temperatura (Reyes, 2016).

- iii. Velocidad del viento: El viento es el desplazamiento horizontal de las masas de aire por diferencia de presión atmosférica para su equilibrio. El viento es determinado por la velocidad y la dirección (Reyes, 2016).

- iv. Radiación: Es la transferencia del calor desde la fuente solar en todas las direcciones, la superficie terrestre absorbe la radiación y se refleja el calor hacia el espacio. Se distinguen tres tipos de radiación: rayos ultravioletas, visibles e infrarrojos, estos varían de acuerdo al tamaño de las longitudes de onda desde los 0.1 micrómetros (μm) hasta 3 los micrómetros (μm), siendo el 41% de ellos percibibles para el hombre (Reyes, 2016).

CAMBIO CLIMÁTICO Y AGRICULTURA

El cambio climático se define como la variabilidad de la media del clima, que se mantiene durante un periodo, este puede ser la consecuencia de procesos naturales internos o externos; o por causas antropogénicas (Watson, 2001). Este proceso altera los componentes de la atmósfera y se suma la variabilidad natural del clima (Naciones Unidas, 1992).

Entre las secuelas del cambio climático se encuentra el aumento de temperatura, disminución de recursos hídricos, deterioro de la diversidad biológica, alteraciones en la agricultura, cobertura vegetal, entre otras consecuencias asociadas al hombre y su salud (Ponce y Cantú, 2015).

Una de las consecuencias del cambio climático será la alteración de los niveles de precipitación y temperatura, lo cual provocará efectos positivos o negativos en el desarrollo de los cultivos, la magnitud de esto dependerá del tipo de cultivo. En zonas frías podría aumentar el rendimiento de los cultivos, mientras que en zonas desérticas y cálidas este rendimiento podría disminuir (Vázquez, Durán, y Baca, 2015).

El cambio en los estándares climáticos actuales perturbará en el desarrollo de las etapas y procesos funcionales de los cultivos, alterando las demandas hídricas de los cultivos, la cual será específica para cada tipo de cultivo y zona agrícola donde se desarrolle (Ojeda, Sifuentes, Íñiguez y Montero, 2011).

Aproximadamente el 85% de la población mundial vive en zonas áridas del planeta Tierra, para el 2030, la mitad de esta población tendrá problemas de estrés hídrico en sus localidades. El ciclo hidrológico está siendo modificado por el cambio climático, esto se ve evidenciado no sólo en la disminución de la disponibilidad del agua, sino también en el aumento de los riesgos por desastres hídricos, los cuales son resultado de la interrelación de componentes como el océano, atmósfera, la Tierra, e incluso la exposición y vulnerabilidad de poblaciones humanas y naturales. (Jimenez, 2015). Los modelos de proyecciones indican que, en los diversos contextos de cambio climático, la frecuencia e intensidad de los aluviones aumentará, principalmente en África tropical, Asia y Sudamérica (IPCC, 2014).

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA CULTIVOS

La agricultura depende del agua, de que se den las temperaturas adecuadas y el equilibrio de gases en la atmósfera de dióxido de carbono y metano. Por lo cual, esta actividad es la más sensible frente a las consecuencias del cambio climático. Temperaturas altas podrían causar el crecimiento acelerado de los cultivos, sin embargo, reduciría la productividad de estos; en zonas agrícolas donde se exceda la temperatura adecuada de cultivo, se disminuiría el rendimiento. De igual manera ocurre con la demanda hídrica para riego, en zonas con incremento de temperatura, aumentaría la evapotranspiración, requiriendo el cultivo mayor cantidad de agua para

compensar el agua evaporada. Esto podría producir conflictos sociales por la demanda y usos del agua (Nicholls, Henao, y Altieri, 2015).

La baja disponibilidad de agua en la costa, perjudica directamente a los cultivos de frutales, evidenciándose los efectos en la cosecha y diversos procesos fisiológicos que determinan el rendimiento de la próxima temporada. En el caso del palto, la mayor demanda de agua es durante el periodo de floración, formación y maduración del fruto, ya que un déficit en esta etapa genera producción baja y aborto del fruto. Este cultivo es vulnerable a la disponibilidad de agua, un riego de reducidos volúmenes de agua restringe el crecimiento vegetativo y menor producción, mientras que una aplicación excesiva de agua afecta la calidad del fruto y el árbol se vuelve sensible al ataque de plagas. Durante el invierno, la demanda de agua es menor, mientras que, en la primavera, por la formación del fruto, la demanda hídrica es mayor y es un punto clave del proceso de producción (Flores, 2007).

Latinoamérica y el Caribe se encuentran en una zona sensible a los efectos del cambio climático; el Perú, país de gran importancia en el sector agrícola y las relaciones de éste, como el empleo y las exportaciones de los productos, representa el 8% del PIB nacional y 26% de empleo a la población, medidas que indican el gran potencial de impacto que tendrá el cambio climático sobre el sector agrario peruano y la economía nacional (Galindo, Alatorre y Martínez, 2015).

CONCLUSIONES

El cambio climático altera el ciclo hidrológico, produciendo la escasez hídrica en las zonas costeras, áreas de terrenos agrícolas, los cuales se verán afectados por el aumento de temperaturas y de la evaporación del agua, esto se verá evidenciado en el aumento del requerimiento de agua de cada cultivo. Uno de los cultivos más vulnerables al cambio climático y el estrés hídrico es el árbol de la palta, ya que este cultivo requiere de cantidades específicas de agua de acuerdo a sus etapas fenológicas y de producción, una alteración de la cantidad de agua de riego podría ser perjudicial en el rendimiento de la producción. Aún no se conoce a ciencia cierta el potencial de los impactos del cambio climático, por lo cual, es importante realizar estudios de requerimiento hídrico específico para cada cultivo, la evaluación de los escenarios hídricos y los impactos, para tomar medidas frente al cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (OBLIGATORIO en formato APA)

- Aguirre Nuñez, M. (1998). Balance hídrico de la cuenca del río Huaura. *Autoridad Nacional Del Agua*. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1570>
- Anyosa, B. (2013). Exportación y perspectiva del comercio de la palta Hass peruana. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. *Ciencia & Desarrollo*, (15). Recuperado de <http://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/CYD/article/view/308/261>
- Blanco de la Torre, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. En Cuadernos de estrategia (186th ed., pp. 21–70). España: Ministerio de Defensa. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6115629>
- Bohigues, I. (2014). *Ámbito sociolingüístico: pruebas de acceso ciclos formativos de grado medio*. Paraninfo. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=2BdNBQAAQBAJ&pg=PT160&dq=temperatura+clima&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi3r5uFnoDfAhXlt1kKHQU2CZI4ChDoAQgxMAI#v=onepage&q=temperatura clima&f=false>
- Burstein, T. (2018). REFLEXIONES SOBRE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LA SALUD PÚBLICA EN EL PERÚ. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 35(2), 297–303. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3641>
- Calle, B. (2017). Determinación del balance hídrico de la cuenca del río Carandaytí, del municipio de Macharetí - Chuquisaca. *Apthapi*, 3(1), 50–62. Recuperado de <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/105>

- Carchi, E. (2015). *Elaboración de un balance hídrico de la cuenca del río Machangara*.
Universidad de Cuenca.
- Carr, M. (2013). THE WATER RELATIONS AND IRRIGATION REQUIREMENTS OF AVOCADO
(Persea americana Mill.): A REVIEW. *Experimental Agriculture*, 49(02), 256–278.
<https://doi.org/10.1017/S0014479712001317>
- Collado, J. (1998). Uso eficiente del agua en cuencas. *Tecnología y Ciencias Del Agua*,
XIII(1), 27–49. Recuperado de
<http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/800/775>
- Coral, A., García, J., y Leal, A. (2015). CÁLCULO DE BALANCE HÍDRICO USANDO
MODELAMIENTO DE DATOS ESPACIALES: estudio aplicado a la cuenca del río
Buena Vista, Ecuador. *Revista Formação n. 22, 1*, 119–137.
- Damonte, G., y Lynch, B. (2016). Cultura, política y ecología política del agua: una
presentación. *ANTHROPOLOGICA*, vol.34 no.37, 5–21. <https://doi.org/ISSN 0254-9212>
- Díaz, J. (2017). *Determinación de la disponibilidad hídrica superficial mediante balance
hídrico en la Cuenca del Río Cumbaza-San Martín, 2016*. Universidad Peruana
Unión.
- Espinoza, H. (1989). *Balance hídrico y necesidades de agua para los cultivos más
importantes en la cuenca del río La Cienega Vallegrande, Santa Cruz, Bolivia*.
Vallegrande. Recuperado de
<http://www.fao.org/docrep/field/009/ar841s/ar841s.pdf>

- Ferreya, R., y Selles, G. (2017). Diez años de investigación en manejo del riego en palto. Retrieved November 4, 2018, from <http://www.redagricola.com/cl/diez-anos-investigacion-manejo-del-riego-en-palto/>
- Flores, A. (2007). *Manejo de Agua y Fertirriego en Aguacate*. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro.” Recuperado de http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6580/T16479_FLORES_HERNÁNDEZ,_ANTONIO_MON.pdf?sequence=1
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). ETC bajo condiciones de estrés hídrico. En *Evapotranspiración del cultivo* (pp. 159–208). Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/pdf/009/x0490s/x0490s03.pdf>
- Galantini, M., Armando, C., Urrego, E., y Castro, E. (2015). *Tendencias de la producción y el comercio de Palta en el mercado internacional y Nacional*. Ministerio Agricultura y Riego Perú. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2015?download=6825:informe-palta-peruana>.
- Galindo, L., Alatorre, J. y Martínez, O. (2015). Adaptación al cambio climático a través de la elección de cultivos en Perú. *Trimestre Económico*, 82(327), 489–519.
- García, J., Huahuachampi, J., y Soto, L. (2017). Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 (*Chenopodium Quinoa Willd*) en la Molina. *Anales Científicos*, ISSN-e 2519-7398, Vol. 78, No. 2, 2017 (Ejemplar Dedicado a: Julio a Diciembre), Págs. 200-209, 78(2), 200–209. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232144>

- Gardiazabal, F., Magdahl, C., Mena, F., y Wihelmy, C. (2003). Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) para paltos cv. Hass en Chile. *Proceedings V World Avocado Congress*, 329–334. Recuperado de http://www.avocadosource.com/wac5/papers/wac5_p329.pdf
- Gaspari, F., Diaz, R., Delgado, M., y Senistera, G. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense. Argentina. *Revista de La Facultad de Agronomía, La Plata.*, 114 (Núm. Esp.1), 214–221. Recuperado de http://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/13036/CONICET_Digital_Nro.16245.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- González, F., Cisneros, E., y Montilla, E. (2017). Respuesta al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L.) en diferentes fases de desarrollo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3). <https://doi.org/ISSN-1010-2760>
- Incacutipa, K. (2015). *Efecto del tamaño de corte apical y basal en los cotiledones de la semilla y sustratos en la propagación del porta injerto PaltoTopa Topa (Persea americana Mill.)*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna. Recuperado de http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1800/735_2015_incacutipa_aguilar_kl_fcag_agronomia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias - INIA. (2004). *El cultivo del palto*. Recuperado de http://www.avocadosource.com/papers/chile_papers_a-z/g-h-i/gilpilar2004.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2014). Avance Regional Departamental. Retrieved December 1, 2018, from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1267/12.htm

IPCC. (2014). Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. *Contribución Del Grupo de Trabajo II Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático.*, 34.

Jimenez, B. (2015). SEGURIDAD HÍDRICA: RETOS Y RESPUESTAS, LA FASE VIII DEL PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL DE LA UNESCO (2014-2021). *Aqua-LAC*, 7(1), 20–27. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Blanca_Jimenez2/publication/312475322_Seguridad_Hidrica_Retos_y_respuestas_Fase_VIII_del_Programa_Hidrologico_Internacional/links/587e1b0008ae4445c06f6e31/Seguridad-Hidrica-Retos-y-respuestas-Fase-VIII-del-Programa-Hid

Lozano, D., y Cortés, N. (2016). *EVALUACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL ARROZ (Oryza Sativa) EN EL MUNICIPIO DEL ESPINAL-TOLIMA Y SU INCIDENCIA AMBIENTAL EN EL AREA DE INFLUENCIA. UNIVERSIDAD DE LA SALLE.* Recuperado de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20481/41101223_2017.pdf?sequence=1

Maderey, L., y Jiménez, A. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico.* México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de

http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_si_glo21/serie_tex_uni/G_S_XXI_Principios_de_hidrogeografía_portada.pdf

Morejón, Y., Vega, M., Escarré, A., Peralta, J., Quintero, A. y González, J. (2015). Análisis de balance hídrico en cuencas hidrográficas de la Sierra de los Órganos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 94–108. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382015000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=en

Moreno, C., González, M. y Egado, J. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Revista Científica Ecuatoriana*, 2, 33–40. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorescalidad/index.php/revista/article/view/4/6>

Morillas, L., Durán, G., Suárez, A., y Johnson, M. (2018). Crop water footprints and irrigation water volumes: a comparison of empirical measurements with CROPWAT model estimates for the seasonally dry tropics. *Geophysical Research Abstracts*, 20. Recuperado de <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-2301.pdf>

Naciones Unidas. (1992). *CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Nicholls, C., Henao, A., y Altieri, M. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7–31. Recuperado de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711>

- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Nabel, V., Albán, K., y Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador.
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M., y Montero, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia 45: 1 - 11*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura - UNESCO. (2006). *Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas*. Montevideo. Recuperado de <http://www.unesco.org/phi>
- Paredes, J., y Guerrero, A. (2013). Balance hídrico para uso agrícola en la Cuenca Media y Baja del río Moche, área de influencia del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC, Perú. 2010. *REBIOLEST, 1(2)*, 5–13.
- Pegram, G., Conyngam, S., Orr, S., Álvarez, C., Germaná, C., Riveros, J. y Mariluz, J. (2015). *Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario*. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/media/1256542/estudio_huella_hidrica_nacional.pdf
- Peña, H. (2016). *Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe*.
- Ponce, Y. y Cantú, P. (2015). Cambio climático: Bases Científicas y Escepticismo. *Cultura Científica y Tecnológica, 0(46)*, 5–12. Recuperado de <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/174/168>
- Pulido, A. (2014). *Nociones de Hidrogeología para Ambientólogos*. Editorial Universidad de Almería.

- Ramos, A. y Vergara, K. (2017). *Cambios en la actividad agropecuaria en un contexto de cambio climático y estrés hídrico: el caso de las cuencas de Ica y Pampas*. Lima.
- Rendón, S., Artunduaga, F., Ramírez, R., Quiroz, J. y Leiva, E. (2011). Los Macroinvertebrados como Indicadores de la Calidad del Suelo en Cultivos de Mora, Pasto y Aguacate. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 64(1), 5793–5802. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922364005>
- Reyes, V. (2016). Reseña de libro. Iniciación a la Meteorología y Climatología. *Revista de Investigación*, 40(87), 295–298. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376146819013>
- Romero, C. (2017). La palta peruana, Una Coyuntura Favorable. *Dirección General De Políticas Agrarias*, 5.
- Salazar, S., Rocha, J., Ibarra, M., y Bárcenas, A. (2015). *Fenología de la raíz del aguacate "Hass" en varios climas de Michoacán*. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC8/Section_04/SalazarSamuel2015.pdf
- Salcedo, E., Galvis, A., Hernández, T., Rodríguez, R., Zamora, F., Bugarin, R., y Carrillo, R. (2007). LA HUMEDAD APROVECHABLE Y SU RELACIÓN CON LA MATERIA ORGÁNICA Y SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL SUELO. *Terra Latinoamericana*, 25(4), 419–425. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315558010>
- Salgado, E., y Bozzolo, E. (1997). Coeficiente de cultivo (Kc) para paltos (Persea americana Mill.) cv. Hass, en Quillota, Chile. *Simiente* 67, (1-2), 1–7. Recuperado de

http://avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S-T-U/SalgadoEduardo1997.pdf

Sánchez, C., Villaseñor, D., Espinoza, J., y Cuenca, K. (2017). La disponibilidad de agua para riego que permita la producción agropecuaria. *Universidad Técnica de Machala / Conference Proceedings, Vol. 1, No.1*, 40–43. <https://doi.org/ISSN2588-056X>

Saravanan, K., y Saravanan, R. (2014). Determination of Water Requirements of Main crops in the Tank Irrigation Command area using CROPWAT 8.0. *International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies (IJIMS)*, 1(5), 266–272. <https://doi.org/ISSN:2348-0343>

Selles van Sch, G., y Ferreyra, R. (2013). Manejo agronómico. Riego en Palto. *Berries & Cherries Revista Frutícola de Chile, Edición N°*, 12–18. Recuperado de http://platina.inia.cl/paltoriego/descarga/RevistaFruticolaDeChile_21_2013_12-18.pdf

Smith, M. (1992). *CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Smith, M., Kivumbi, D., y Heng, L. (2002). Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies. En *Deficit irrigation practices* (22nd ed., pp. 17–27). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/ESPIM/CD-ROM/documents/5K_e.pdf

Sokolov, A., Chapman, T., y Heras, R. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía internacional de investigación y métodos*. Madrid: Instituto de hidrología de

España / Organización de la Naciones Unidas para la Educación. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>

Torres, A. (2017). *Manual del cultivo del palto*. Santiago. <https://doi.org/ISSN 0717 - 4829>

Vázquez, R., Durán, O., y Baca, M. (2015). Modelos de impacto en la agricultura teniendo en cuenta los escenarios de la agricultura del cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), 1–50. <https://doi.org/ISSN Electrónico 2410-7980>

Velásquez, A., Zegarra, V., y Daga, W. (2015). *La industria de la palta en la sierra del Perú: generando valor en los Andes*. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC8/Section_07/VelasquezTuestaA2015.pdf

Watson, R. (2001). Glosario de términos. En *Cambio climático 2001: Informe de síntesis* (pp. 173–199). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>