

# PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD FRUTICOLA ANDINA

## Producto 2. Relaciones “suelo-agua-planta-clima” para granadilla y aguacate

William Viera

Sandy Patricia Aguayo Pacas

Carlos Eduardo Morales Galeas

Kevin Xavier Montero Villarroel

Compiladores

Mayra Steffani Diaz López

Sebastián Ospina Corral

Carlos Eduardo Orrego Alzate

2021





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un programa de cooperación administrado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), pero con su propia membresía, estructura de gobernabilidad y activos. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado William Viera, Sandy Patricia Aguayo Pacas, Carlos Eduardo Morales Galeas, Kevin Xavier Montero Villarroel, Compiladores, Mayra Steffani Diaz López, Sebastián Ospina Corral, Carlos Eduardo Orrego Alzate.

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

**FONTAGRO**

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)

[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)



# Tabla de Contenidos



**Introducción**..... 4

**Objetivos**..... 6

**Metodología**..... 7

**Resultados y discusión** ..... 10

**Conclusiones** ..... 19

**Referencias Bibliográficas**..... 22

**Instituciones participantes** ..... 23



## Introducción

La agronomía actual busca estudiar y mejorar los cultivos de cada región aprovechando sus recursos y minimizando el impacto ambiental que genera el consumo de agua y el uso del suelo. Las técnicas de riego por goteo y fertirriego son alternativas que han probado ser eficientes para el logro de estos objetivos.

En el marco de las actividades del proyecto de Productividad y Competitividad frutícola Andina, investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP desarrollaron ensayos de riego por goteo y fertirriego en la granja experimental de Tumbaco en Ecuador para cultivos de granadilla y de aguacate Hass. Inicialmente y durante 120 días se realizó monitoreo de la fase vegetativa; seguidamente, y durante seis meses, se estudiaron las variables de calidad en granadilla y vegetativas en aguacate. A través de los datos recolectados se pretende establecer una relación entre los contenidos de nutrientes de las plantas con su desarrollo a través del estudio de variables como clorofila, área foliar, diámetro y altura en ambos cultivos. Además, en granadilla, se realizó el monitoreo de variables fisicoquímicas como cantidad de jugo, color, firmeza, acidez, entre otros. Los datos utilizados corresponden a las tesis de pregrado de Sandy Aguayo, Carlos Morales y Kevin Montero, que fueron la base para determinar las relaciones entre suelo, agua y planta.

Ecuador es un país eminentemente agrícola, en el cual más de un tercio de su superficie tiene un clima semiárido cerca del 30% del área cultivada (1850000 has) debe ser irrigada debido a la escasez de lluvias (568000 has). Del total de la superficie regada, el 81% (46000 has), se encuentran bajo riego particular (comunitario o privado) y el 19% se riega con sistemas públicos (108000 has) (Pacheco E., 2006). Más del 10% de la superficie irrigada, usa el método de “fertirriego”, que combina la aplicación de agua de riego con los fertilizantes, tanto en invernadero como en campo, contribuyendo mediante esta práctica a la obtener rendimientos más altos y de mejor calidad, al incrementar notablemente la eficiencia de la aplicación del agua y los fertilizantes.

El aguacate Hass y la granadilla tienen una gran aceptación por los consumidores gracias a la gran cantidad de minerales, vitaminas y el poder antioxidante que estas frutas poseen, lo cual ha generado una importante demanda en el mercado internacional. Por tal motivo, en países como Ecuador estos cultivos han interesado de manera ascendente a agricultores que se dedican a la producción de estas frutas que se cultivan en altitudes de 800 hasta 2300 msnm en el caso de aguacate y 1800 hasta los 2400 msnm en el caso de la granadilla (Mejía, 2011; Peña et al., 2015; Turner & Miksiek, 1984). El incremento en la producción es debido a que los agricultores han visto en ella una oportunidad de exportación, sin embargo, para obtener buenos rendimientos se debe considerar la implementación de cultivos con plantas de buena calidad, un manejo adecuado de



la fertilización y un sistema de riego tecnificado, lo cual en el país aún poco extendido. La mayoría de productores no hacen una fertilización adecuada y el riego aún se lo realiza por inundación lo cual ocasiona erosión del suelo y un requerimiento excesivo de agua para llevar a cabo esta actividad (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2016; Viera et al., 2016).

En cultivos a campo abierto, plantaciones frutales y en suelos arcillosos, el sistema de aplicación de fertilizantes es más simple y económico. En plantaciones frutales, generalmente se utiliza fertilizaciones edáficas, aunque en la mayoría de los casos no se realiza ninguna fertilización lo cual conlleva a bajos rendimientos en la producción y bajas regalías por parte de los agricultores.

La técnica de fertirrigación consiste en la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego a los cultivos. Por tal motivo esta técnica se ha convertido en un método de gran importancia en sistemas de riego localizado (goteo). El objetivo principal de la fertirrigación es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los macro y microelementos hacia la raíz de la planta generando un mayor desarrollo y vitalidad de esta, con lo cual se optimiza el uso del agua, los nutrientes y la energía, y se reducen las contaminaciones si se maneja adecuadamente (Calvache, 2006).



## Objetivos

- Consolidar la información sobre fertirriego relacionada con los cultivos de granadilla variedad amarilla y aguacate variedad Hass desarrollados en la granja experimental de Tumbaco, Ecuador.
- Estudiar las relaciones entre las variables vegetativas como clorofila, área foliar, diámetro y altura con la cantidad de nitrógeno y potasio agregada como parte de la fertirrigación desarrollada en los cultivos interés del proyecto.
- Estudiar las relaciones entre el rendimiento y las variables de calidad fisicoquímica como color, acidez, °Brix, entre otras, con la cantidad de nitrógeno y potasio agregada como parte de la fertirrigación desarrollada en granadilla.
- Desarrollar relaciones sobre suelo, agua y planta si se encuentra que los resultados recolectados permiten alguna correlación matemática que permita predecir su comportamiento.



## Metodología

### Características del sitio experimental.

La investigación se desarrolló en la Granja Experimental Tumbaco del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), la cual está ubicada en la Parroquia Tumbaco, cantón Quito, perteneciente a la provincia de Pichincha, cuyas coordenadas geográficas son: latitud 0° 12' 57" Sur, longitud 78° 24' 43" Oeste y altitud de 2 348 m.s.n.m. en la zona de implementación del ensayo se registra una precipitación anual de 800 mm, temperatura media del 17°C y humedad relativa promedio de 75% (Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología (INAMHI), 2018).

Primeramente, se realizó un análisis de suelo en los lugares donde se implementaron los cultivos, con la finalidad de clasificarlo, saber su contenido de macro y micro elementos y densidad, Con estos datos se trazó una curva de humedad identificando claramente la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Con esta relación o curva obtenida se trata de mantener el cultivo siempre en capacidad de campo evitando que llegue al punto de marchitez permanente.

Los ensayos se realizaron con plantas de aguacate variedad Hass (Gráfico 1) y plántulas de granadilla variedad colombiana (Gráfico 2), implementados a una distancia de 4x5 m y 3x3 m respectivamente. El experimento de aguacate está comprendido por 4 tratamientos en el cual cada tratamiento consta de 36 plantas y 4 repeticiones 9 plantas cada repetición en cambio el ensayo de granadilla implementado está comprendido por 4 tratamientos en el cual cada tratamiento consta de 24 plantas y 4 repeticiones 6 plantas cada repetición.



*Gráfico 1 Implementación ensayo aguacate*



*Gráfico 2 implementación ensayo granadilla*



### Factores en estudio.

Los factores en estudio son las dosis de nitrógeno N y potasio K en estudio (tabla 1).

**Tabla 1.** Dosis de N y K en estudio en los cultivos de aguacate Hass y granadilla mediante fertirrigación.

Cultivo	Dosis	kg ha <sup>-1</sup>	
		N	K
Granadilla	d1	100	100
	d2	200	200
Aguacate inicial	d1	200	250
	d2	300	350
Aguacate final	d1	210	253
	d2	310	353

### Tratamientos en estudio.

**Tabla 2.** Tratamientos evaluados para la interacción de dos niveles de nitrógeno y de potasio.

Tratamiento	Codificación	Cultivo			
		Granadilla		Aguacate	
		Dosis (Kg ha <sup>-1</sup> )			
		N	K	N	K
1	n1 x k1	100	100	200	250
2	n1 x k2	100	200	200	350
3	n2 x k1	200	100	300	250
4	n2 x k2	200	200	300	350

Las dosis de los demás macroelementos (P, 50 kg ha<sup>-1</sup>; Ca, 50 kg ha<sup>-1</sup>; Mg, 15 kg ha<sup>-1</sup>; y S, 35 Kg ha<sup>-1</sup>) y de los microelementos (Fe, 892 g ha<sup>-1</sup>; B, 227 g ha<sup>-1</sup>; Mn, 487 kg ha<sup>-1</sup>; Zn, 114 g ha<sup>-1</sup> y Cu, 76 g ha<sup>-1</sup>) se fijaron para los diferentes tratamientos.

Además se instaló para cada ensayo un sistema automatizado por el cual se aplicara el riego y nutrición de cada uno de los cultivos (Gráfico 3), este sistema consta de: una caja de control, 4 tanques de 500 litros capacidad, 4 bombas de 0.5 hp, 5 filtros de anillos (uno principal y 4 secundarios) los cuales retienen todos los sedimentos contenidos en el agua, manguera de goteo auto compensado con un caudal de 1.6 litro/hora y finalmente consta de 4 reguladores de nivel, que están ubicados dentro de cada tanque.





Gráfico 3 Sistema de riego automatizado



Gráfico 4 Preparación de soluciones nutritivas



Gráfico 5 Implementación de sensores de humedad



Gráfico 6 Implementación de lisímetro



Gráfico 7 Implementación del Fluviómetro de humedad



Como se mencionó la nutrición de los ensayos se hizo mediante el sistema de riego, por medio de soluciones nutritivas (Gráfico 4), que se prepararon tres veces por semana, controlando variables como pH y conductividad eléctrica del suelo, Ce. Tales soluciones nutritivas tienen todos los nutrientes que requiere la planta. Además de las fertilizaciones se realizaron riegos complementarios para dotar la humedad necesaria para cada cultivo.

Se instalaron para cada ensayo 5 sensores de humedad (Gráfico 5) los cuales permiten monitorear la humedad cada 5 minutos, un lisímetro (Gráfico 6) para saber la infiltración del agua en el suelo y un fluviómetro (Gráfico 7), lo que permitió registrar la cantidad de agua lluvia que se da en el sitio. Con todos estos equipos instalados fue posible conocer la demanda hídrica del cultivo, además se monitoreo datos de pH y conductividad eléctrica del suelo.

La información recolectada conforma las bases de datos que hacen parte de las tesis de pregrado en el programa de ingeniería agronómica de los estudiantes Sandy Patricia Aguayo Pacas para el caso de la granadilla (Aguayo Pacas, 2020), estudiante Carlos Eduardo Morales Galeas para el aguacate (Morales Galeas, 2020) y el estudiante Kevin Montero. Estos estudiantes de la universidad Central de Ecuador fueron vinculados con los investigadores del INIAP relacionados con el proyecto de Productividad y Competitividad Frutícola Andina.

## Resultados y discusión

### Análisis de suelos

Los resultados de la curva de humedad del suelo realizado a tres profundidades (0-10; 10-20; 20-30 cm) se reportan los promedios para cada profundidad y por cultivo en la Tabla 3.

**Tabla 3:** % humedad en los ensayos de aguacate y granadilla.

Profundidad	Cultivo	Tipo de suelo	% Humedad			Lámina de riego mm	Tiempo de riego min
			P. Sat.	C.C.	P.M.P.		
0-10	Granadilla	Franco arenoso	51.46	26.2	7.8	4.8	9
10-20			50.03	24.8	8.3		
20-30			49.7	25.8	29.6		
0-10	Aguacate	Franco arenoso	66.9	31.4	10.8	4.8	9
10-20			62.6	32.33	11.23		
20-30			58.7	27.4	11.9		

En la tabla 3, se presentan los datos de la humedad del suelo para el experimento de Granadilla



y aguacate desarrollados en la granja Tumbaco, en la cual se reporta la capacidad de campo (C.C) determinada a una presión de 0.33 bares, punto de marchitez permanente (P.M.P) determinado a 15 bares. Del ensayo se encuentra un suelo que esta entre franco y franco arenoso según el triángulo de texturas, lo que permite comparar los valores obtenidos tanto para C.C y P.M.P. con la tabla referencial propuesta por (Cano, 2011), la cual, de acuerdo al tipo de suelo según la textura, establecen parámetros de porcentaje de humedad (24 – 34) % de humedad para capacidad de campo y (9 – 12) % humedad. Con ello se permite comparar y seleccionar al punto máximo a la profundidad (20-30) como el mejor que se encuentra dentro de este rango en PMP. Todos los datos de capacidad de campo se encuentran dentro de estos rangos.

Además, en la tabla, se reporta la lámina de riego inicial y el tiempo de riego necesario para alcanzar dicha lámina, para evitar ocasionar un estrés hídrico a las plantas de los ensayos.

### **Análisis preliminar de respuestas**

Los datos crudos fueron determinados inicialmente por 120 días tanto para cultivo de granadilla amarilla como de aguacate Hass. Se realizaron 24 observaciones para granadilla y 35 para aguacate Hass que fueron analizadas primero como un solo individuo y después como individuos independientes. A las plantas se le midieron las siguientes variables, con una frecuencia de 30 días, altura, diámetro, clorofila y área foliar. Los nutrientes adicionados fueron nitrógeno y potasio en concentraciones de 100 kg/ha y 200 kg/ha, con cuatro combinaciones descritas en la tabla 1.

Una vez consolidados los datos se determinaron promedios para cada variable, cada tratamiento y cada tiempo, asumiendo que los individuos evaluados tenían comportamiento similar y podían considerarse una distribución normal para los datos determinados. Sin embargo, al graficar los resultados se encontró dispersión para todos los datos de un mismo tratamiento, determinando de esta forma que era necesario trabajar de forma independiente cada individuo puesto que, aunque fueran de la misma especie y recibieran el mismo tratamiento de fertirrigación podían existir factores externos que generan variación con cada ser vivo.

Posteriormente, se analizó cada variable para cada individuo desde el tiempo cero hasta el tiempo de 120 días, de esta forma se calcularon las pendientes para cada periodo de tiempo de 30 días y también se analizaron no solo analizar tendencias lineales sino de segundo, tercer grado o en su defecto una ecuación polinómica. Todos los cálculos se realizaron de manera independiente para granadilla y para aguacate. Los cálculos se realizaron en Excel y en el software XLStat.

Sin embargo, los resultados no presentaron una buena correlación teniendo en cuenta que al tomar los individuos como independientes se esperaría que su comportamiento en el tiempo sea consecuente con algún tipo de relación mínimo en una de las variables estudiadas, aunque tenga diferencias no significativas. Debido a la falta de ajuste de los datos se espera continuar en futuras



investigaciones con el estudio de la información y así confirmar o descartar la implementación de correlaciones entre suelo-agua-aire-plantas.

Con el tratamiento de datos se consolidaron las tablas de datos anexas en el archivo Excel denominado "Datos variables vegetativas granadilla y aguacate" en el que se registraron los datos de los distintos individuos para las cuatro variables evaluadas que son altura, diámetro, área foliar y clorofila. Los datos se consolidaron para cada periodo de tiempo que es de 30 días de diferencia, iniciando desde el tiempo cero y terminando en el tiempo de 120 días. Se usó esta distribución normal de los datos determinando que las 24 observaciones correspondían a un solo individuo. Sin embargo, al graficar los datos se encontraron diferencias evidentes en la distribución de los valores lo que implica que no se puede asumir una distribución normal y calcular la media para los resultados.

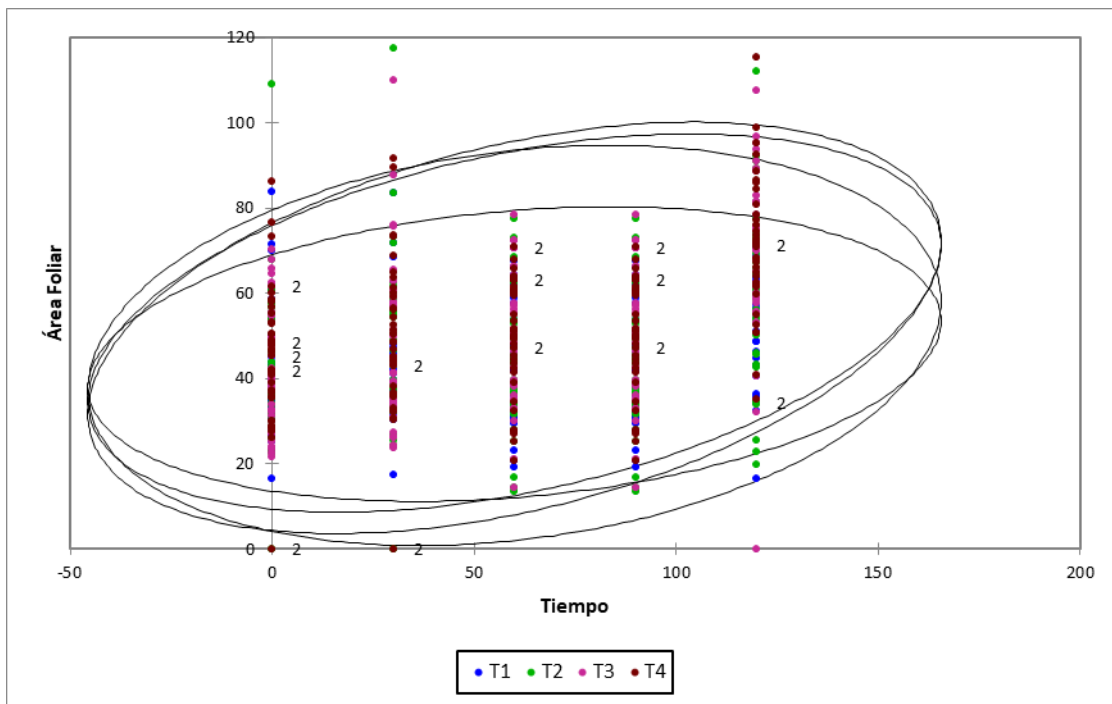


Gráfico 8 Datos de área foliar para los cuatro tratamientos en el aguacate variedad Hass

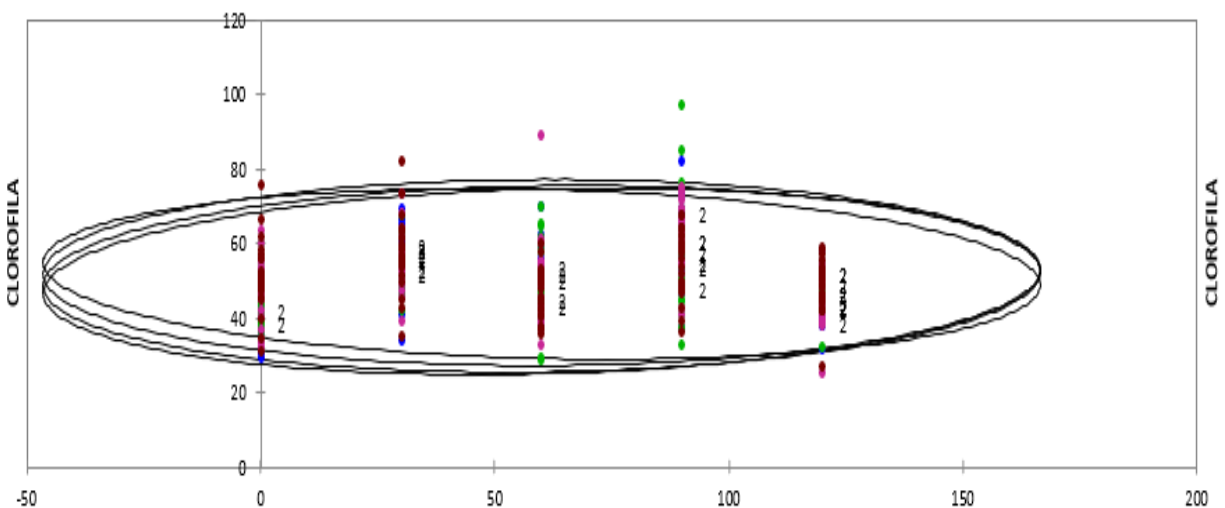
En el Gráfico 8 se muestran los resultados de los cuatro tratamientos en los cuatro tiempos de evaluación para la variable de área foliar en el cultivo de aguacate Hass; el mismo proceso se realizó para las otras variables y para la granadilla. Como se evidencia hay una dispersión significativa en los resultados.

Debido a esto se realizaron cálculos independientes tomando cada una de las 36 observaciones como un individuo en particular y analizándolos en el tiempo de estudio. Sin embargo, los datos tienen variaciones entre los periodos de tiempo y entre los individuos de una misma especie,



aunque se contemple descartar datos no se evidencia una tendencia para ninguno de los resultados ni una tendencia con el contenido de nutrientes agregado. Así mismo, los datos que aparentan salir de la media en cuanto al crecimiento o el área foliar corresponden a individuos que desde el tiempo inicial de evaluación presentaban ya se encontraban muy por encima de la media en cuanto a su crecimiento. Los resultados para la mayor concentración de nitrógeno y potasio aplicados en conjunto demostraron un incremento leve en las variables evaluadas, pero no pudieron ser relacionados con una función específica.

De forma similar, se evaluó lo obtenido para las 24 observaciones por tratamiento de granadilla, en donde tampoco existe una influencia diferencial entre los tratamientos aplicados sobre el desarrollo de la planta. En el Gráfico 9 se muestran los resultados para la variable clorofila en la granadilla, como se evidencia por ejemplo para el tratamiento tres en un mismo periodo de tiempo de 90 días pueden presentarse datos de 25 a 100 para una misma especie.



*Gráfico 9 Datos de clorofila para los cuatro tratamientos en la granadilla variedad amarilla*

Para encontrar relaciones entre suelo, agua y planta se requiere que los nutrientes agregados a partir de fertirriego conserven una tendencia en el cultivo evaluado, sin embargo, no se evidenciaron comportamientos relacionados con la mayoría de los datos.

En el caso de la granadilla y debido al creciente interés de la fruta en el Ecuador y la poca información sobre su respuesta a fertilizantes, fue necesario evaluar dos niveles combinados de nitrógeno (N) y potasio (K) en la fase productiva de este frutal, con el fin de determinar su influencia en variables de calidad de fruta y conocer el estado nutrimental de las plantas a través



del análisis foliar. En el experimento se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 24 observaciones para las variables, concentración de nutrientes, número y peso de frutos y un DBCA con 384 observaciones para las variables calibre, sólidos solubles, acidez y firmeza. Las dosis de N y K evaluadas fueron de 100 y 200 kg ha<sup>-1</sup>, evaluándose cuatro tratamientos producto de la combinación de éstas. Las variables evaluadas fueron: número de frutos planta<sup>-1</sup>, peso de frutos planta<sup>-1</sup>, diámetro ecuatorial y polar de los frutos, que de acuerdo a sus características fueron categorizados tanto para el mercado de exportación como local. Además, se complementó con la firmeza del fruto y el contenido de sólidos solubles totales y la concentración foliar de nutrientes. Se determinó que las dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N y 100 kg ha<sup>-1</sup> de K influenciaron de manera positiva en la mayoría de variables analizadas.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 6 observaciones para las variables número, peso de frutos y concentración de nutrientes, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con 384 observaciones para las variables diámetro de fruto, sólidos solubles, acidez y firmeza. Una vez que las variables cumplieron los supuestos de normalidad de error y homogeneidad de varianzas, se llevó a cabo los análisis de varianza y se utilizó la prueba de Tukey al 5% para determinar diferencias entre medias. Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico Infostad. (Di Rienzo, J. 2016).

La aplicación de la combinación de dosis altas de N y bajas de K (200 y 100 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente) influyó positivamente en todas las variables de calidad de fruta, a excepción de SST en la que las mayores dosis de K (200 kg. ha<sup>-1</sup>) obtuvo los más altos valores °Brix. La dinámica de acumulación de macro y micronutrientes en la hoja fue distinta para cada elemento; aumentando en N y K en la época de floración y decayendo en la época de cosecha. El elemento Ca tuvo una disminución en el contenido foliar en la época de floración y posteriormente, un aumento en el período productivo. Los macronutrientes P, Ca, Mg, S obtuvieron concentraciones dentro del rango óptimo o levemente por encima de éste, a excepción de N. Las combinaciones altas de N y K (200 kg.ha<sup>-1</sup>) resultaron en una menor concentración foliar de estos elementos a los 15 meses después del trasplante. Sin embargo, esta misma combinación de N y K no reflejó en cambios significativos para el contenido de Ca en hoja.

La base de datos para el caso de granadilla se anexa como un archivo de Excel con el siguiente nombre “Datos variables calidad y rendimiento Granadilla” para ser consultado con los resultados de cada variable desde el mes de enero hasta marzo.

En el caso del aguacate se midieron más de diez variables vegetativas entre los meses de enero y julio, teniendo resultados mensuales para la mayoría. Además, se determinaron datos de rendimiento respecto al valor inicial y final del cultivo. En el caso de las variables de calidad, en mayo de 2021 aún no se han determinado para este cultivo.

La base de datos para el caso del aguacate se anexa como un archivo de Excel con el siguiente



nombre “Datos variables calidad y rendimiento Aguacate” para ser consultado con los resultados de cada variable desde el mes de enero hasta marzo.

En las próximas investigaciones es importante aumentar los niveles de los factores en estudio nitrógeno y potasio, debido que el cultivo se encuentra en la siguiente etapa fenológica (floración y fructificación). Para las variables: índice de verdor, área foliar, color de hoja, se recomienda evaluarlas cada 15 días, porque al evaluar una vez por mes la hoja alcanza su madurez y crecimiento máximo a los 32 días, por tal razón, no se logra evidenciar el efecto de los tratamientos.

Implementar en los tratamientos el uso de diferentes fertilizantes foliares, tanto para floración como para fructificación para apreciar la respuesta en la producción del cultivo de aguacate variedad Hass.

Adicionalmente se a través de los datos de humedad, pluviosidad y evaporación se realizó un balance hídrico para determinar el requerimiento del cultivo de aguacate y granadilla. Las bases de datos que soportan estos cálculos se encuentran anexas en Excel y se llaman “Riego aguacate 2018 y 2019”, “Riego aguacate 2019 y 2020” y los nombres homólogos con granadilla. En total cuatro bases de datos. A continuación, se explica brevemente su cálculo.

### **Estimación del requerimiento hídrico en aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass y granadilla (*Passiflora ligularis*) cultivar colombiana, en la fase vegetativa**

El riego proporciona la cantidad de agua necesaria para el desarrollo adecuado de los frutales, a través del sistema de riego, manteniendo una cantidad de agua disponible para asegurar el suministro que la planta requiere y evitar desperdicios por lixiviación.

El objetivo de este estudio fue estimar los requerimientos hídricos en los cultivos de aguacate y granadilla, en la fase vegetativa.

Esta investigación se realizó durante dos años, es decir desde agosto del 2018 hasta agosto del 2020, en la Granja Experimental Tumbaco. Los frutales utilizados fueron aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass y granadilla (*Passiflora ligularis*) cultivar colombiana. Se determinaron las propiedades físicas del suelo (textura, humedad gravimétrica, densidad aparente y curva de retención de humedad del suelo) en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); los datos de clima (precipitación y evaporación) se obtuvieron de la Estación Meteorológica del Campo Experimental la Tola perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI); mientras que los datos de los cultivos (tipo, duración, funciones decrecimiento radicular y Kc) se obtuvieron con la metodología de la FAO. Con esta información se elaboró un balance hídrico (FAO), en la que se realizaron los



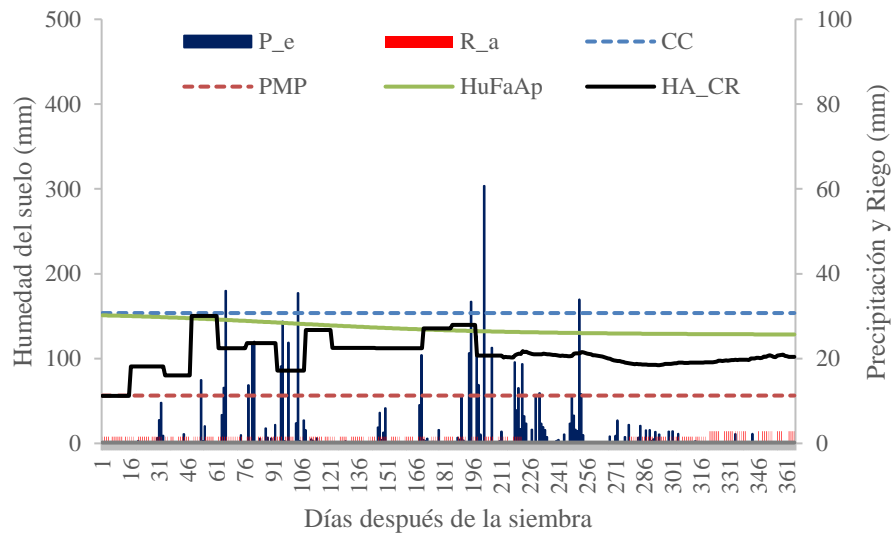
correspondientes cálculos del volumen y tiempo de riego, considerando los ingresos (riego y precipitación) y egresos (variación de la humedad del suelo y evapotranspiración). El suministro de agua para los frutales se realizó mediante un sistema de riego por goteo superficial, para lo cual en cada línea de plantación se colocaron dos mangueras de polietileno de 0.016 m, con goteros auto compensados de 1.6 L h<sup>-1</sup> de gasto y con un distanciamiento de 0.30 m.

En el cultivo de aguacate, durante los dos años de evaluación se tuvo una precipitación efectiva de 1552 mm; la evapotranspiración fue de 1966 mm; por lo que el balance hídrico determinó que se deben aplicar una lámina de agua de 1543 mm, aplicándose 884 mm y la humedad almacenada en el suelo en promedio fue de 103 mm (Figura 1). En tanto que para la granadilla se utilizaron los mismos datos de precipitación, la evapotranspiración fue de 2207 mm, el balance hídrico, indicó que se deben aplicar una lámina de agua de 1771 mm, aplicándose 1204 mm y la humedad almacenada en el suelo en promedio fue de 114 mm (Figura 2). La distribución de precipitación no fue uniforme, en los meses de verano, es decir desde junio hasta agosto. La cantidad de agua aplicada en el riego fue menor a la que se calculó con el balance hídrico debido a que en los meses de verano disminuyen los caudales del agua. La humedad almacenada en el suelo en promedio estuvo cerca del nivel de abatimiento que se calculó de 127 mm para el aguacate y 107 mm para la granadilla.

Se concluye que la información de los suelos, clima y cultivo, en conjunto con los sensores de humedad del suelo, son herramientas muy útiles para estimar el consumo de agua en el aguacate y la granadilla y proporcionar en forma oportuna el abastecimiento del agua en el riego. Esta tecnología se puede emplear en cualquier cultivo frutal por lo que el manejo tecnificado con la aplicación de metodologías de agricultura de precisión permitirá optimizar los recursos no renovables de vital importancia como el agua y suplir los requerimientos hídricos de los cultivos.



a)



b)

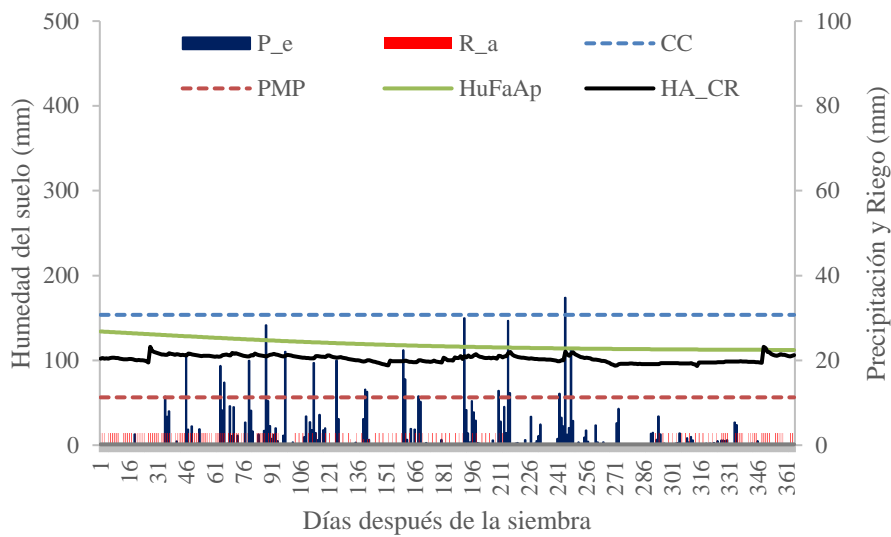
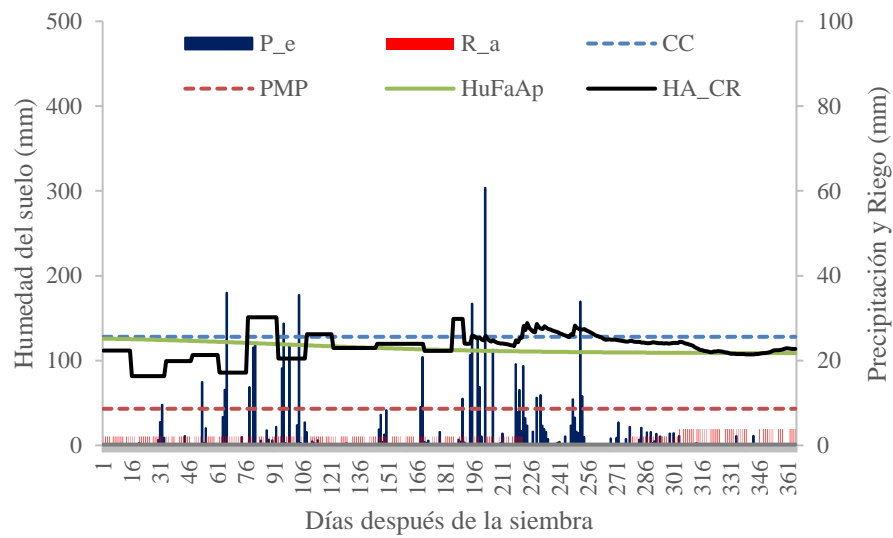


Gráfico 10. Balance hídrico en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass. a) 2018 - 2019 y b) 2019 - 2020. Pichincha, 2020. P\_e = Precipitación efectiva, R\_a = Riego aplicado, HuFaAp = Humedad fácilmente aprovechable, HA-CR = Humedad de almacenamiento con riego

a)



b)

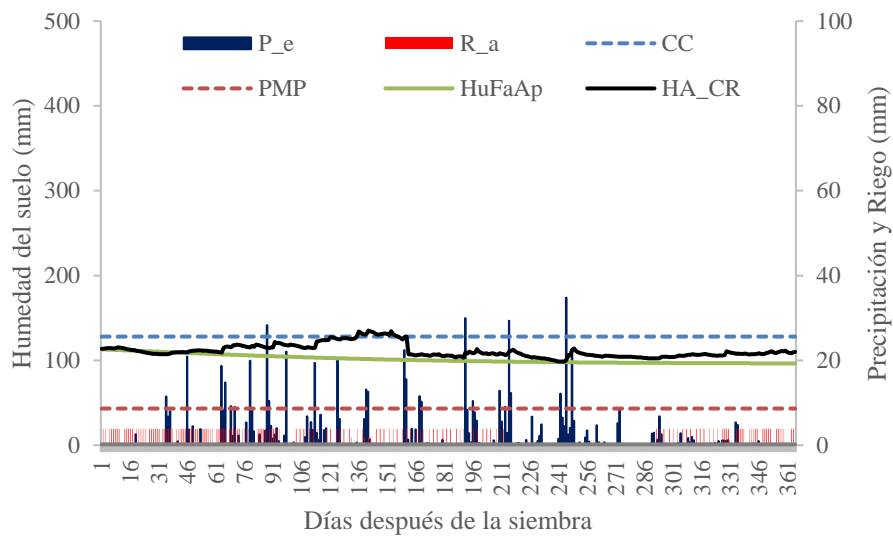


Gráfico 11. Balance hídrico en el cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis*) cultivar Colombiana. a) 2018 - 2019 y b) 2019 -2020. Pichincha, 2020. P\_e = Precipitación efectiva, R\_a =Riego aplicado, HuFaAp= Humedad fácilmente aprovechable, HA-CR = Humedad de almacenamiento con riego



## Conclusiones

- Los individuos vivos son difíciles de predecir en su comportamiento teniendo en cuenta la variabilidad en su sistema y la forma en que se relacionan con su entorno biótico y abiótico.
- Un análisis de suelo adecuado es clave al momento de implementar un cultivo, mucho más si son ensayos de investigación. Por ende, en los ensayos implementados en la Granja Experimental Tumbaco del Programa Nacional de Fruticultura del INIAP, el desarrollo del análisis de suelos garantiza una mejor respuesta del cultivo implementado.
- Para garantizar confiabilidad en los datos experimentales es necesario contar con una relación consecuente entre los mismos a través de una tendencia de las variables evaluadas y por consiguiente con una ecuación matemática con una buena correlación de los resultados.
- A la hora de realizar ensayos experimentales es necesario garantizar condiciones que generen confiabilidad de los resultados, como calibración de los equipos, personal capacitado, reactivos certificados, entre otros.
- Los resultados obtenidos en el ensayo al evaluar los parámetros de crecimiento en el cultivo de aguacate variedad Hass indican un efecto de respuesta positiva para los niveles bajos de N (210 Kg ha<sup>-1</sup> año) y K (253.3 Kg ha<sup>-1</sup> año) en: altura de planta, diámetro de tallo (patrón-Hass), crecimiento de ramas, diámetro de copa, incremento de diámetro (IDP e IDH) y número de hojas (jóvenes y maduras). Sin embargo, los niveles altos de nitrógeno y potasio mostraron un efecto positivo en variables: índice de verdor, área foliar y color de hoja.
- En la fase vegetativa del aguacate durante los tres ciclos de investigación se ha evidenciado que el T1 (n1= 210 Kg N ha<sup>-1</sup> y k1=253.3 Kg K ha<sup>-1</sup>), es la dosis óptima para la fase de desarrollo según los parámetros evaluados.
- En este ensayo según las variables evaluadas y analizadas durante un período de siete meses, se puede establecer que las variables: diámetro de tallo (patrón -Hass), incremento de tallo, color de hojas y diámetro de copa, pueden considerarse como parámetros vegetativos en el cultivo de aguacate en próximas investigaciones, pues estas presentaron diferencias significativas entre los tratamientos establecidos en el estudio.



- En la correlación realizada para la variable sanidad, se estableció que existe una relación significativa para el gusano enrollador *Amorbia sp.* con la tonalidad de la hoja, mientras que el ácaro cristalino *Oligonychus sp.* mantuvo una correlación significativa con la luminosidad, la tonalidad y croma de la hoja, siendo esta plaga la que mayor afectación tuvo hacia el cultivo de aguacate Hass.
- La aplicación de la combinación de dosis altas de N y bajas de K (200 y 100 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente) influyó positivamente en todas las variables de calidad de fruta, a excepción de SST en la que las mayores dosis de K (200 kg. ha<sup>-1</sup>) obtuvieron los más altos valores °Brix.
- La dinámica de acumulación de macro y micronutrientes en la hoja fue distinta para cada elemento; aumentando en N y K en la época de floración y decayendo en la época de cosecha. El elemento Ca tuvo una disminución en el contenido foliar en la época de floración y posteriormente, un aumento en el período productivo. Los macronutrientes P, Ca, Mg, S obtuvieron concentraciones dentro del rango óptimo o levemente por encima de éste, a excepción de N. Las combinaciones altas de N y K (200 kg.ha<sup>-1</sup>) resultaron en una menor concentración foliar de estos elementos a los 15 meses después del trasplante. Sin embargo, esta misma combinación de N y K no reflejó en cambios significativos para el contenido de Ca en hoja.
- En las siguientes investigaciones se recomienda seleccionar únicamente plantas con la misma edad desde la fecha de trasplante, para tener una mejor homogeneidad y esta diferencia de desarrollo no afecte en los resultados del ensayo.



## Tabla de indicadores

Indicador detalle	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
Manual de entrenamiento en fertirriego	Número manuales	0	1	Indicador: Artículos, presentaciones y publicaciones técnicas Componente: Construcción de capacidades
Relaciones suelo planta agua clima	Cantidad de registros	0	Granadilla 2784 Aguacate 2015	Indicador: Bases de datos con información agronómica Componente: Producción
Tecnologías validadas de fertirrigación	Número	0	4	Indicador: Mejora en infraestructura de las fincas



## Referencias Bibliográficas

- Aguayo Pacas, S. P. (2020). Evaluación del efecto de dos niveles de nitrógeno y potasio aplicado bajo fertirriego en granadilla (*Passiflora ligularis*) variedad amarilla. *Universidad Central de Ecuador*, 50.
- Calvache, M. (2006). *Fertirriego en Ecuador, Presente y Futuro*.
- Cano, S. (2011). Efecto de la aplicación de calcio y fósforo en un suelo ácido y la respuesta en el cultivo de tomate chonto (*Solanum lycopersicum* (L.) Mill. *Revista Agronomía*, 19(1), 77–87.
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Tablada, M., González, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W y Casanoves, F. (2016). *Estadística y Biometría-Ilustraciones del Uso de Infostat en Problemas de Agronomía*. Editorial Brujas.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2016). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua 2016*.
- Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología (INAMHI). (2018). *Anuario Meteorológico*.
- Mejía, E. (2011). Aguacate Persea americana Miller. *CropScience*, 48.
- Morales Galeas, C. E. (2020). Evaluación de la respuesta del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) a la aplicación de dos niveles de nitrógeno y potasio por fertirrigación. In *Universidad Central de Ecuador*.
- Pacheco E., C. M. (2006). *Estudio de distribución técnica del agua 570 usuarios con 302 hectareas del Ramal Chichipata, Zona 2, del sistema de riego Tumbaco, pichincha, Rumipamba*. XX, 56.
- Peña, L., Rebollar, S., Callejas, N., Hernández, J., & Gómez, T. (2015). Análisis de viabilidad económica para la producción comercial de aguacate hass. *REVISTA MEXICANA DE AGRONEGOCIOS*, 36, 14.
- Turner, B. L., & Miksiek, C. H. (1984). Economic plant species associated with prehistoric agriculture in the Maya lowlands. *Economic Botany*, 38(2), 173–179.
- Viera, A., Sotomayor, A., & Viera, W. (2016). Potencial del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Ecuador como alternativa de comercialización en el mercado local e internacional. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, III(3), 1–9.

# Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

FONTAGRO  
Banco interamericano de Desarrollo  
1300 New York Avenue, NW, Stop  
W0502, Washington DC 20577  
Correo electrónico: [fontagro@iadb.org](mailto:fontagro@iadb.org)