

06-015

IMPROVEMENT OF THE FLOOD IRRIGATION SYSTEM USING SENSORS IN ORGANIC BANANA PLANTATIONS IN PIURA, PERÚ.

Miñán Ubillús, Erick ⁽¹⁾; Vegas Chiyón, Susana ⁽¹⁾; Quevedo Candela, Valeria ⁽¹⁾; García Calopiña, Luis ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Piura

Small-scale farmers of organic in the Chira Valley in Piura, Peru use the flood irrigation system with the water provided by the Board of Users, but the supply is not continuous and does not have a constant frequency. Sometimes farmers have to wait up to 45 days to irrigate. The inefficient use of water causes two problems: water is being wasted and productivity is being impaired, since the banana is sensitive to both excessive applied water and water shortage. The University of Piura together with the National Institute of Agrarian Innovation and the association of small-scale farmers APBOSMAM designed a project to investigate this problem. This article shows the results of this project. Sensors were installed in some selected plots to remotely monitor the volumetric water content, but only the experimental plots were irrigated with an improved irrigation system, based on monitoring the data obtained by these sensors. To guarantee the water availability for the optimized irrigation system, a 300 m³ reservoir was built next to each treatment plot. The results showed an increase in banana productivity and significant savings in the amount of water.

Keywords: Efficient use of water; organic bananas; flood irrigation.

MEJORA DEL SISTEMA DE RIEGO POR INUNDACIÓN USANDO SENSORES EN LAS PLANTACIONES DE BANANO ORGÁNICO EN PIURA, PERÚ.

Los pequeños productores de banano orgánico en el Valle del Chira en Piura, Perú usan el sistema de riego por inundación con el agua que les entrega la Junta de Usuarios, pero el abastecimiento no se realiza de forma continua y no tiene una frecuencia definida. Algunas veces los agricultores deben esperar hasta 45 días para recibir agua. El uso ineficiente del agua origina dos problemas: desperdicio del agua y baja productividad, pues el banano es sensible tanto al exceso como a la escasez de agua. La Universidad de Piura junto con el Instituto Nacional de Innovación Agraria y la asociación de pequeños productores APBOSMAM diseñaron un proyecto para investigar este problema. El presente artículo muestra los resultados de este proyecto. En algunas parcelas seleccionadas se instalaron sensores para monitorear de manera remota el contenido volumétrico de agua, pero sólo las parcelas experimentales fueron regadas con un sistema de riego mejorado, basado en el monitoreo de los datos obtenidos por dichos sensores. Para garantizar la disponibilidad de agua se construyó un reservorio de 300 m³ al lado de cada parcela experimental. Los resultados mostraron un aumento de la productividad del banano y un ahorro importante en la cantidad agua.

Palabras clavess: Uso eficiente del agua; banano orgánico; riego por inundación.

Correspondencia: Erick Miñán Ubillús erick.minan@udep.edu.pe

Agradecimientos: Al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica - FONDECYT de Perú.



©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En los últimos años se han realizado muchos esfuerzos a nivel global para que el agua de riego sea utilizada por los pequeños agricultores de una manera más eficiente, en la mayoría de casos incorporando tecnología (Pereira et al., 2012). Sin embargo, se tiene dos enfoques que no necesariamente están conectados: los agricultores buscan maximizar sus beneficios económicos mientras que los expertos buscan conservar el agua (Knox et al., 2012). Por ello, Levidow (2014) propone un intercambio de conocimientos continuo con tres componentes: un conocimiento científico experto de las necesidades de agua de los cultivos, la eficiencia real versus la eficiencia alcanzable (Hsiao et al., 2007); la vinculación entre las perspectivas de los agricultores, las prácticas innovadoras y los beneficios económicos (Knox et al. 2012); y medios para reducir la contaminación (Miller, 2007).

El presente artículo resume los resultados de un proyecto que tiene como objetivo verificar que haciendo un uso eficiente del agua se puede aumentar la productividad del banano a la vez que se tienen ahorros significativos del recurso hídrico. El proyecto titulado “Optimización del uso del agua en el sistema de riego por inundación del banano orgánico, utilizado por pequeños productores del Valle del Chira” desarrollado en Piura, Perú, fue financiado por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica FONDECYT bajo contrato 014-2018-FONDECYT-BM-IADT-SE y fue ejecutado por la Universidad de Piura desde enero del 2019; en alianza con la Cooperativa Agraria de pequeños productores de banano orgánico APBOSMAN y la Estación Experimental Agraria Vista Florida del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA.

Estudios previos en banano y otros cultivos han demostrado una relación directa entre la pérdida de la calidad del suelo y la reducción de la productividad de los cultivos debido a un sistema de producción inadecuado, por ejemplo, Segura et al. (2015); Calero et al. (2018). A pesar de los estudios realizados, se carece de información más completa sobre las condiciones microbiológicas, físicas y químicas óptimas para las raíces de banano y su relación con el desarrollo y la productividad de la planta (Olivares et al., 2020).

En un estudio realizado en Venezuela se identificó las principales variables edáficas más correlacionadas con la productividad del banano y se exploró el desarrollo de un modelo empírico de correlación para predecir esta productividad en función de las características del suelo (Olivares et al., 2020).

En Antioquia, Colombia, se estimó mediante simulaciones con el modelo CROPWAT (el programa informático de la FAO para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos) los requerimientos de riego y la reducción del rendimiento del banano cuando se cultiva en condiciones sin riego en tres escenarios de precipitación: húmedo, normal y seco (Toro et al., 2016). Los autores concluyen que el riego suplementario es importante para no tener bajas en el rendimiento en los escenarios seco y normal. Asimismo, se tiene que la ecuación de productividad da un conocimiento preciso del consumo de agua del cultivo y su respuesta al riego, para los beneficios y los riesgos inherentes a las decisiones de gestión.

En el presente proyecto, la principal variable monitoreada es la humedad del suelo, pues nos permite tener una idea más clara de la cantidad de agua que ha recibido, cuando éste es regado. Se trata entonces de verificar si hay una relación directa entre un manejo adecuado del agua y la productividad de la planta de banano.

El proyecto es importante dado que la producción de banano orgánico en la Región Piura representa el 85% de producción nacional. Se trata de un sector agroindustrial donde se ven involucradas cerca de 8 mil familias. Además, el agua es un recurso escaso en la Cuenca del

Valle del Chira; ya que su disponibilidad depende del estado hídrico del Reservorio de Poechos, que en su mayoría de veces se encuentra en volumen mínimo.

Los pequeños productores de este valle usan el sistema de riego por inundación con el agua que les entrega la Junta de Usuarios, pero el abastecimiento no se realiza de forma continua y no tiene una frecuencia definida. Algunas veces los agricultores deben esperar hasta 45 días para recibir agua. El uso ineficiente del agua origina dos problemas: i) el desperdicio del agua pues las parcelas son inundadas en exceso porque no se sabe con exactitud la siguiente fecha de riego y ii) la baja productividad del banano, pues este fruto es sensible tanto al exceso como a la escasez de agua.

Para ello, en el centro de algunas parcelas seleccionadas (de un cuarto de hectárea aproximadamente) se instalaron sensores para monitorear de manera remota el contenido volumétrico de agua. En algunas parcelas, llamadas parcelas experimentales, se regó con un sistema de riego mejorado, basado en el monitoreo de los datos obtenidos por dichos sensores. Básicamente se aumentó la frecuencia de riego en las parcelas experimentales utilizando sólo el agua necesaria, calculada previamente. Para garantizar la disponibilidad de agua se construyó un reservorio de 300 m³ al lado de cada parcela experimental.

Los resultados obtenidos a la fecha permiten determinar que el volumen de agua utilizado actualmente no es el adecuado. Se utiliza demasiada agua para la producción de banano orgánico y en tiempos inapropiados. Esto genera un estrés hídrico en las plantaciones de banano orgánico. Asimismo, el uso más eficiente del agua en las parcelas experimentales ha permitido un aumento del vigor de las plantas, lo que se puede verificar con el incremento en los indicadores biométricos de crecimiento.

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto fue verificar que, haciendo un uso efectivo del agua en el riego por inundación del banano orgánico, se puede mejorar la productividad y lograr ahorros significativos del recurso hídrico. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar e instalar un sistema de telecomunicación para el monitoreo del contenido volumétrico del agua usando sensores y tecnología de internet de las cosas.
- Seleccionar las parcelas (testigo y experimentales) y construir pequeños reservorios para almacenar el agua a utilizar en el sistema de riego mejorado.
- Calcular los módulos de riego para el sistema de riego mejorado y regar las parcelas experimentales de acuerdo con dichos módulos.
- Levantar datos de contenido volumétrico de agua, datos biométricos de las plantas, datos de producción de las parcelas experimentales y comparar con los de las parcelas testigo.

3. Metodología

El proyecto contempló realizar un diseño experimental estadístico, específicamente, un diseño de bloques completos aleatorizados mediante el Análisis de Varianza (ANOVA). Esto permite analizar la diferencia entre dos sistemas de riego: el convencional y el mejorado (propuesto por el equipo técnico del proyecto). Como bloques se usó el tipo de terreno. Se evaluaron los indicadores biométricos de crecimiento del banano (diámetro, altura y número de hojas) y el peso de los racimos cosechados.

Se seleccionaron 3 parejas de parcelas, una pareja para cada tipo de terreno: poco retentivo, medianamente retentivo y muy retentivo. En cada una de las seis parcelas se instalaron

sensores para medir humedad, ph y conductividad. Estos datos serían enviados a una estación ubicada en las oficinas de la Cooperativa APBOSMAM, que es zona rural, utilizando tecnología IoT (internet de las cosas). Desde allí se subían a la nube para su posterior procesamiento.

Mediante el lenguaje de programación R se elaboraron series de tiempo para determinar los módulos de riego para las parcelas experimentales, los que fueron posteriormente implementados utilizando el agua de los reservorios.

Las parcelas testigos se siguieron regando como normalmente lo hacían, es decir, cuando la Junta de Usuarios del Chira les entregaba el agua, según la disponibilidad en el reservorio de Poechos, cada tres, cuatro, cinco o seis semanas.

4. Resultados

4.1. El sistema de telecomunicación

Se implementaron sondas de humedad del suelo GS3 que miden humedad, temperatura y conductividad eléctrica en sustratos y materiales de contextura gruesa. Estas sondas están compuestas por sensores capacitivos del tipo FDR (reflectometría en el dominio de la frecuencia).

En las parcelas seleccionadas se instalaron 4 sondas GS3 en cuatro profundidades: 20 cm, 40 cm, 60 cm y 80 cm para tener un perfil de humedad que permita analizar el comportamiento de la planta en relación al agua.

Las sondas fueron conectadas a un sistema de transmisión de datos inalámbrico, el cual se conectó a la central mediante un enlace de radio. La radio empleada permitió implementar el mismo protocolo SDI-12 de las sondas y permitieron su enlace con la estación central para el registro de los datos.

En la estación central, ubicada en las oficinas de la Cooperativa Agraria APBOSMAM, se instaló también una radio de la misma familia del empleado en las estaciones remotas. Esta estación central tuvo un sistema de control de interrogación de las estaciones remotas basado en un controlador lógico programable o PLC; este PLC hizo de interface entre las radios y el servidor que fue el encargado de almacenar los datos. El servidor se conectó a internet para la supervisión remota de los equipos.

La estación central fue visualizada por sistemas remotos a través de un software de supervisión remota llamado Teamviewer. Asimismo, se desarrolló una interface gráfica de usuario para visualizar el sistema con todas sus variables y con todos sus puntos de medición.

Al inicio del proyecto se tuvo problemas de conexión a internet en las oficinas de la cooperativa, por lo que se tuvo que instalar un módem en la estación central. Asimismo, se perdieron algunos datos cuando las baterías de los radios se descargaron por lo que se instalaron pequeños paneles solares para que las baterías siempre tengan energía y siempre estén enviando datos a la estación central.

La instalación de sondas de humedad con estaciones de radio permiten obtener datos para monitorear el contenido de agua en los terrenos agrícolas, pero se debe superar algunos inconvenientes relacionados principalmente a la conectividad. En las zonas rurales la conexión a internet es inestable y es necesario tomar las precauciones del caso.

4.2. Selección de parcelas y construcción de reservorios

Para la selección de las parcelas se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Escoger dos parcelas juntas por cada tipo de terreno: poco retentivo, medianamente retentivo y altamente retentivo. Una parcela sería la testigo, la cual seguiría regándose con el sistema de riego convencional y la otra parcela sería la experimental, la cual sería regada con una mayor frecuencia, de acuerdo con el módulo de riego que se calcule, según los datos de los sensores.
- Los dueños de las parcelas deberían contar con terreno disponible y estar dispuestos a cederlo para la construcción del reservorio de 300 m³ de capacidad.
- Los dueños de las parcelas deberían ser personas de confianza de los directivos y trabajadores de la Cooperativa y tener una actitud proactiva hacia el proyecto.
- Las parcelas deberían estar ubicadas en lugares de fácil acceso y en lugares no muy alejados para evitar el robo de los equipos a instalar.

Una vez seleccionadas las parcelas, se realizó un análisis de suelo para cada una de ellas en un laboratorio especializado, de modo que se confirmara el tipo de terreno y se obtuviera los porcentajes de arena, limo y arcilla. Estos datos se utilizarían luego para el cálculo de la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y el agua disponible, tres indicadores clave para saber cuánto regar en cada parcela experimental.

Se construyeron dos reservorios, uno de 600 m³ para atender a dos parcelas experimentales cercanas y uno de 300 m³ para atender a una parcela. Inicialmente se pensó utilizar un riego por gravedad desde el reservorio pero el tiempo de riego era demasiado alto (14 horas) por lo que se decidió implementar un sistema de bombeo para regar las parcelas experimentales con el agua de los reservorios.

4.3. Cálculo del plan de riego de las parcelas experimentales

Para elaborar la propuesta de un sistema de riego por inundación optimizado se tuvo que calcular primero los parámetros hídricos del suelo: la capacidad de campo CC, el punto de marchitez permanente PMP y el agua disponible AD (García, 2021).

Según la FAO (2019) la capacidad de campo es la cantidad de agua máxima que el suelo puede almacenar y debe ser medida después de 48 horas después de una lluvia o riego, después de la saturación. La CC depende de la textura del suelo y se calculó de la siguiente manera:

$$CC = 0.48 Ac(\%) + 0.162 L(\%) + 0.023 Ar(\%) + 2.62$$

CC = Humedad a la Capacidad de Campo, expresada en % de Suelo seco.

Ac = Contenido de Arcilla, expresada en % de Suelo seco.

Ar = Contenido de Arena, expresada en % de Suelo seco.

L = Contenido de Limo, expresada en % de Suelo seco.

Según Chávez (2010), el Punto de Marchitez Permanente PMP, expresado en % de suelo seco, representa el límite inferior de cantidad de agua en el que las plantas ya no pueden extraer más agua desde el suelo y repercute en marchitamiento. Su valor depende del tipo de suelo y se calculó de la siguiente manera:

$$PMP = 0.302 Ac(\%) + 0.102 L(\%) + 0.0147 Ar(\%)$$

El Agua Disponible AD es el contenido de agua disponible para el crecimiento de la planta, retenido entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, calculado como la

diferencia de ambos multiplicado por otros factores como la densidad aparente, que es la relación entre el peso de una muestra de suelo seco y el volumen que ella ocupa. Se debe tener presente que su valor varía para cada tipo de suelo, pero se mantiene parecido en suelos de texturas similares. Para efectos del presente proyecto se utilizó los valores de la Tabla 1.

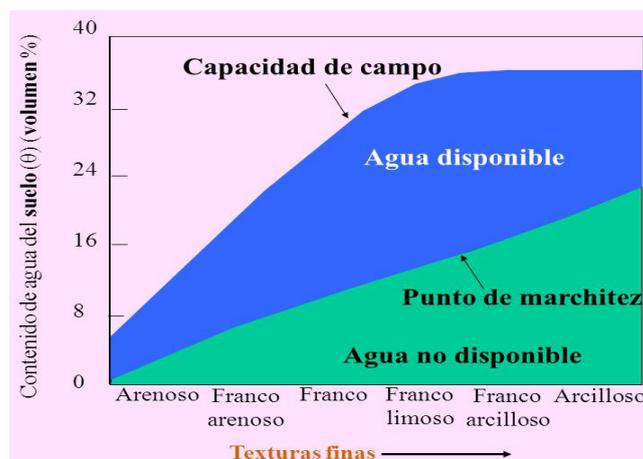
Tabla 1. Valores más usados de densidad aparente.

Textura del suelo	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	1.65
Franco arenoso	1.50
Franco	1.40
Franco limoso	1.35
Franco arcilloso	1.30
Arcilloso	1.25

Fuente: Tomado y Adaptado de “Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo de calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico” de Ojeda, Mc Leod, Águila & Pino.

En la Figura 1 se puede observar cómo se comportan los parámetros hídricos en función del tipo de suelo y la representación del Agua disponible comprendida entre la CC y el PMP.

Figura 1: Condiciones de humedad para suelos de diferentes texturas.



La CC y el PMP calculados con esas fórmulas quedan expresados en porcentaje de suelo seco; es decir, se obtiene una humedad gravimétrica o humedad en peso. Esta humedad deberá ser transformada en humedad volumétrica para la correcta utilización con la data que se posee, debido a que los valores de lectura de los sensores son de humedad volumétrica.

Para realizar dicha transformación se utilizó la densidad aparente en función del tipo de suelo a cada profundidad. De acuerdo con Ojeda, Mc Leod, Águila, & Pino (2018) podemos transformar la humedad gravimétrica (HP) en humedad volumétrica (HV) si la multiplicamos con la densidad aparente (Da). Esta humedad volumétrica o humedad del suelo en volumen es equivalente a mm de agua por cada 10 cm de profundidad de suelo. En la Tabla 2 se puede apreciar un resumen de los valores calculados de capacidad de campo de todas las estaciones a las 3 profundidades con las que se trabajó. No se incluye la estación E1 porque fue instalada en otra parcela que finalmente no fue seleccionada.

Tabla 2. Capacidad de campo de todas las estaciones.

Estaciones	Profundidad	CC (% de Suelo seco)	Densidad aparente (g/cm ³)	CC (mm/10 cm)
E2	20 cm	18.61	1.4	26.05
	40 cm	20.06	1.4	28.08
	60 cm	10.16	1.5	15.24
E3	20 cm	16.68	1.4	23.35
	40 cm	14.77	1.4	20.68
	60 cm	19.6	1.35	26.46
E4	20 cm	15.69	1.4	21.97
	40 cm	12.07	1.5	18.11
	60 cm	9.69	1.6	15.50
E5	20 cm	19.8	1.4	27.72
	40 cm	20.85	1.4	29.19
	60 cm	21.96	1.4	30.74
E6	20 cm	23.2	1.4	32.48
	40 cm	21.21	1.35	28.63
	60 cm	21.21	1.35	28.63
E7	20 cm	14.1	1.5	21.15
	40 cm	10.8	1.5	16.20
	60 cm	16.12	1.45	23.37

Se siguió un procedimiento similar para el cálculo del PMP y los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Punto de marchitez permanente en % de Suelo seco de todas las estaciones.

Estaciones	Profundidad	PMP (% de Suelo seco)	Densidad aparente (g/cm ³)	PMP (mm/10 cm)
E2	20 cm	10.07	1.4	14.10
	40 cm	10.98	1.4	15.37
	60 cm	4.77	1.5	7.16
E3	20 cm	8.86	1.4	12.40
	40 cm	7.66	1.4	10.72
	60 cm	10.69	1.35	14.43
E4	20 cm	8.24	1.4	11.54
	40 cm	5.97	1.5	8.96
	60 cm	4.47	1.6	7.15
E5	20 cm	10.82	1.4	15.15

Estaciones	Profundidad	PMP (% de Suelo seco)	Densidad aparente (g/cm ³)	PMP (mm/10 cm)
	40 cm	11.48	1.4	16.07
	60 cm	12.18	1.4	17.05
	20 cm	12.96	1.4	18.14
E6	40 cm	11.7	1.35	15.80
	60 cm	11.7	1.35	15.80
	20 cm	7.24	1.5	10.86
E7	40 cm	5.17	1.5	7.76
	60 cm	8.51	1.45	12.34

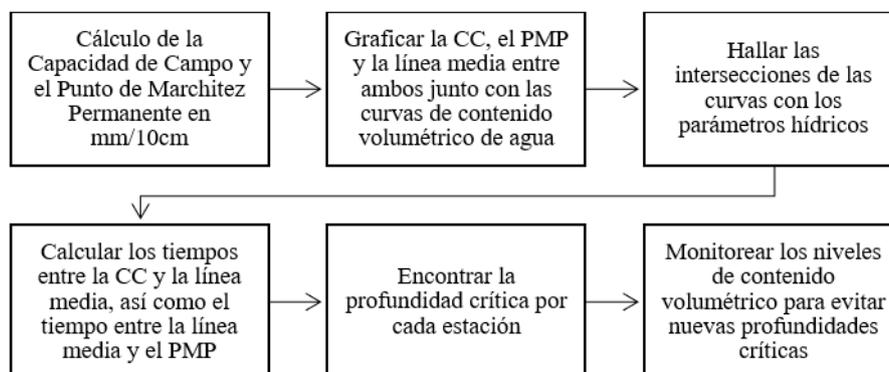
El agua disponible vendría a ser la zona comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Se calcula restando estas dos cantidades. En la Tabla 4 se muestran los resultados.

Tabla 4. Parámetros hídricos promedio de cada estación.

Estaciones	CC (mm/10 cm)	PMP (mm/10 cm)	AD (mm/10 cm)
E2	23.13	12.21	10.92
E3	23.50	12.52	10.98
E4	18.53	9.22	9.31
E5	29.22	16.09	13.13
E6	29.91	16.58	13.33
E7	20.24	10.32	9.92

Una vez calculados los parámetros hídricos del suelo para cada parcela, se pudo calcular un plan de riego para las parcelas experimentales. La Figura 2 muestra los pasos seguidos.

Figura 2. Metodología utilizada para el cálculo del plan de riego de parcelas experimentales.



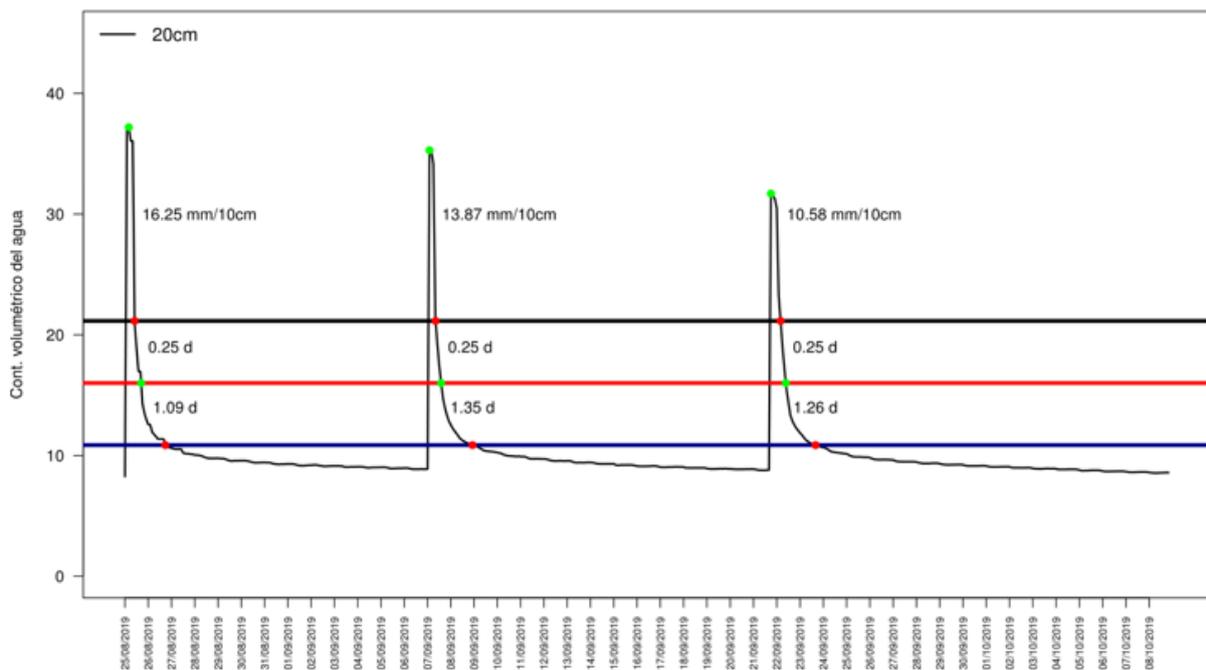
Con los valores obtenidos de los sensores instalados en las parcelas experimentales (E3, E5 y E7) se realizó luego un análisis a las curvas de contenido volumétrico con los parámetros hídricos calculados anteriormente, con el objetivo de hallar la profundidad crítica, es decir

aquella profundidad en la cual el contenido volumétrico disminuye tanto que en cierto punto se encuentra por de debajo del Punto de Marchitez Permanente.

Entre la CC y el PMP hay un valor conocido como Nivel de Agotamiento Permisible (NAP), que es la cantidad de agua mínima que el suelo debería tener siempre para que se obtenga la máxima producción posible (AgroEs, 2019). En programaciones de riego el valor suele oscilar entre 0.6 y 0.8, pero en cultivos de alto valor económico no se recomienda un valor de NAP mayor de 0.5. para efectos de este proyecto se utilizó un valor de NAP igual a 0.5 y se le llamó línea media.

Se graficaron las curvas de contenido volumétrico de agua (obtenidas de los sensores) junto con sus respectivos parámetros hídricos calculados. A modo de ejemplo, en la Figura 3 se muestra la curva de contenido volumétrico de la estación 7 a 20 centímetros de profundidad junto con las líneas de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y la línea media. Se calcularon los tiempos que tomaría la curva del contenido volumétrico del agua en alcanzar la siguiente línea con el fin de determinar rápidamente el tiempo del que se dispone para realizar los riegos en las parcelas sin que el nivel de contenido volumétrico llegue a estado crítico.

Figura 3. Tiempos entre parámetros hídricos de la estación 7 a 20 cm.



En la Figura 3 la CC está representada por la línea negra, la línea media por la línea roja y el PMP por la línea azul. Con los datos analizados se pueden obtener algunas características importantes para determinar la frecuencia de riego óptima en cada estación experimental. A estas características se le ha llamado: Delta, Volumen de riego y Porcentaje de sobreriego y se muestran en la Tabla 5. Delta es el nivel de contenido volumétrico que se riega menos la capacidad de campo; es decir, el agua que se riega en exceso originando pérdidas de agua por percolación o filtración profunda. El Volumen de riego se calculó restando el primer valor del pico del riego con el valor anterior (que vendría a ser el menor valor que se alcanzó el riego anterior). El % de Sobreriego es la división entre el delta y el volumen de riego en porcentaje. Esto equivale al porcentaje de agua que se pierde por percolación. Estas

características fueron utilizadas para el diseño del sistema de riego optimizado, pues permite concentrarnos en las profundidades críticas de las parcelas experimentales.

Tabla 5. Características de la estación 7 a 20 cm.

Característica	Riego 1	Riego 2	Riego 3
Delta (mm/10cm)	16.25	13.87	10.58
Volumen de Riego (mm/10cm)	28.95	26.41	22.90
% de Sobreriego	56.10	52.50	46.20
CC a AD (días)	0.25	0.25	0.25
AD a PMP (días)	1.09	1.35	1.26
Riego a CC (días)	0.25	0.25	0.42
PMP a Riego (días)	11.40	12.83	15.32

De acuerdo con este análisis realizado se establecieron los planes de riego mostrados en la Tabla 6.

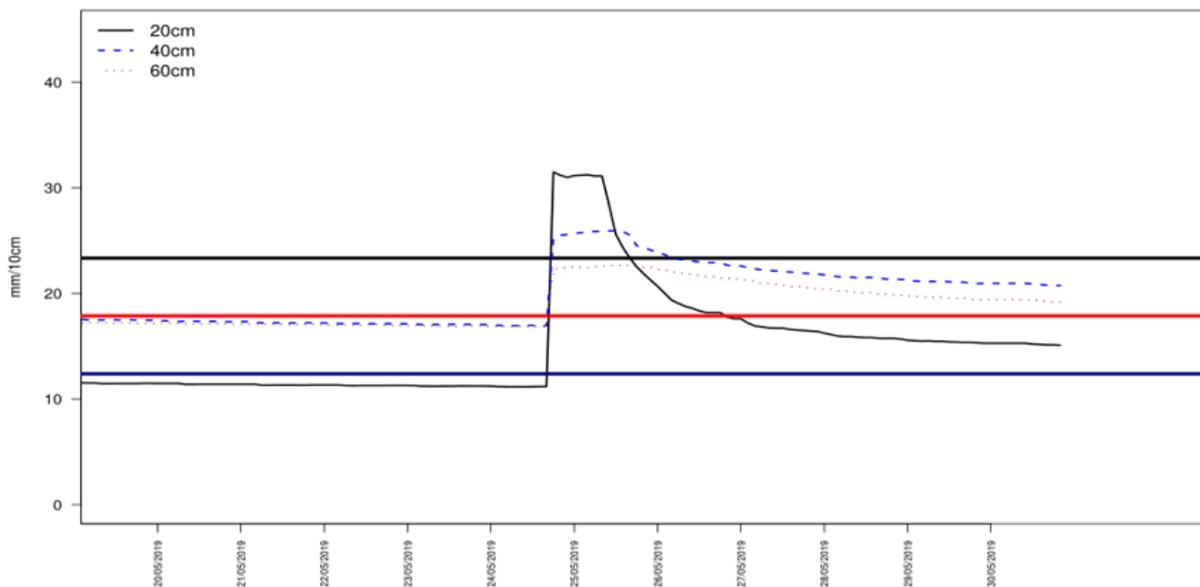
Tabla 6. Plan de riego propuesto para parcelas experimentales.

Estación	Frecuencia de riego	Volumen de riego
Estación 3	Quincenalmente	180 m ³
Estación 5	Semanalmente	160 m ³
Estación 7	Quincenalmente	210 m ³

4.4. Cálculo del volumen de agua ahorrado.

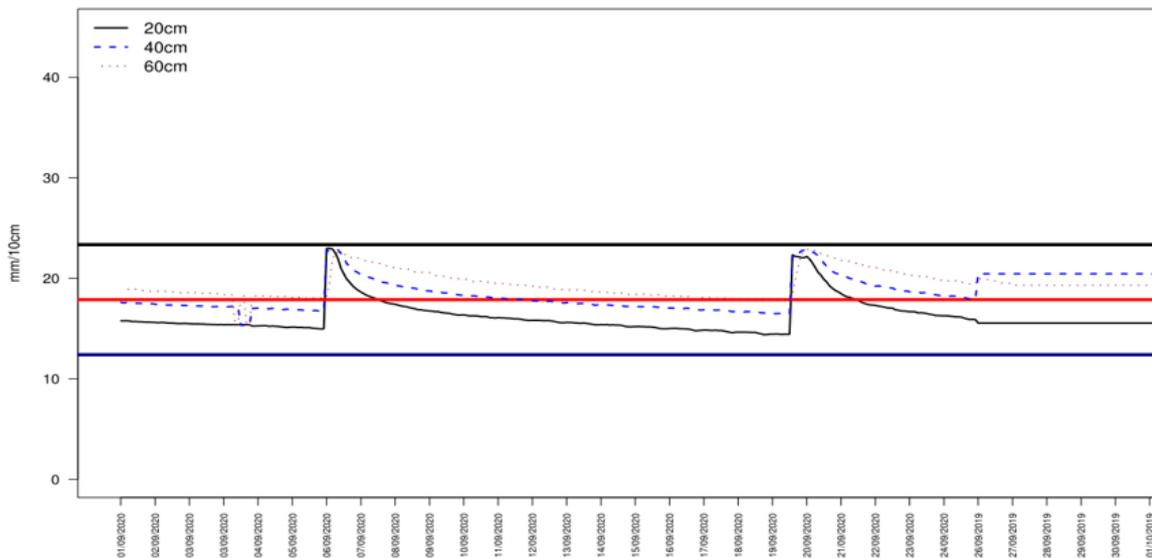
En la Figura 4 se puede observar la curva de contenido volumétrico de la estación 3 que corresponde al periodo de mayo del año 2019, en ella se puede observar que el volumen de riego superaba la capacidad de campo y, como se comentó anteriormente, el delta de riego ocasionaba pérdidas de agua por percolación o filtración profunda, ya que se superaba la capacidad máxima de retención del suelo. Asimismo, se observa que por un periodo el contenido volumétrico se encontró por debajo del punto de marchitez permanente, afectando de esa forma a la salud de la planta y a su productividad.

Figura 4. Curva de contenido volumétrico de la estación 3 - Mayo 2019.



En la Figura 5 se puede observar cómo se comportan las curvas de contenido volumétrico siguiendo el programa de riego propuesto. Debido a que la curva ya no supera la capacidad de campo, se obtiene un ahorro sustancial de agua. Según estos resultados se puede hacer una estimación del ahorro del agua con el uso del riego mejorado. En el software estadístico R se pudo calcular que el pico de agua en la gráfica del año 2019 era de 1890 m³/Ha. Al aplicarse el riego mejorado y no superar la capacidad de campo, el ahorro de agua (solo en esta parcela) después de aplicar el riego optimizado (con respecto al riego actual) es de 489 m³/ha. Esto se traduce en un ahorro de agua del 26%.

Figura 5. Curva de contenido volumétrico de la estación 3 - Mayo 2019.



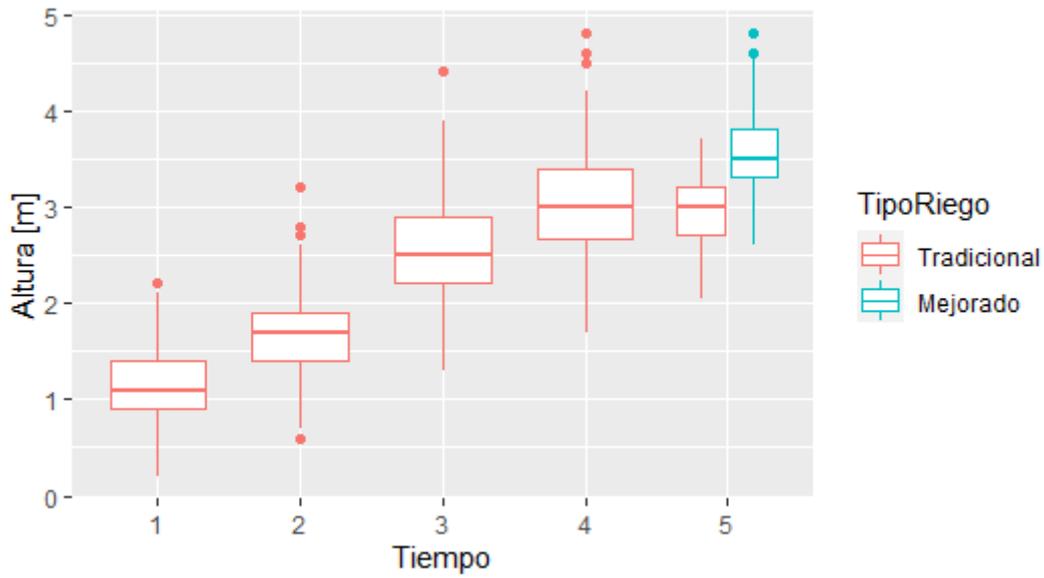
4.5. Análisis de datos biométricos.

El incremento de la productividad del banano orgánico se ha podido estimar hasta la fecha realizando un monitoreo de algunos datos biométricos de las plantas. A la fecha de redacción del presente artículo no se ha terminado el proceso de levantamiento de los datos referidos al

peso de los racimos. Los datos biométricos están referidos a la altura de las plantas, la circunferencia y la tasa de emisión foliar. Con los datos disponibles a la fecha se puede evidenciar diferencias entre las parcelas regadas con el sistema convencional y las parcelas experimentales.

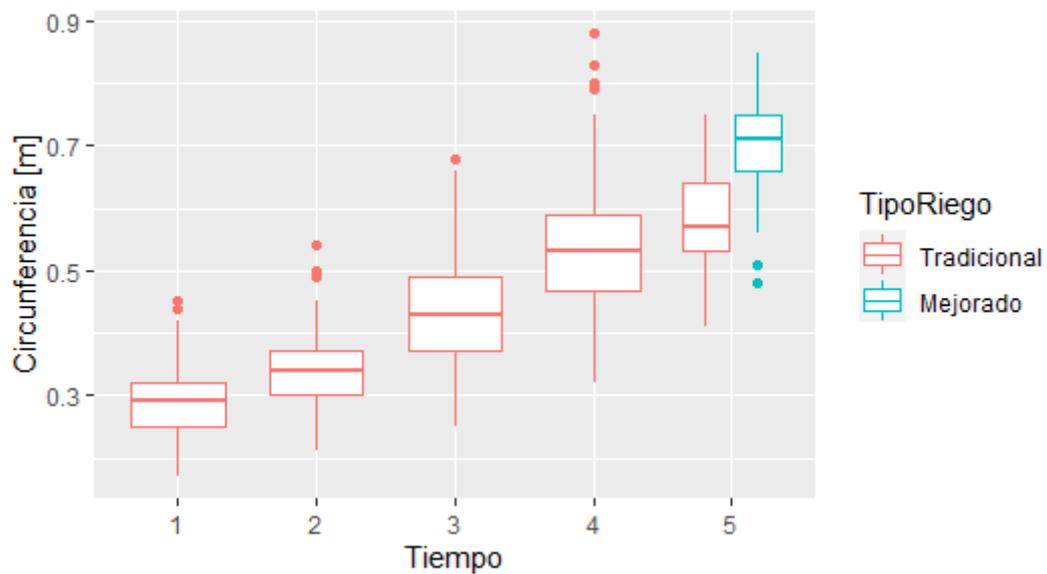
En la figura 6 se muestra la variación de la altura de las plantas en el tiempo y se puede apreciar una altura mayor en las plantas de las parcelas experimentales.

Figura 6. Variación de la altura de las plantas por tipo de riego.



En la figura 7 se muestra la variación de la circunferencia en las plantas en el tiempo. Se puede ver una circunferencia mayor en las de las parcelas experimentales.

Figura 7. Variación de la circunferencia de las plantas por tipo de riego.



4. Conclusiones

Una vez calculados los principales indicadores hídricos como capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua disponible, para cada tipo de terreno, se puede monitorear la cantidad necesaria de agua que debe mantener el terreno agrícola para no producir estrés hídrico en las plantas. La Capacidad de Campo varió entre 18.53 y 29.91 mm/10 cm y el Punto de Marchitez Permanente varió entre 9.22 y 16.58 mm/10 cm.

Se estima en un 26% el ahorro de agua que se podría lograr en el riego por inundación que realizan los pequeños productores de banano orgánico en Piura, si se modifica únicamente la frecuencia de riego. Para ello es necesario contar con pequeños reservorios de agua que les permita tener agua disponible para regar cuando corresponda.

Si bien el proyecto no ha terminado y no se tienen los datos de peso de racimos en la cosecha, ya es posible verificar mayor altura y mayor circunferencia del tallo (datos biométricos) en las plantas de las parcelas con riego mejorado respecto de las que utilizan el riego convencional.

5. Referencias bibliográficas

- AgroEs. (2019). Intervalo de Humedad Disponible IHD - Nivel de Agotamiento Permissible NAP- Déficit de Agua en el Suelo DAS - El agua del suelo en relación con el riego. Obtenido de AgroEs.es: <https://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/330-el-agua-del-suelo-en-relacion-con-el-riego-agricultura>
- Calero, J., Aranda, V., Montejo-Raez, A., Martín-García, J.M. (2018) A new soil quality index based on morpho-pedological indicators as a site-specific web service applied to olive groves in the Province of Jaen (South Spain). *Computers and Electronics in Agriculture* 146, 66–76.
- Chávez, J. (2010). Principios del Riego. Ica: MINAGRI.
- FAO. (2019). Glossary of soil moisture terms. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/y4690e/y4690e04.htm>
- García, L. (2021). Propuesta de un sistema de riego por inundación optimizado basado en el monitoreo de las características térmicas del suelo. Tesis no publicada. Universidad de Piura, Perú.
- Hsiao, T., Steduto, P., Fereres, E. (2007). A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science*, 25, 209-231.
- Knox, J.W., Kay, M.G., Weatherhead, E.K. (2012). Water regulation, crop production and agricultural water management—understanding farmer perspectives on irrigation efficiency. *Agricultural Water Management*, (108), 3-8.
- Miller, A. (2007). Environmentally Sustainable Agri-Food Production. Environmental Sustainability Knowledge Transfer Network (ESKTN)
- Ojeda, A., McLeod, C., Águila, K., & Pino, M. T. (2018). Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico. Chile: INIA Kampeinake.
- Olivares, B., Araya-Alman, M., Acevedo-Opazo, C., Rey, J.C., Cañete-Salinas, P., Giannini Kurina, F., Balzarini, M., Lobo, D., Navas-Cortés, J., Landa, B., Gómez, J. (2020). Relationship Between Soil Properties and Banana Productivity in the Two Main

Cultivation Areas in Venezuela. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* (20), 2512–2524.

Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management.*, (108), 39-51

Segura, R.A., Serrano, E., Pocasangre, L., Acuna, O., Bertsch, F., Stoorvogel, J.J., Sandoval, J.A. (2015). Chemical and microbiological interactions between soils and roots in commercial banana plantations (Musa AAA. cv. Cavendish). *Scientia Horticulturae* 197, 66–71.

Toro, A., Arteaga, R., Vásquez, M., Ibáñez, L. (2016). Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Tecnología y ciencias del agua* (7), 6, 105-122.

**Comunicación alineada con los Objetivos de
Desarrollo Sostenible**

